

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

「持続可能な農林水産業推進とフードテック等の振興に対応した未来の食品安全プロジェクトのうち、農作物中PFASの分析法の確立、農地土壌、水等からのPFAS移行特性の解明」

令和5年度 研究実績報告書

課題番号	3812803
課題名	農作物中PFASの分析法の確立、農地土壌、水等からのPFAS移行特性の解明

研究実施期間	令和5年度～令和9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
研究総括者	高度分析研究センター長 山崎 俊正
共同研究機関	国立研究開発法人産業技術総合研究所
	地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所
	公益財団法人ひょうご環境創造協会
	国立大学法人神戸大学
	アジレント・テクノロジー株式会社
	株式会社島津製作所
	日本ウォーターズ株式会社
	株式会社島津テクノリサーチ

＜別紙様式2＞研究実績報告書

令和5年度 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
「農作物中PFASの分析法の確立、農地土壌、水等からのPFAS移行特性の解明」
研究実績報告書

I. 研究の進捗状況等

本課題は、行政による農産物由来のPFAS摂取のリスク管理に資するため、環境中に放出されたPFASが、農地土壌や農業用水を経由して農作物へ移行する場合、その特徴的な分子種や移行程度を解明するとともに、この動態解明に必要な試験・分析法を開発することを目的としている。

試験・分析法については、これまでに開発した土壌中のPFAS分析法の精度向上、分析夾雑物の多い農業用水及び農作物に含まれるPFASの簡便で迅速な手法開発に向けて、今年度は、従来法よりも少量の試料量で、簡便、迅速かつ正確に農業用水中の多成分PFASの分析ができる新規手法開発に取り組み、暫定法を作成し、計画通り研究が進捗した。

農作物への移行特性の解明については、栽培地選定のため、国内の各種農地土壌中のPFASの分子種や濃度のスクリーニングを行った。さらに、一圃場内の土壌中のPFASの分子種や濃度の水平分布を詳細に調査し、その実態を明らかにした。また、農産物へのPFASの移行メカニズムを明らかにするため、ウリ科作物の導管液を用い、PFOS及びPFOAの動態の相違を観測した結果、作物種や品種により吸収・移行に特徴があることを示し、計画通り研究が進捗した。

1. 農業環境試料のPFASに最適な試験・分析法の開発

課題1－（1）の農業用水中のPFAS分析法の開発では、消費・安全局から提供された農業用水を用い、液体（水）と固体（浮遊物）を分離し、それぞれを抽出することによって、簡便、迅速かつ正確にPFASを定性・定量できる可能性を見出し、農業用水に適した分析法の確立に向けた準備が完了した。課題1－（2）では、土壌中PFAS分析ワークショップを実施し、参画機関間でPFAS分析手法の高度化・標準化を図るとともに、同一の標準溶液によるPFAS分析技能の評価を実施し、良好な結果を得た。

2. 各種農作物へのPFAS移行特性の解明

課題2－（1）にて先行研究の基盤分析技術である「土壌に含まれるPFASの一斉分析暫定マニュアル」に則し、消費・安全局から提供された28種の国内の農地土壌におけるPFAS分子種やその濃度の探索を行い、それぞれの土壌の特性を明らかにした。また、一圃場内から1メートルメッシュで採取した農地土壌におけるPFAS分子種やその濃度の水平分布を詳細に調査することによって、PFASの空間的分布やその実態を初めて明らかにした。課題2－（2）ではウリ科作物を用い、PFASのうち、PFOS及びPFOAに着目し、栽培用水と作物の導管液に含まれる濃度を比較評価した。水から作物への移行程度はPFASの分子種、作物種・品種により異なっていた。

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

Ⅱ. 実行課題ごとの研究進捗状況等

課題番号	3812803	課題 研究期間	令和5～9年度
実行課題番号		実行課題 研究期間	令和5～9年度
契約課題名	農作物中PFASの分析法の確立、農地土壌、水等からのPFAS移行特性の解明		
小課題名	1 農業環境試料のPFASに最適な試験・分析法の開発		
実行課題名	(1) 農業環境試料のPFASに最適な試験・分析法の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構 高度分析研究センター・亀山眞由美		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構 高度分析研究センター・環境化学物質分析ユニット・殷 熙洙		
共同研究機関・研究室・研究者 名等	産総研 環境創生研究部門・環境計測技術研究グループ・谷保佐知 大阪府環農水研 環境研究部・環境調査グループ・矢吹芳教、小野順子 兵庫県環境研 水環境科・梶 拓也、松村 千里		

1) 研究目的

農業環境（農地土壌と農業用水）及び農作物中に特徴的に観測されるPFAS分子種を特定し、それぞれの濃度を把握するため、試料採取方法、前処理、抽出、精製、定性・定量測定についての試験・分析法を開発する。

2) 研究進捗状況

今年度は、実用的かつ実施者の負担の少ない農業用水中のPFASの分析法を検討した。試料量の削減や効率的な浮遊物の除去により、図1の汎用法では前処理ができなかったアオコを含む浮遊物の多い農業用水試料についても、PFASを観測できたほか、浮遊物に含まれるPFAS量も定量できた。さらに、濁度などが異なる6点の農業用水に本手法を適用し、農業環境中のPFAS動態の解明につながる成果を得た。

現在、その方法の抽出、精製、測定について予備的なマニュアルを作成中であり、計画通り順調に進捗している。

3) 令和5年度の達成目標

6点の農業用水を用いて試験を実施し、試料採取にかかる道具や方法、前処理方法を含めて包括的・実用的かつ実施者の負担の少ない手法を決定し、抽出、精製、測定につ

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

いて予備的なマニュアルを作成し（令和5－6年度）、1－（2）に提供して予備実証試験（令和5－6年度）に供する。

4) 令和5年度研究方法

農業用水としてため池など水の動きが少ない水源を利用する場合には、気温が上昇する夏にはアオコなどの水生生物が多く含まれる可能性がある。また、水田の代掻き時期には農業用水に土壌粒子が多く含まれる可能性があり、農業用水試料中の多成分PFASの分析では、このような夾雑物を多く含む試料に対応できる前処理法が必要となる。一方、これらの水生植物や炭素含量の高い土壌等の浮遊物に、PFASが吸着している可能性も考えられるため、農業用水から分離した浮遊物に含まれるPFASも分析する必要がある。

現在、国内分析機関で主に用いられている水道水や環境水を対象とした水試料分析の従来法は様々あり、多いものでは1 Lの水試料を分析に供することになっている。しかし、試料量が多いことにより、分析に要する時間が長くなるとともに、農業用水においては、浮遊物が多い場合は精製に使用するカラムが詰まるなどの問題があった。これらを解決し、より効率のよい、実用的かつ実施者の負担の少ない手法が強く求められている。

そこで、試料量を削減するとともに、浮遊物を効率的に除去できる方法を検討した。

消費・安全局から提供された、異なる6カ所で採取された農業用水について、従来法の中でも試料量の少ないISO 21675に基づく方法（図1）に加え、新たに考案した手法を用い、農業用水およびそれに含まれる浮遊物中のPFASの分析を行った。新規手法については論文等で公表する。

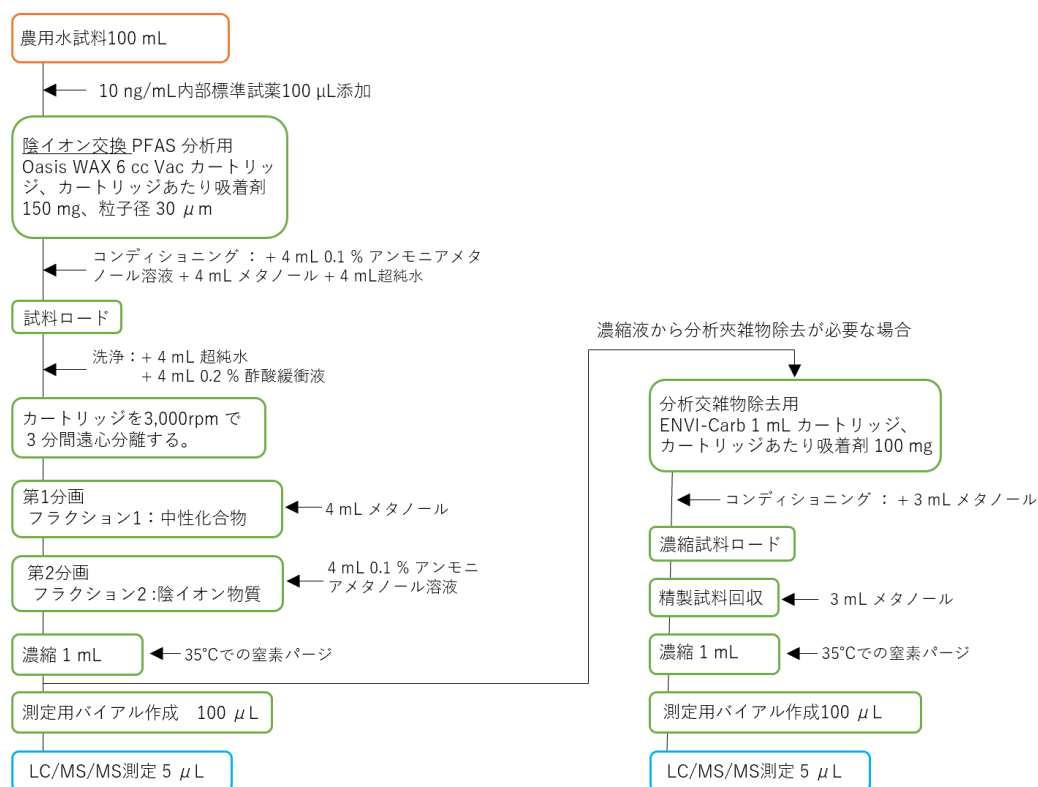


図1. ISO 21675に基づく水分析工程図（100 mL試料）

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

5) 令和5年度研究結果

異なる6カ所で採取された農業用水#1～6について、図1及び新規開発分析法でPFASを定量した。

分析対象とした農業用水は一般の河川水に比較して浮遊物を多く含み、中には緑色（アオコ）や茶色に着色している試料もあった（図2）。茶色に着色した試料は土壌粒子を多く含んでいると考えられた。PFAS画分として得られた試料に色が残っている場合は、Envi-Carbによる精製を実施した。



図2. 農業用水#1～6の外観

図1の分析法による分析結果を図3に示した。農業用水#1はアオコを多く含む試料であったため、PFAS分析用固相カラムに試料を添加した際、100 mLの試料のうち20 mLの通液時点でカラムが詰まり、吸引を実施しても試料の通液が不能になり、分析値が得られなかった。従って、図1の水分析法による結果（図3）は、農業用水#2～#6についてのみ示している。

一方、新たに考案した前処理法では、通液不能に陥ることなく、農業用水#1を含む6種の農業用水すべてを分析に供することができた（図4）。

PFOAを例にすると、新たに考案した前処理法では濃度は農業用水#3よりも農業用水#1で高く、浮遊物の多い試料についても分析値を得られる分析法の優位性が示された。

今回、浮遊物と水に含まれるPFAS濃度・種類を比較・検討した結果、それぞれ異なる特徴を観測できた。例えば、農業用水#1から分離された浮遊物（アオコ）では、PFOS（9.2 ng/L）の方がPFOA（1.5 ng/L）より多く含まれており、PFOSよりもPFOAを著しく多く含んでいた水とは異なる組成を示した。（図4、図5）。

以上の結果から、新たに考案した前処理法は、図1の水分析法では分析が困難である試料にも適用可能であり、少ない試料量でも分析対象とできることから、農業用水に適した、実用的かつ実施者の負担の少ないPFAS分析法として実証する価値があることを示した。

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

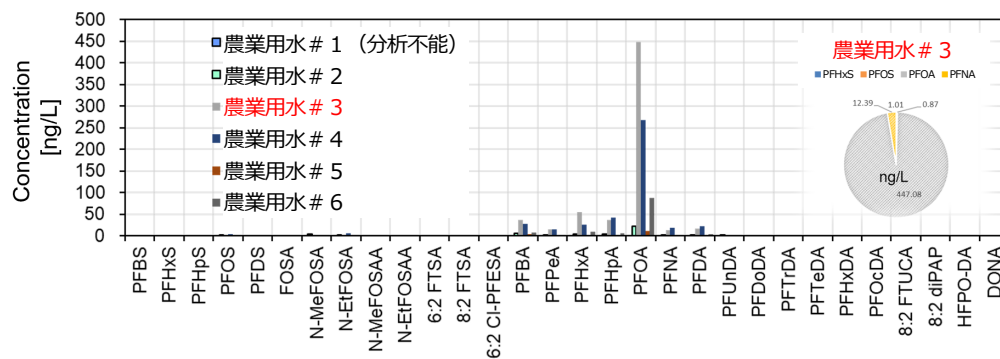


図3. 図1の水質分析方法による農業用水の分析結果(100 mL試料):農業用水#1はアオコを含んでおり、分析カラムが詰まったため、分析不能であり、結果なし。(円グラフはPFHxS, PFOS, PFOA, PFNA)

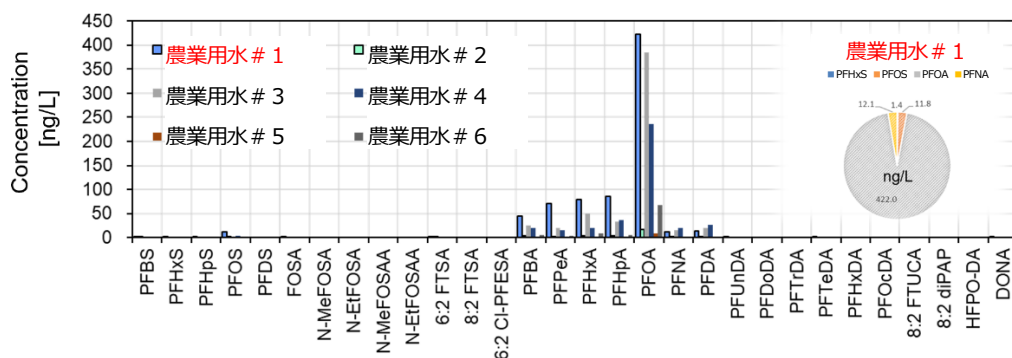


図4. 新規分析法による農業用水の分析結果:(水のみ)(円グラフはPFHxS, PFOS, PFOA, PFNAの割合を示す。)

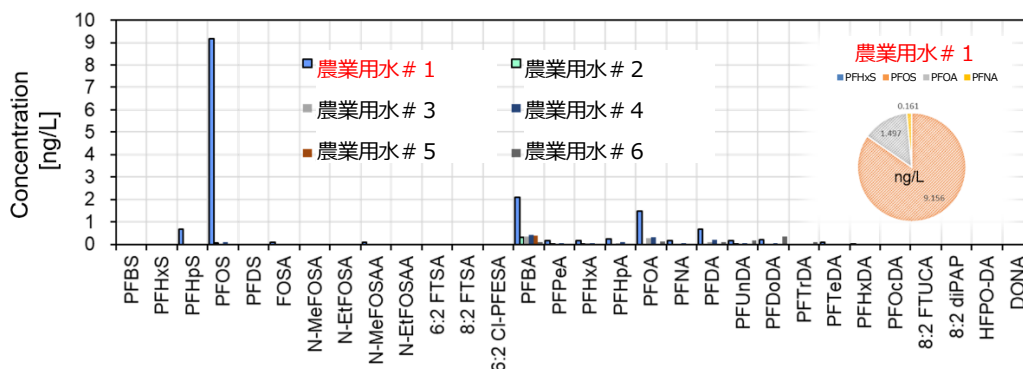


図5. 新規分析法による農業用水の分析結果(浮遊物のみ)(円グラフはPFHxS, PFOS, PFOA, PFNAの割合を示す。)

6) 現時点における令和5年度達成目標から見た問題点と令和6年度の達成目標

今年度は、実証試験が短期間で分析数が多くなかったため、結果を暫定値として示した。令和6年度は、農業用水の点数を増やし実証試験を重ねて、抽出、精製、測定について分析法の高度化を図る。また、採取法や採取時期などを詳細に検討し、規定するこ

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

とで一貫した試験分析法として暫定マニュアルを作成して、1－(2)と連携して検証を進め、農業用水に適した分析法を確立する。

7) 最終目標の達成見込み

新たに考案した農業用水の新規分析法が有用である可能性を確認でき、次年度の農業用水に適した分析法確立に向けた準備ができたことから、環境中に放出されたPFASが、農地土壌や農業用水を経由して農作物へ移行する際の特徴的な分子種や移行程度を解明し、行政による農産物由来のPFAS摂取のリスク管理に資する成果を創出するという本課題の目標の達成に向けて順調に進んでいると言える。

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

課題番号	3812803	課題 研究期間	令和5～9年度
実行課題番号		実行課題 研究期間	令和5～9年度
契約課題名	農作物中PFASの分析法の確立、農地土壌、水等からのPFAS移行特性の解明		
小課題名	1 農業環境試料のPFASに最適な試験・分析法の開発		
実行課題名	(2) 農業環境試料のPFASに最適な試験・分析法の評価		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構 高度分析研究センター・亀山眞由美		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構 高度分析研究センター・環境化学物質分析ユニット・殷 熙洙		
共同研究機関・研究室・研究者 名等	産総研 環境創生研究部門・環境計測技術研究グループ・谷保佐知 大阪府環農水研 環境研究部・環境調査グループ・矢吹芳教、小野順子、伴野有彩 兵庫県環境研 水環境科・梶 拓也、松村千里 アジレント・テクノロジー社・ラボラトリーソリューション本部・城代 航、滝埜昌彦 島津製作所社・分析計測事業部・小林まなみ、岩佐奈実 日本ウォーターズ社・学術本部・岩田敏明、小寺和樹 島津テクノリサーチ社・環境事業部・高菅卓三、柴山 基、醍醐ふみ		

1) 研究目的

農業環境及び農作物中のPFASの分析法を、高精度で信頼性の高いものとするため、分析機器メーカーを含む複数の機関で評価・検証する。

2) 研究進捗状況

1 - (1) で考案された農業用水の新規分析法の次年度実証試験に向けて、担当機関が所有する装置等において測定可能な濃度範囲の確認を実施した。また、ワークショップ開催により、農業環境から農産物へのPFASの移行調査で重要となる、土壌に含まれるPFASの一斉分析法を担当機関すべてが習得した。課題開始が遅れたものの、次年度中の農業用水に適した分析法確立に向けて計画が進捗した。

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

3) 令和5年度の達成目標

1－(1)で考案された農業用水の新規分析法について、令和6年度までに高精度で信頼性の高いものとするため、令和5年度は30種のPFASについて分析装置の測定可能範囲と精度を確認するとともに、農業用水の新規分析法の基盤となる土壌の分析法を習得する。

4) 令和5年度研究方法

コンソーシアム参画機関のうち6機関で、同一標準試薬を用いて検量線を作成した。農研機構から各機関に、30種のPFASの濃度が異なる(0.002、0.01、0.05、0.2、1、5、10 ng/mL)7点の標準溶液、内部標準(サロゲート)10 ng/mL、リカバリーテスト用標準(非標的PFAS)10 ng/mL、QC用溶液(サロゲートと非標的PFAS)1 ng/mLを配付し、各機関で検量線を作成した。その際、「土壌に含まれるPFASの一斉分析暫定マニュアル」に検証されているLCカラムであるBetaSil C18, ZORBAX Eclipse Plus C18, ACQUITY UPLC BEH C18, Shim-pack GIST-HP C18を用いて実施した。分析条件もマニュアルに従い、各機関が保有する装置に該当する測定パラメータを選択し、測定を行った。

5) 令和5年度研究結果

表1に示したように30種PFASの同一標準試薬に対する参画機関の検量線結果は良好な直線性(R^2)を示すことが確認できた。0.002、0.01、0.05、0.2、1、5、10 ng/mLの7点の濃度範囲における30種PFASの定量が可能な濃度については各機関の装置の性能、測定条件などに影響されるが、本課題実施には問題ないレベルであることが確認できた。

従って、この検量線を用いて今後予定している新規農業用水分析の実証実験に速やかに応用できる体制となった。

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

表 1. 参画機関における同一標準試薬による検量線結果

	機関A		機関B		機関C		機関D		機関E		機関F	
グループ1化合物	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲
PFHxS	0.9996	2 ppt-10ppb	0.9981	50 ppt-10ppb	0.9983	10 ppt-10ppb	0.9999	2 ppt-10ppb	0.9995	10 ppt-10ppb	0.9993	2 ppt-10ppb
PFOS	0.9995	2 ppt-10ppb	0.9984	50 ppt-10ppb	0.9997	50 ppt-10ppb	1.0000	2 ppt-10ppb	0.9993	10 ppt-10ppb	0.9993	2 ppt-10ppb
PFOA	0.9993	2 ppt-10ppb	0.9990	10 ppt-10ppb	0.9997	50 ppt-10ppb	0.9999	2 ppt-10ppb	0.9996	10 ppt-10ppb	0.9992	2 ppt-10ppb
PFNA	0.9975	2 ppt-10ppb	0.9992	10 ppt-10ppb	0.9999	50 ppt-10ppb	0.9999	2 ppt-10ppb	0.9994	10 ppt-10ppb	0.9996	2 ppt-10ppb
グループ2化合物	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲
PFBS	0.9991	2 ppt-10ppb	0.9983	10 ppt-10ppb	0.9996	10 ppt-10ppb	0.9998	2 ppt-10ppb	0.9986	10 ppt-10ppb	0.9993	2 ppt-10ppb
PFHpS	0.9999	2 ppt-10ppb	0.9966	50 ppt-10ppb	0.9999	50 ppt-10ppb	0.9999	2 ppt-10ppb	0.9994	2 ppt-10ppb	0.9992	2 ppt-10ppb
PFDS	0.9995	2 ppt-10ppb	0.9955	50 ppt-10ppb	0.9996	50 ppt-10ppb	1.0000	2 ppt-10ppb	0.9993	10 ppt-10ppb	0.9997	2 ppt-10ppb
FOSA	0.9989	2 ppt-10ppb	0.9929	50 ppt-10ppb	0.9999	10 ppt-10ppb	0.9997	2 ppt-10ppb	0.9998	2 ppt-10ppb	0.9992	2 ppt-10ppb
PFBA	0.9964	2 ppt-10ppb	0.9997	10 ppt-10ppb	0.9998	200 ppt-10ppb	0.9997	50 ppt-10ppb	0.9996	200 ppt-10ppb	0.9992	2 ppt-10ppb
PFPeA	0.9996	2 ppt-10ppb	0.9995	10 ppt-10ppb	0.9998	10 ppt-10ppb	0.9998	2 ppt-10ppb	0.9996	10 ppt-10ppb	0.9992	2 ppt-10ppb
PFHxA	0.9996	2 ppt-10ppb	0.9994	10 ppt-10ppb	0.9998	10 ppt-10ppb	1.0000	2 ppt-10ppb	0.9991	10 ppt-10ppb	0.9991	2 ppt-10ppb
PFHpA	0.9995	2 ppt-10ppb	0.9996	10 ppt-10ppb	0.9992	50 ppt-10ppb	1.0000	10 ppt-10ppb	0.9999	2 ppt-10ppb	0.9991	2 ppt-10ppb
PFDA	0.9986	2 ppt-10ppb	0.9966	10 ppt-10ppb	0.9999	10 ppt-10ppb	0.9994	2 ppt-10ppb	0.9990	10 ppt-10ppb	0.9991	2 ppt-10ppb
PFUnDA	0.9992	2 ppt-10ppb	0.9994	10 ppt-10ppb	0.9999	50 ppt-10ppb	0.9999	2 ppt-10ppb	0.9997	2 ppt-10ppb	0.9991	2 ppt-10ppb
PFDoDA	0.9994	2 ppt-10ppb	0.9998	10 ppt-10ppb	1.0000	10 ppt-10ppb	0.9997	2 ppt-10ppb	0.9996	2 ppt-10ppb	0.9994	2 ppt-10ppb
PFTrDA	0.9981	2 ppt-10ppb	0.9998	10 ppt-10ppb	1.0000	50 ppt-10ppb	0.9994	2 ppt-10ppb	0.9995	2 ppt-10ppb	0.9991	2 ppt-10ppb
PFTeDA	0.9998	2 ppt-10ppb	0.9987	10 ppt-10ppb	1.0000	10 ppt-10ppb	0.9998	2 ppt-10ppb	0.9995	10 ppt-10ppb	0.9992	2 ppt-10ppb
グループ3化合物	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲	検量線R2	範囲
N-MeFOSA	0.9996	2 ppt-10ppb	0.9989	50 ppt-10ppb	0.9998	10 ppt-10ppb	0.9999	10 ppt-10ppb	1.0000	10 ppt-10ppb	0.9995	2 ppt-10ppb
N-EtFOSA	0.9992	2 ppt-10ppb	0.9987	50 ppt-10ppb	0.9998	10 ppt-10ppb	1.0000	10 ppt-10ppb	0.9993	10 ppt-10ppb	0.9991	2 ppt-10ppb
N-MeFOSAA	0.9996	2 ppt-10ppb	0.9982	50 ppt-10ppb	0.9998	50 ppt-10ppb	0.9997	10 ppt-10ppb	1.0000	10 ppt-10ppb	0.9995	2 ppt-10ppb
N-EtFOSAA	0.9991	2 ppt-10ppb	0.9978	50 ppt-10ppb	0.9997	10 ppt-10ppb	1.0000	2 ppt-10ppb	0.9998	10 ppt-10ppb	0.9992	2 ppt-10ppb
6-2 FTSA	0.9930	2 ppt-5ppb	0.9848	50 ppt-10ppb	0.9873	50 ppt-10ppb	0.9940	10 ppt-10ppb	0.9998	10 ppt-10ppb	0.9934	2 ppt-5ppb
8-2 FTSA	0.9952	2 ppt-5ppb	0.9823	50 ppt-10ppb	0.9898	200 ppt-10ppb	0.9956	10 ppt-10ppb	0.9988	10 ppt-10ppb	0.9997	2 ppt-5ppb
9CI-PF3ONS	0.9983	2 ppt-10ppb	0.9955	10 ppt-10ppb	0.9996	10 ppt-10ppb	0.9995	2 ppt-10ppb	0.9988	2 ppt-10ppb	0.9987	2 ppt-10ppb
PFHxDA	0.9993	2 ppt-10ppb	0.9998	10 ppt-10ppb	0.9998	10 ppt-10ppb	0.9998	2 ppt-10ppb	0.9999	2 ppt-10ppb	0.9994	2 ppt-10ppb
PFOcDA	0.9999	2 ppt-10ppb	0.9975	50 ppt-10ppb	0.9996	10 ppt-10ppb	0.9995	2 ppt-10ppb	0.9995	2 ppt-10ppb	0.9994	2 ppt-10ppb
8-2 FTUCA	0.9964	2 ppt-5ppb	0.9992	10 ppt-10ppb	0.9998	50 ppt-10ppb	0.9999	2 ppt-10ppb	0.9999	2 ppt-10ppb	0.9996	2 ppt-5ppb
8-2 diPAP	0.9997	2 ppt-5ppb	0.9974	50 ppt-10ppb	0.9999	50 ppt-10ppb	0.9999	50 ppt-10ppb	0.9997	10 ppt-10ppb	0.9994	2 ppt-5ppb
HFPO-DA	0.9996	2 ppt-10ppb	0.9998	10 ppt-10ppb	0.9997	10 ppt-10ppb	1.0000	2 ppt-10ppb	0.9999	50 ppt-10ppb	0.9993	2 ppt-10ppb
DONA	0.9985	2 ppt-10ppb	0.9994	10 ppt-10ppb	0.9984	2 ppt-10ppb	0.9999	2 ppt-10ppb	0.9999	10 ppt-10ppb	0.9994	2 ppt-10ppb

2 ppt-10ppb 機関数	10 ppt-10ppb 機関数	50 ppt-10ppb 機関数	200 ppt-10ppb 機関数
3	2	1	
3	1	2	
3	2	1	
3	2	1	

2 ppt-10ppb 機関数	10 ppt-10ppb 機関数	50 ppt-10ppb 機関数	200 ppt-10ppb 機関数
3	3		
4		2	
3	1	2	
4	1	1	
2	1	1	2
3	3		
3	3		
3	2	1	
3	3		
4	1	1	
4	2		
4	1	1	
3	3		

2 ppt-10ppb 機関数	10 ppt-10ppb 機関数	50 ppt-10ppb 機関数	200 ppt-10ppb 機関数
2	3	1	
2	3	1	
2	2	2	
3	2	1	
2	2	2	
2	2	1	1
4	2		
4	2		
4	1	1	
4	1	1	
2	1	3	
3	2	1	
4	2		

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

6) 現時点における令和5年度達成目標から見た問題点と令和6年度の達成目標

次年度中の農業用水に適した分析法確立に向けて準備が整ったため、令和6年度は計画通り、1－(1)からの農業用水新規分析法の予備的なマニュアル提供を受けて実証試験を行う。具体的には、多様な夾雑物を含む農業用水について内部標準物質の回収率を比較し、抽出、精製工程を評価する。得られた問題点を修正、補完し、1－(1)で作成する暫定マニュアルに反映する。

7) 最終目標の達成見込み

共通の標準試薬による検量線を作成し良好な結果が得られ、次年度の農業用水に適した分析法確立に向けた準備ができたことから、環境中に放出されたPFASが、農地土壌や農業用水を経由して農作物へ移行する際の特徴的な分子種や移行程度を解明し、行政による農産物由来のPFAS摂取のリスク管理に資する成果を創出するという本課題の目標の達成に向けて順調に進んでいると言える。

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

課題番号	3812803	課題 研究期間	令和5～9年度
実行課題番号		実行課題 研究期間	令和5～9年度
契約課題名	農作物中PFASの分析法の確立、農地土壌、水等からのPFAS移行特性の解明		
小課題名	2 各種農作物へのPFAS移行特性の解明		
実行課題名	(1) 農地土壌、水等から農作物へのPFAS移行動態調査		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構 高度分析研究センター・環境化学物質分析ユニット・殷 熙洙		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構 高度分析研究センター・環境化学物質分析ユニット・殷 熙洙		
共同研究機関・研究室・研究者 名等	農研機構 農環研・土壌資源・管理グループ・前島勇治 大阪府環農水研 環境研究部・環境調査グループ・矢吹芳 教、伴野有彩 兵庫県環境研 水環境科・梶 拓也、松村千里		

1) 研究目的

国内で採取された2種以上の農地土壌を含む高濃度PFAS土壌を用いて、その土壌、農業用水、大気中のPFAS濃度、及びその環境下で栽培された3品目以上の農作物中のPFASについて調査し、農作物に移行しやすいPFAS分子種を特定するとともに、その移行特性を調べる。

2) 研究進捗状況

課題2(1)では、農地土壌、水等から農作物へのPFAS移行動態調査のため、PFASの分子種や濃度分布が異なる2種以上の農地土壌の確保が必須である。1か所については、昨年調査を行った農家のA圃場を確保するとともに、圃場内の45地点から土壌試料を3点ずつ採取し、PFASの分子種や濃度の水平分布について検討した。また、それ以外の、農作物の栽培試験土壌を選定するため、消費・安全局から合計28点の土壌試料の提供を受け、その分析を完了した(参考資料)。

農地土壌から農作物へのPFAS移行動態調査の実施に向けて、候補土壌及び試験農作物の選定に活用できる知見を得た。農作物(根菜類:ジャガイモ)の前処理については皮へ付着した栽培土壌の影響について詳細に調べた。

なお、消費・安全局と協議して、次年度以降に実施予定としている栽培試験用の農地

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

土壌及び農業用水の分析を優先し、大気の試験方法の検討については、次年度実施することとした。

3) 令和5年度の達成目標

本研究課題が目的としている高濃度PFAS農業環境から農作物へ移行するPFAS分子種の特定と移行特性の解明に適した試験土壌を探索し選定する。次年度から開始する栽培試験に向けて、選定した土壌を有する圃場の状況や特性に適した試験設計の参考にする。農作物の栽培期間中に影響を及ぼす農業用水と大気の試験方法を検討する。

農作物（根菜類）の前処理については皮へ付着した栽培土壌の影響を詳細に調べ、付着土壌によるPFAS評価がどのように変動しうるかを明らかにする。

4) 令和5年度研究方法

・試験農地土壌の選定のための、土壌試料中のPFASの分子種や濃度分布の探索

消費・安全局から提供を受けた28種の農地土壌について、「土壌に含まれるPFASの一斉分析暫定マニュアル」に従い、前処理（風乾、ふるい、土壌水分含量測定、土壌中炭素含量測定、PFASの抽出、精製、測定（図6）を行った。なお、試料の測定におけるブランクテスト及びリカバリテスト用として農研機構が作製した砂試料を供した。

・同一圃場中の農地土壌におけるPFASの分子種や濃度の分布実態の解明

A圃場の3m×15mの試験区において3畝を耕耘機（刃30 cm、攪拌深さ15～20 cm）で攪拌した後、1メートルメッシュで各畝15カ所の深さ約15 cmの土壌を約1 kgずつ、「土壌に含まれるPFASの一斉分析暫定マニュアル」に基づいて45点採取した。採集した土壌はすぐに前処理（風乾、ふるい、土壌水分含量測定、土壌中炭素含量測定、PFASの抽出、精製、測定を行った。各地点（45地点）を3回繰返し、試験を実施した（計135試料）。なお、試料の測定におけるブランクテスト及びリカバリテスト用として農研機構が作製した砂試料を供した。

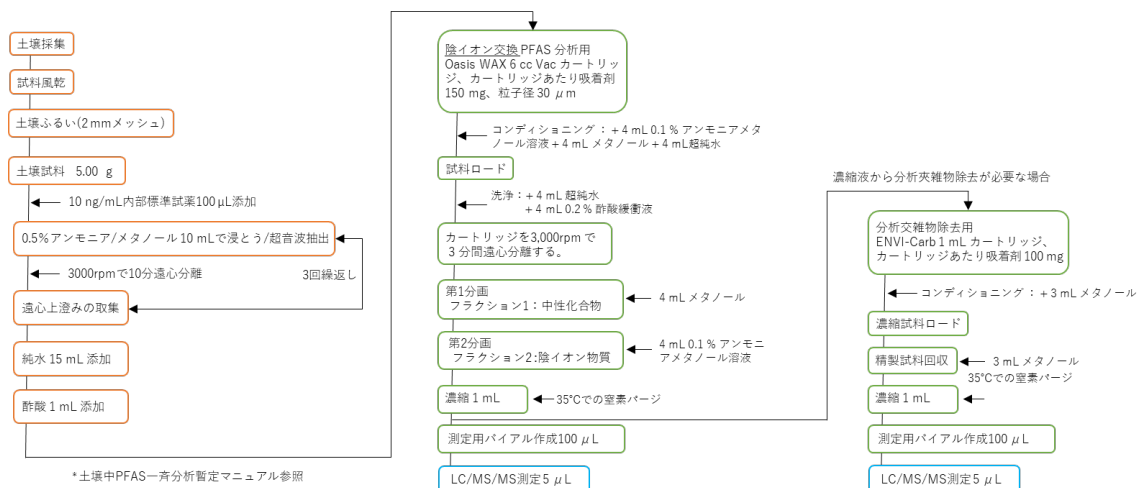


図6. 農用地土壌の分析方法の工程図

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

・根菜類（ジャガイモ）前処理及び試料形態におけるPFASの分子種や濃度の分布実態の
解明

農研機構内の試験圃場にて、ジャガイモ（品種：メークイン）を栽培した。収穫されたジャガイモから200-230 gの重さの試料を選定した。試料として、皮つきのジャガイモ、皮をむいたジャガイモ、皮のみの3種を作製した。また、洗浄の仕方の影響を調べるため、洗わないもの（無洗浄処理）、流水（水道水＋純水）で洗浄したもの、ブラシを用いて流水（水道水＋純水）で洗浄したものについて検討した。なお、ジャガイモの皮は、ピーラーを用いて剥いて得たものを分析に供した。ピーラーで剥いた皮の厚さは1-2 mmであり、ジャガイモ全体の重さの7-10%であった。分析工程は図7で示している。

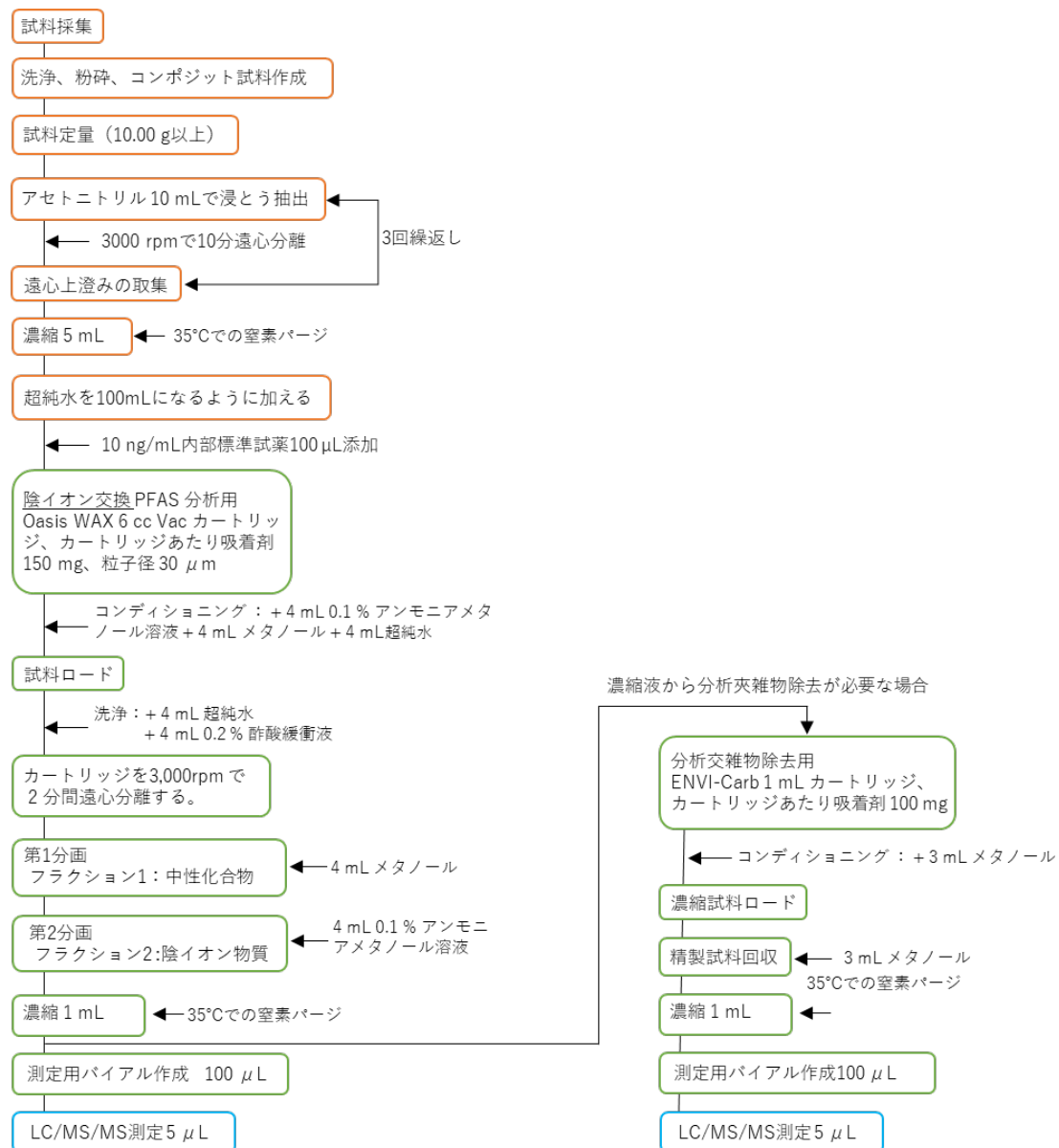


図 7. 根菜類（ジャガイモ）の分析方法の工程図

5) 令和5年度研究結果

・試験農地土壌の選定のための、土壌試料中のPFASの分子種や濃度分布の探索

国内で採取された28種の農地土壌中のPFASの分子種や濃度分布を測定した。これらの試料は総炭素含量が0.9%-6.5%の幅広い範囲を示したが、全試料を「土壌に含まれるPFASの一斉分析暫定マニュアル」によって良好な回収率で分析ができたことから、国内農用地土壌調査に有効であることが判明した。

試験に供した農地土壌のうち、20種の農地土壌はパーフルオロカルボン酸類(PFCAs)を多く含むが、それ以外はパーフルオロスルホン酸(PFSAs)を多く含んでいた。

試料の中には、PFUnDAの含有割合に特徴を有する土壌もあった。

「土壌に含まれるPFASの一斉分析暫定マニュアル」では回収率が低い(70%以下)とされている*N*-MeFOSA及び*N*-EtFOSAの内部標準の回収率が高い試料も認められた。今後、土壌の物理化学特性と*N*-MeFOSA及び*N*-EtFOSAの吸着・脱着に関するメカニズムについての検討に活用可能な土壌と考えられた。

・同一圃場中の農地土壌におけるPFASの分子種や濃度の分布実態の解明

A圃場の3m×15mの試験区において、1メートルメッシュで各畝15カ所の表層から深さ約15cmの土壌を「土壌に含まれるPFASの一斉分析暫定マニュアル」に準じ、採取、分析を実施し、PFASの分子種や濃度の水平分布を明らかにした。

各地点(45地点)から採取した土壌について、それぞれ3回併行分析を実施した結果、135点の分析試料中、総PFAS濃度(Σ PFAS30)は、最大約2倍の差を示した。3m×15mの試験区は小規模の圃場であるが、PFASの濃度と分布を詳細に調べると、土壌中のPFASの分子種や濃度は各々の地点で差異があることが明らかになった。このような試みは初であり、この知見は土壌中におけるPFASの蓄積・移動・残存などのシミュレーションをはじめ、PFASの環境リスク評価、農作物への影響などを評価する上で貴重な基礎知見である。

・根菜類(ジャガイモ)前処理及び試料形態におけるPFASの分子種や濃度の分布実態の解明

農作物(根菜類:ジャガイモ)の前処理として、皮へ付着した栽培土壌の影響について確認した。栽培土壌を「土壌に含まれるPFASの一斉分析暫定マニュアル」を用いてn=3で実施した結果を図8に示した。土壌については、PFSAsの中ではPFHxSは検出されず、PFOSが平均437 ng/kg-dw(標準偏差27 ng/kg-dw)、PFCAsではPFOAが平均222 ng/kg-dw(標準偏差11 ng/kg-dw)からPFNA 平均455 ng/kg-dw(標準偏差19 ng/kg-dw)であった。

一方、その土壌環境で栽培された根菜類(ジャガイモ)において表面(皮)の処理をしないものと、流水(水道水+純水)で流したもの、ブラシを用いて流水(水道水+純水)で表面を前処理したものを比較した結果(図9)からいずれもPFBA(C4)、PFPeA(C5)、PFHxA(C6)が主に検出された。この結果を主成分分析による解析を行った結果、ジャガイモ栽培土壌中のPFASの分子種や濃度がそのまま反映されないことが明らかになった。一方、低濃度PFAS土壌のため、土壌粒子の皮表面への付着影響について前処理方法の差異は顕著ではないが、皮を除去した内部はいずれも濃度が低減されていることが明らかになった。

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

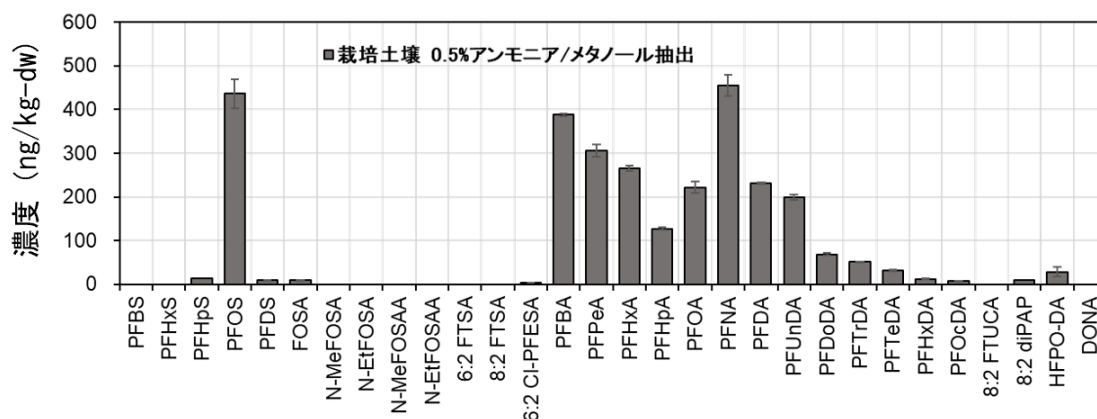


図8. 根菜類(ジャガイモ)栽培土壌におけるPFASの分子種や濃度(n=3)

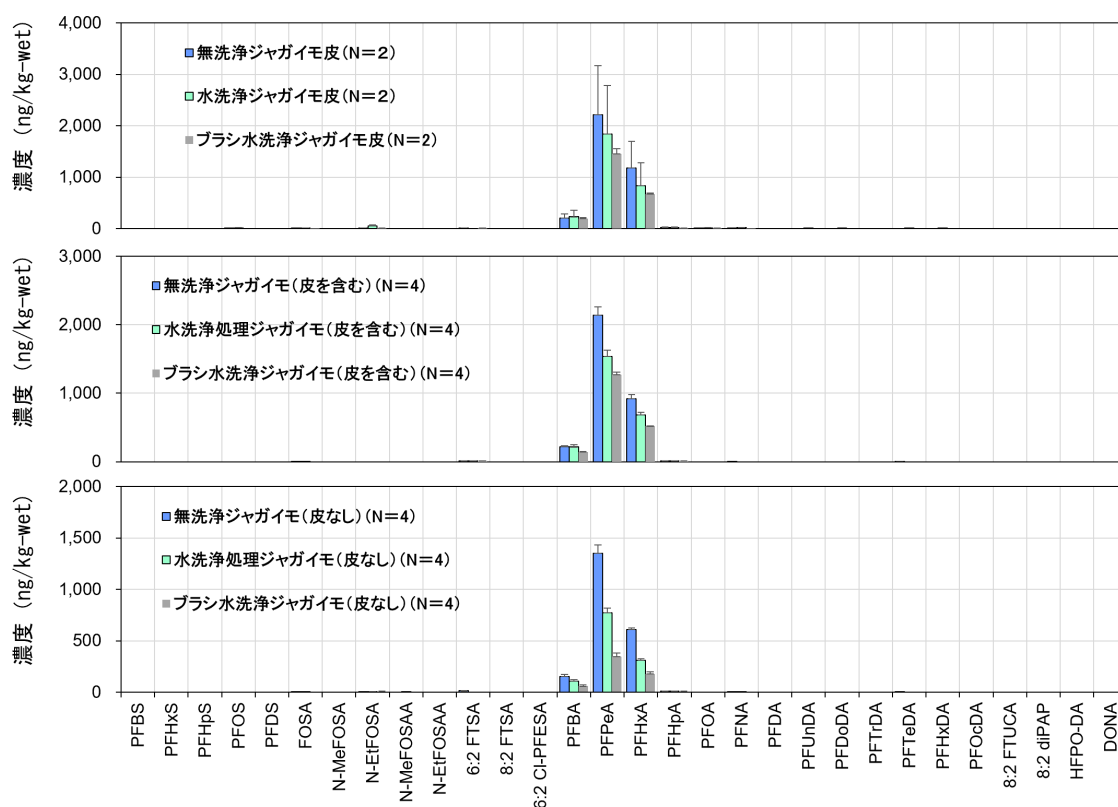


図9. 根菜類(ジャガイモ)の前処理方法及び試料形態におけるPFASの分子種や濃度

6) 現時点における令和5年度達成目標から見た問題点と令和6年度の達成目標

本課題2-(1)を実施するためのPFASの分子種や濃度が異なる農地土壌のスクリーニングが必須であることから、試験候補土壌の風乾から前処理、測定に注力した。この結果を踏まえ、早急に試験土壌を確保し試験実施を実現する必要がある。

根菜類(ジャガイモ)の試験土壌が低濃度PFAS土壌のため、前処理方法による土壌粒

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

子の皮表面への付着影響について明確ではなかった。令和6年度は各種農作物へのPFAS移行特性の解明のため、異なる2種以上の高濃度PFAS土壌の試験現場における各種農作物の栽培を開始し、農地土壌、水等から農作物へのPFAS移行動態調査を実施する。

7) 最終目標の達成見込み

土壌、農業用水、大気からの農作物へのPFAS移行については多様な農地土壌中のPFAS分子種や濃度などの新たな知見が得られ、最終目標である動態の全容解明に向けた基盤作りができた。そのため、本課題は目標の達成に向けて順調に進んでいると言える。

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

課題番号	3812803	課題 研究期間	令和5～9年度
実行課題番号		実行課題 研究期間	令和5～9年度
契約課題名	農作物中PFASの分析法の確立、農地土壌、水等からのPFAS移行特性の解明		
小課題名	2 各種農作物へのPFAS移行特性の解明		
実行課題名	(2) 農作物へのPFAS吸収・移行のメカニズムの解明		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構 高度分析研究センター・環境化学物質分析ユニット・殷 熙洙		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	神戸大・バイオシグナル総合研・シグナル分子応答研究部門・乾 秀之		
共同研究機関・研究室・研究者 名等	農研機構 高度分析研究センター・環境化学物質分析ユニット・殷 熙洙		

1) 研究目的

ウリ科作物のきゅうり、かぼちゃ、ズッキーニを用いて、PFAS の中でも特にPFOS及びPFOAの地上部への蓄積を評価する。さらに、PFOSとPFOAの蓄積と汚染物質輸送因子MLP (Major latex-like protein) の結合特性を調べる。

2) 研究進捗状況

きゅうり、かぼちゃ、ズッキーニ2品種の導管液におけるPFOS及びPFOA蓄積特性が明らかとなった。また、汚染物質輸送因子MLPとPFOS及びPFOAの結合親和性が明らかとなった。

3) 令和5年度の達成目標

疎水性有機汚染物質の蓄積程度が異なる3種のウリ科作物において、PFOS及びPFOAの蓄積特性を明らかにする。MLPとPFOS・PFOAの結合親和性を調べる。

4) 令和5年度研究方法

PFOS、もしくはPFOAを含む水を与えながら、3種のウリ科作物(きゅうり、かぼちゃ、ズッキーニ2品種)を人工気象器において3-4週間土耕栽培した。採取した導管液に含まれるPFOS、PFOA濃度を定量した。一方、MLPとPFOS、PFOAの結合親和性をAutoDock Vinaを用いてドッキングシミュレーションにより決定した。

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

5) 令和5年度研究結果

疎水性汚染物質に対して高蓄積性を示すズッキーニRA品種を含むウリ科植物に1,000 µg/L、10,000 µg/Lの濃度でPFOSもしくはPFOAを添加した水道水を与えた場合、いずれの場合でも10,000 µg/Lを与えた方が導管液において高濃度で検出された。きゅうり、かぼちゃ、ズッキーニ2品種の導管液中PFOS及びPFOA濃度を比較したところ、ズッキーニRA品種に10,000 µg/Lを与えた区で最も高く、投与濃度の0.07%程度であることが明らかとなった。一方、疎水性汚染物質に対して低蓄積性を示すPG品種は、10,000 µg/Lを与えた区でもきゅうりやかぼちゃと同程度で、投与濃度の0.01%であった。

4種のウリ科作物が持つMLPとPFOS及びPFOAの結合自由エネルギーは、 -8 kcal/mol 以下となり、強い結合が予想された。また、MLPの内部に存在する空洞（キャビティー）の容積が大きいほどPFOS及びPFOAを強く結合することが予想された。

6) 現時点における令和5年度達成目標から見た問題点と令和6年度の達成目標

令和5年度の達成目標から見て、問題点はない。令和6年度の達成目標は、令和5年度のウリ科作物と同様に、トマト／じゃがいも（ナス科）、にんじん（セリ科）の導管液に含まれるPFOS及びPFOA濃度を定量する。また、ウリ科作物が持つMLPとPFOS及びPFOAの結合確認を行い、MLPがPFOS及びPFOAのトランスポーターとして機能しているか調べる。

7) 最終目標の達成見込み

ウリ科作物に対するPFOS及びPFOAの蓄積特性を明らかにし、MLPがPFOS及びPFOAと結合することが予測された。したがって、MLPがPFOS及びPFOAのトランスポーターとして機能していることを示唆できたことから、最終目標の達成に着実に近づいていると言える。

さらに、農作物の導管液からPFOS及びPFOAの評価ができることが確認できたので、この手法は短期間かつ簡便にPFASに対する農作物の吸収・移行性を評価できるスクリーニング手法としての可能性が示された。

※本報告書の内容は、令和5年度における試験研究結果を取りまとめたものです。
今後、試験法や解析法の再検討等により、必要に応じて修正を行う可能性があります。

参考資料 試験土壌中のPFAS濃度 [ng/kg-dw] と内標準物質の回収率 [%]

PFAS化合物名		検出下限	土壌 #a	土壌 #b	土壌 #c	土壌 #d	土壌 #e	土壌 #f	土壌 #g	土壌 #h	土壌 #i	土壌 #j	土壌 #k	土壌 #l	土壌 #m	土壌 #n	土壌 #o	土壌 #p	土壌 #q	土壌 #r	土壌 #s	土壌 #t	土壌 #u	土壌 #v	土壌 #w	土壌 #x	土壌 #y	土壌 #z	土壌 #aa	土壌 #ab	土壌 #ac	
ハーフシリカ系土壌	PFBS	1.3E+01	2.2E+01		2.0E+02								1.5E+01			1.5E+01	2.6E+01	2.4E+01		1.9E+01	1.4E+02								2.7E+01		2.6E+01	
	PFHxS	5.8E+00	1.6E+01	2.1E+01	3.0E+02	2.3E+01	9.3E+00	7.4E+00	1.4E+01	7.9E+00	1.4E+01	1.4E+01	8.0E+00	7.2E+01	8.9E+00	4.7E+01	8.1E+01	9.2E+01	5.4E+01	9.5E+01	1.2E+01	3.0E+02	2.3E+02	3.1E+01	8.7E+00						1.1E+01	
	PFHpS	9.6E+00			2.4E+01				1.1E+01	2.0E+01	3.4E+01	2.0E+01	1.3E+01			1.8E+01	3.6E+01	1.3E+01	1.2E+01	5.6E+01	1.5E+01	4.2E+01	1.1E+01			1.5E+01		2.4E+01	8.2E+01	3.9E+01	3.2E+01	
	PFOS	5.0E+00	1.3E+02	1.6E+02	2.0E+03	1.4E+02	1.7E+02	8.6E+01	1.8E+02	1.3E+02	2.2E+02	1.3E+02	1.4E+02	1.9E+02	1.7E+02	1.8E+02	2.3E+02	2.7E+02	1.7E+02	4.2E+02	1.6E+02	1.7E+03	2.0E+03	8.8E+02	3.9E+02	2.2E+02	2.0E+02	2.7E+02	5.9E+02	3.4E+02	1.7E+02	
	PFDS	6.9E+00	1.9E+01	5.7E+01	9.5E+00	1.5E+01	1.5E+01	9.2E+00	1.8E+01	2.0E+01	2.8E+01	7.4E+00	4.1E+01	1.9E+01	1.3E+01	2.3E+01	5.5E+01	3.1E+01	1.6E+01	4.2E+01			7.8E+00			1.5E+01	3.7E+01	5.5E+01	3.5E+01	1.6E+01		
	FOSA	1.7E+00	2.9E+00	2.8E+00	8.0E+00		1.8E+00		2.1E+00		1.7E+01		5.2E+00		1.9E+00	1.7E+00	1.9E+00	3.7E+00	6.7E+00	3.0E+00		2.3E+01	2.4E+01		5.0E+00	4.3E+00	5.6E+00	3.7E+00	7.2E+00	5.8E+00	4.2E+00	
	N-MeFOSA	4.2E+00	2.8E+01			5.5E+01	9.0E+01	1.9E+01	8.4E+00	6.2E+00	8.8E+00		6.1E+01		4.9E+01			5.2E+00			1.8E+01					1.6E+01					1.4E+01	
	N-EtFOSA	5.0E+00	6.7E+00	1.4E+01	8.0E+00	2.1E+01	9.7E+00	1.1E+01	2.5E+01	6.3E+00	1.4E+01		1.8E+01	2.2E+01	9.7E+00		5.3E+01	1.4E+01	2.9E+01	1.3E+01	6.5E+00	1.8E+01	8.6E+00		8.1E+00	6.0E+01	1.3E+01	5.8E+00	6.1E+00	1.8E+01		
	N-MeFOSAA	2.5E+00			3.6E+00							2.6E+00																				
	N-EtFOSAA	6.2E+00			2.4E+02																	1.2E+01	6.8E+00								8.2E+00	
	6:2FTSA	3.2E+00									1.0E+01																					
	8:2FTSA	3.1E+00																														
	6:2Cl-PFESA	9.6E-01			1.1E+00																				1.2E+00	2.1E+00						1.9E+00
ハーフシリカ系土壌	PFBA	3.2E+01	3.2E+01	9.3E+01	4.5E+03	9.8E+01	5.6E+01	7.2E+01	7.2E+01	7.1E+01	8.2E+01	6.3E+01	4.1E+01	3.0E+02	7.4E+01	1.4E+02	2.3E+02	2.9E+02	2.6E+02	3.0E+02	6.8E+02	7.0E+01	1.0E+02		1.1E+02	3.7E+02	9.1E+01		1.3E+02	9.0E+01	9.9E+01	
	PFPeA	6.2E+00	4.2E+01	8.3E+01	1.1E+04	1.1E+02	4.6E+01	5.5E+01	7.1E+01	6.0E+01	9.3E+01	5.5E+01	5.3E+01	3.2E+02	6.2E+01	1.7E+02	2.4E+02	3.9E+02	3.0E+02	3.9E+02	8.0E+02	1.2E+02	2.1E+02	3.2E+01	7.2E+01	1.9E+02	8.5E+01	3.5E+01	1.2E+02	8.4E+01	1.7E+02	
	PFHxA	4.0E+00	2.3E+02	3.0E+02	2.7E+04	3.3E+02	2.6E+02	1.2E+02	2.7E+02	1.3E+02	2.7E+02	2.1E+02	1.4E+02	1.4E+03	2.2E+02	8.1E+02	1.3E+03	1.8E+03	1.2E+03	1.7E+03	9.6E+02	1.3E+03	3.8E+01	7.6E+01	1.8E+02	9.5E+02	6.9E+02	2.4E+03	1.3E+03	3.1E+03		
	PFHpA	3.0E+00	1.2E+02	2.5E+02	7.9E+03	2.6E+02	8.8E+01	1.4E+02	2.1E+02	1.3E+02	2.1E+02	1.8E+02	1.6E+02	9.8E+02	1.9E+02	5.2E+02	9.1E+02	1.2E+03	7.7E+02	1.1E+03	2.9E+02	4.8E+01	3.4E+01	2.9E+01	6.3E+01	1.5E+02	6.3E+01	3.1E+01	1.7E+02	8.3E+01	1.0E+02	
	PFOA	9.3E+00	3.8E+03	6.6E+03	6.3E+04	5.2E+03	2.2E+03	2.2E+03	4.6E+03	2.5E+03	4.4E+03	3.8E+03	3.2E+03	2.1E+04	3.3E+03	1.3E+04	2.2E+04	2.6E+04	1.8E+04	2.5E+04	4.9E+03	1.4E+02	8.5E+01	1.8E+02	1.6E+02	1.5E+02	6.9E+02	2.4E+02	1.2E+03	6.7E+02	1.9E+03	
	PFNA	5.5E+00	4.0E+02	4.8E+02	1.9E+03	4.5E+02	3.0E+02	3.0E+02	4.1E+02	2.4E+02	4.3E+02	2.7E+02	4.1E+02	8.7E+02	2.1E+02	5.2E+02	8.5E+02	9.1E+02	6.6E+02	1.2E+03	2.3E+02	3.0E+02	3.3E+02	1.7E+02	2.6E+02	3.6E+02	2.8E+02	1.4E+02	5.0E+02	2.6E+02	4.0E+02	
	PFDA	6.9E+00	8.2E+02	1.1E+03	1.4E+03	1.1E+03	7.4E+02	7.4E+02	7.7E+02	5.4E+02	8.0E+02	6.8E+02	7.9E+02	1.7E+03	3.3E+02	1.1E+03	1.4E+03	1.4E+03	1.3E+03	2.1E+03	3.6E+02	5.5E+01	9.8E+01	3.7E+02	7.0E+02	1.5E+02	9.1E+02	4.0E+02	1.7E+03	8.4E+02	1.1E+03	
	PFUnDA	7.4E+00	2.7E+02	3.7E+02	3.6E+02	2.7E+02	3.2E+02	2.7E+02	2.5E+02	2.7E+02	2.6E+02	2.6E+02	2.0E+02	1.2E+02	1.9E+02	2.2E+02	1.4E+02	1.5E+02	2.1E+02	6.3E+02	1.8E+02	2.7E+02	2.0E+03	4.1E+02	1.5E+02	1.2E+03	4.8E+02	3.3E+03	1.4E+03	1.3E+03		
	PFDaDA	9.8E+00	1.5E+02	2.1E+02	1.2E+03	1.7E+02	1.5E+02	3.0E+02	1.5E+02	1.4E+02	1.2E+02	1.4E+02	8.9E+01	8.0E+01	8.1E+01	6.6E+01	4.7E+01	7.8E+01	6.6E+01	8.2E+01	3.1E+01	6.2E+01	1.5E+02	3.8E+02	4.8E+01	2.4E+03	8.9E+02	9.1E+03	3.2E+03	2.1E+03		
	PFTriDA	7.9E+00	5.6E+01	6.5E+01	3.3E+03	5.6E+01	5.1E+01	6.6E+01	5.9E+01	5.4E+01	4.4E+01	5.1E+01	5.2E+01	4.3E+01	2.8E+01	3.1E+01	3.7E+01	3.0E+01	3.5E+01	4.1E+01	3.7E+01	4.0E+01	6.7E+01	6.9E+01	1.3E+02	2.6E+01	5.9E+02	3.0E+03	9.3E+02	5.8E+02		
	PFTeDA	4.3E+00	3.6E+01	6.3E+01	4.6E+01	4.1E+01	4.1E+01	1.1E+02	4.1E+01	4.7E+01	2.8E+01	3.1E+01	2.2E+01	1.7E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.6E+01	1.3E+01	2.3E+01	1.6E+01	3.0E+01	1.2E+01	2.7E+01	5.0E+01	1.6E+02	1.9E+01	1.6E+03	6.3E+02	7.3E+03	2.7E+03	1.5E+03	
	PFHxDA	1.3E+00	1.4E+01	2.5E+01	2.2E+02	1.6E+01	1.6E+01	3.3E+01	1.5E+01	1.8E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.0E+01	7.7E+00	7.3E+00	7.1E+00	8.0E+00	6.5E+00	7.9E+00	7.8E+00	1.2E+01	8.0E+00	9.5E+00	6.6E+01	7.7E+01	9.3E+00	1.1E+03	3.4E+02	4.1E+03	1.7E+03	9.1E+02	
	PFOxDA	6.7E+00			5.1E+01		9.6E+00																									
	8:2FTUCA	2.9E+00			3.1E+00														3.5E+00		5.8E+00											
	8:2diPAP	7.2E+00		1.6E+01	4.5E+01		9.0E+00	1.8E+01	1.0E+01	4.2E+01	1.0E+01	1.0E+01										1.7E+01	2.1E+02		3.9E+01			2.0E+02	1.2E+02	7.5E+02	9.2E+03	2.0E+02
	HFPO-DA	1.2E+01			1.4E+02												1.3E+01											2.4E+01				
	DONA	9.4E+00	1.2E+01	1.8E+01	2.2E+02	2.1E+01			1.6E+01	1.1E+01	1.6E+01	1.0E+01	1.4E+01	7.7E+01	1.4E+01	3.5E+01	7.5E+01	9.8E+01	7.9E+01	1.0E+02	1.7E+01							2.1E+01	3.0E+01	1.7E+01	4.5E+01	3.1E+01
内標準物質 (安定同位体標識化合物)	M3-PFBS		93%	92%	90%	92%	93%	100%	93%	99%	90%	105%	99%	96%	99%	88%	104%	99%	98%	102%	96%	121%	95%	95%	83%	101%	106%	102%	115%	99%		
	M3-PFHxS		94%	97%	95%	101%	94%	96%	101%	114%	94%	105%	98%	103%	103%	97%	94%	113%	102%	104%	109%	91%	116%	88%	90%	95%	113%	102%	107%	110%	102%	
	M3-PFOS		98%	91%	91%	98%	82%	90%	83%	96%	80%	108%	97%	106%	96%	97%	92%	110%	108%	100%	109%	100%	108%	91%	92%	86%	113%	94%	108%	111%	106%	
	M3-FOSA		93%	85%	91%	116%	112%	105%	116%	116%	116%	112%	113%	99%	63%	82%	109%	104%	98%	105%	96%	93%	89%	86%	87%	75%	87%	101%	110%	105%	98%	
	d3-N-MeFOSA		44%	41%	30%	53%	48%	46%	56%	51%	51%	47%	51%	52%	30%	41%	47%	48%	46%	40%	49%	54%	45%	44%	23%	41%	48%	42%	41%	47%		
	d3-N-EtFOSA		44%	34%	25%	52%	42%	45%	45%	49%	45%	40%	47%	38%	30%	33%	43%	40%	43%	47%	36%	46%	52%	42%	44%	18%	45%	44%	42%	48%	45%	
	d3-N-MeFOSAA		121%	121%	117%	112%	122%	124%	124%	129%	120%	130%	130%	126%	131%	118%	126%	137%	1													