

＜その４＞紙製ストローに含まれるペル及びポリフルオロアルキル化合物群

研究協力者	浅川大地	大阪市立環境科学研究センター
研究協力者	柿並正剛	大阪市立環境科学研究センター
研究協力者	尾崎麻子	(地独) 大阪健康安全基盤研究所
研究協力者	水口智晴	(地独) 大阪健康安全基盤研究所
研究協力者	岸 映里	(地独) 大阪健康安全基盤研究所

A. 研究目的

PFOA（化合物名は表 4 参照、以下同）や PFOS をはじめとするペル及びポリフルオロアルキル化合物群（PFASs）は多くの工業製品に使用されてきたが、生物への蓄積性や有害性への懸念から製造や使用の規制または廃絶が急務となっている。残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約（POPs 条約）においては、PFOS や PFOA、PFHxS が廃絶や使用制限の対象物質に指定され、さらに長鎖カルボン酸類（PFCAs）の追加が検討されている。欧米では飲料水中の規制値設定や包括的な PFASs 規制が急速に進んでいる。

欧州化学品庁（ECHA）は REACH 規制として包括的な PFASs 規制案（個別物質 25ppb、PFASs 合計 250ppb）を公表した。最近では、EU の包装廃棄物指令（Regulation (EU) 2025/40）において、上記濃度の PFASs を含む食品接触包装材の 2026 年 8 月以降の上市禁止が要求されている。国内でもフッ素樹脂加工された器具・容器包装からの PFASs 放出に関する研究が実施されているが¹⁾、今後はより多成分かつ包括的な評価研究が求められると予想される。また、国内における食品健康影響の指標値も検討され、2024 年の食品安全委員会による健康影響評価において、PFOS と PFOA に対して 20 ng/kg 体重/日の耐容一日摂取量（TDI）が示された。

その中で、近年紙製ストローから PFASs が検出される事例が報告されている^{2,3)}。製造工程で PFASs は使用されておらず、原材料由来

であると推定されているが詳細は不明である。そこで、本研究課題では、国内で入手可能な紙製ストローに含まれる PFASs の実態把握を試みた。まずは市販の紙製ストローに含まれる PFASs 濃度を測定して、PFASs 含有状況を調査した。次に、紙製ストロー中 PFASs の起源を推定するために、原紙とその原紙由来の紙製ストローを日本製紙連合会より供与を受けて、それらに含まれる PFASs 濃度を測定した。最後に、PFASs 含有が確認された紙製ストローの溶出試験を行い、PFASs 溶出量を定量した。

B. 研究方法

1. 試料

1) 市販紙製ストロー

2022 年度に神奈川県内のスーパーマーケット及びインターネットを通じて購入した紙製ストロー 16 試料（市販品 1-16、）⁴⁾、2023 年度に大阪府内量販店にて購入した紙製ストロー 2 試料（市販品 17 及び 18）を用いた。これらはいずれも輸入品であった。各ストローの重量と長さを表 1 に示す。ストローは 1/2 に切断して PFASs 含有量試験に供した。

2) 日本製紙連合会より供与を受けた原紙及び紙製ストロー

日本製紙連合会から紙製ストロー 7 試料（供与品 A-G）とそれらの原紙 15 試料（原紙 1-15）の供与を受けた。各ストローの重量

と長さ、使用された原紙を表 2 に、原紙の坪量を表 3 示す。ストローは 1/2 に切断し、原紙は 5cm×10cm に裁断して PFASs 含有量を測定した。また、一部の紙製ストロー試料を溶出試験に供した。

2. 試薬及び試液

1) 試薬等

① PFASs 標準試薬

PFASs 標準試薬には Wellington Laboratory 製の 30 種混合標準溶液（各 100 ng/mL）を使用した（表 4）。ラベル化 PFAS 試薬には Wellington Laboratory 製のラベル化 PFASs 混合溶液（24 種、各 100 ng/mL）を使用した（表 5）。

② 試験溶液調製用

メタノール：LC/MS 用、>99.8%、関東化学株式会社製

酢酸：LC/MS 用、富士フイルム和光純薬株式会社製

アンモニア：LC/MS 用、25%、関東化学株式会社製

酢酸アンモニウム：LC/MS 用、>99.8%、関東化学株式会社製

水：ELGA LabWater 製 PURELAB Flex-3 を用いて実験室で製造した超純水

固相カートリッジ：Oasis WAX、150mg、Waters 製

③ LC-MS/MS 用

メタノール：LC/MS 用、>99.8%、関東化学株式会社製

酢酸アンモニウム溶液（1 mol/L）：高速液体クロマトグラフ用、富士フイルム和光純薬株式会社製

水：ELGA LabWater 製 PURELAB Flex-3 を用いて実験室で製造した超純水

2) 試液

① 含有量測定及び溶出量測定用

0.25%アンモニア含有メタノール：アンモニア 2.5 mL にメタノールを加えて 250 mL としたもの

4%酢酸：酢酸 20 mL に水を加えて 500 mL としたもの

酢酸緩衝液：25 mM 酢酸 170 mL と 25 mM 酢酸アンモニウム水溶液 30 mL を混合したもの

② LC-MS/MS 用

PFASs 標準試薬をメタノールで希釈して、各濃度 0.01–5 ng/mL となるように調製した。また、ラベル化 PFAS 試薬の濃度が 1 ng/mL になるように混合した。

3. 装置

液体クロマトグラフ：1290 Infinity II、アジレント・テクノロジー株式会社製

タンデム型四重極質量分析装置：Triple Quad 4500、株式会社エービー・サイエックス製

遠心分離機：S700TR、久保田商事株式会社製

恒温槽：CU85、柴田科学株式会社製

4. 試験溶液の調製

1) 市販紙製ストローの含有量測定用

抽出方法は既報^{2,3)}を参考にして、メタノール抽出を行った。すなわち、プラスチック製遠沈管に入れた試料（市販品）にメタノール 10 mL を加えて 48 時間浸漬し、抽出液を別のプラスチック遠沈管に移した。試料の入った遠沈管をメタノール 3mL で 2 回洗浄して、洗浄液を抽出液に合わせた。得られた抽出液に窒素ガスを吹き付けて濃縮し、メタノールで 1 mL に定容した。この濃縮液を遠心分離（3,000 rpm, 15 min）し、上清液をプラスチック製バイアルに移して LC-MS/MS 試験溶液と

した。

2) 日本製紙連合会より供与を受けた原紙・紙製ストローの含有量測定用

プラスチック製遠沈管に入れた試料（供与品及び原紙）にラベル化 PFAS 試薬を 10 μ L（各 PFAS 1 ng）添加した。この遠沈管に 0.25%アンモニア含有メタノール 5 mL を加えて 16 時間浸漬し、抽出液を別のプラスチック製遠沈管に移した。試料の入った遠沈管をメタノール 3 mL で 2 回洗浄して、洗浄液を抽出液に合わせた。得られた抽出液に窒素ガスを吹き付けて濃縮し、メタノールで 1 mL に定容した。この濃縮液を遠心分離（3,000 rpm, 15 min）し、上清液をプラスチック製バイアルに移して LC-MS/MS 試験溶液とした。ブランク試験は試料を用いずに同様の操作を行った。含有量測定は各試料に対して 3 反復で実施するとともに、ブランク試験から得られたブランク値を測定値から減算した。

3) 日本製紙連合会より供与を受けた紙製ストローの溶出量測定用

試料（供与品）をプラスチック製遠沈管に入れ、食品擬似溶媒を 5 mL 添加した。食品擬似溶媒には水と 4%酢酸を用い、室温（約 25℃）と 60℃（恒温槽使用）で 30 分間の溶出試験を実施した。溶出試験後速やかに溶出液を新しいプラスチック製遠沈管に移した。

溶出液にラベル化 PFAS 試薬を 10 μ L（各 PFAS 1 ng）添加した後に、固相カートリッジで濃縮精製を行った。0.25%アンモニア含有メタノール 4 mL とメタノール 4 mL、水 4 mL でコンディショニングを行った固相カートリッジに溶出液を負荷した。使用した溶出液量は重量法（密度 1 g/mL）によって求めた。固相カートリッジに水 5 mL と酢酸緩衝液 4 mL を通液した後に、遠心分離（3,000 rpm, 2 min）

で水分を除去した。次いで、メタノール 5 mL、0.25%アンモニア含有メタノール 5 mL の順に固相カートリッジに通液して精製液を得た。この精製液に窒素ガスを吹き付けて濃縮し、メタノールで 1 mL に定容した。得られた濃縮液を遠心分離（3,000 rpm, 15 min）し、上清液をプラスチック製バイアルに移して LC-MS/MS 試験溶液とした。ブランク試験は試料を用いずに同様の操作を行った。溶出量測定も各試料に対して 3 反復で実施するとともに、ブランク試験で得られたブランク値を測定値から減算した。

5. LC-MS/MS 条件

分析条件は ISO 21675 に準拠した。主要な条件を以下に示す。

分析カラム：Betasil C18（2.1 mm $\times$ 50 mm, 5 μ m、Thermo Fisher Scientific 社製）

ガードカラム：XDB C8 (2.1 mm $\times$ 12.5 mm, 5 μ m、アジレント・テクノロジー株式会社製)

ディレイカラム：Delay Column for PFAS (3.0 mm $\times$ 30 mm、GL サイエンス株式会社製)

カラム温度：30℃

移動相：A. 2mM 酢酸アンモニウム：メタノール（9：1、v/v）、B. メタノール

グラジエント：移動相 B 濃度 10 - 50 %（at 0 - 2 min、linear）- 100 %（at 10 - 14 min）- 10 %（at 14 - 23 min）

流速：0.22 mL/min

注入量：5 μ L（2mM 酢酸アンモニウム水溶液 10 μ L と混合注入）

イオン化：ESI (-)

キャピラリー温度：450℃

キャピラリー電圧：4,000 V

C. 研究結果及び考察

1. PFASs 含有量

1) 市販紙製ストロー

国内で市販されている紙製ストローに PFAS が含まれていることを確認するために、昨年度研究⁴⁾で使用した紙製ストローを中心に含有量を測定した。測定対象化合物は ISO 21675 に記載されている 30 化合物を対象にした。アメリカ食品医薬品局が分析法を示している長鎖スルホン酸等を対象化合物に加えることも検討したが、入手に制約のある化合物があったため、本研究では測定対象にしなかった。

ここで使用した市販紙製ストローはすべて国外製である。PFASs 含有量をストロー試料重量当たりで示した結果を表 6 に、ストロー 1 本あたりで示した結果を表 7 に示す。また、ストロー試料重量当たりの PFASs 含有量は図 1 にも示す。ここで示す結果はスクリーニングを目的とした測定のために 1 回の測定結果であるが、表 6、7 と図 1 から国内で流通している国外製の紙製ストローにも PFASs が含まれていることが明らかになった。また、紙製ストロー中の PFASs 含有量は試料による差が大きいことが分かった (図 1)。

表 6 及び表 7 には本研究で検出された化合物のみを示しており、これらに示されていない PFOS などのスルホン酸系 PFASs やその他 PFASs は定量下限値未満であった。紙製ストローから主に検出されたのは PFCAs で、PFOA の試料重量当たりの含有量は 0.02–3.6 ng/g (ppb) であり、ストロー 1 本には 0.03–4.5 ng/本含まれると計算された。また、検出された PFASs の合計量は 0.27–5.6 ng/g (0.30–6.9 ng/本) であった。この結果は、国外の紙製・竹製ストローに含まれる PFASs 含有量 (0.43–29.1 ng/本²⁾、未検出–7.15 ng/g³⁾) の範囲内であった。

2) 日本製紙連合会より供与を受けた紙製ストロー

1) において国内に流通している国外製の紙製ストローに PFASs が含まれていることが明らかになったため、PFASs の由来についての知見を得ることを目的にして日本製紙連合会から供与を受けた紙製ストロー (供与品) 及びその原紙の PFASs 含有量測定を実施した。なお、一部 PFASs の測定値のばらつきが低減されることが予備試験で示されたため、ここでは、0.25%アンモニア含有メタノールで抽出を行った。1) と 2) の抽出条件は異なるが、両抽出法による PFCAs の測定値は同等であった。

供与品の PFASs 含有量を表 8、表 9 及び図 2 に示す。1) と同様に表に示していない PFASs は定量下限値未満であった。これらの表に示している PFASs に対応するラベル化 PFASs の平均回収率は 75–127% ($n=72$) と概ね良好であった。一部試料の回収率に 50%未満や 150%超過が見られたが、マトリクス効果や操作過程での損失に起因すると考えられた。回収率が概ね良好であったため、供与品と原紙の含有量試験については内標準法による定量を行った。

表 8、9 によると、ストロー A からは PFASs は検出されなかった。一方で、ストロー B 及び C からは炭素数 4–11 の PFCAs (PFBA、PFPeA、PFHxA、PFHpA、PFOA、PFNA、PFDA、PFUnDA) が検出され、その含有量は 0.013–0.29 ng/g (0.023–0.73 ng/本) であった。それら PFCAs の内で PFOA の濃度が比較的高く、ストロー B で 0.29 ng/g、ストロー C で 0.26 ng/g であった。PFASs 合計量に占める PFOA の割合はストロー B、C ともに 56%であった。また、PFOA の代替物質である HFPO-DA がストロー A 以外の試料から検出された。これらのストロー試料に含まれる PFASs 合計

量は定量下限値未満 (<MQL) -0.51 ng/g (<MQL -1.3 ng/本) であり、1) で示した市販品の PFASs 合計量よりも低かった (図 1、図 2)。

3) 日本製紙連合会より供与を受けた原紙

原紙の含有量測定結果を表 10 に示す。原紙 1、3、8-15 から測定対象 PFASs は検出されなかった。原紙 2、5-7 から PFHxA や PFOA が検出され、PFASs 合計量は 0.045 -0.17 ng/g であった。一方で、原紙 4 からは炭素数 5~11 の PFCAs (PFPeA、PFHxA、PFHpA、PFOA、PFNA、PFDA、PFUnDA) と HFPO-DA が検出された。原紙 4 に含まれる PFASs 合計量は 0.54 ng/g であり、それに占める PFOA の割合は 57% であった。

原紙 4 の PFASs 含有量やその組成は、2) で示したストロー B と C のそれらと非常によく類似していた。ストロー B と C は原紙 3 と 4 から製造されているため (表 2)、ストロー B と C に含まれる PFASs は原紙に由来することが強く示唆された。

2. PFASs 溶出量

1. の含有量試験結果により、供与品の一部にも PFASs が含まれていることが示された。そこで、ストローの使用条件を考慮した溶出試験を実施して、PFASs 溶出量を推定することにした。ただし、市販品を含むすべての試料の溶出試験を本研究期間内に実施することは困難であった。そのため、溶出試験の結果によっては製品中 PFASs の起源調査を進めることも想定して、原材料や製造工程の追跡が可能な国内製紙会社から供与された製品の評価を優先することにした。すなわち、PFOA が含まれていた供与品のストロー B と C に加えて、HFPO-DA 含有量が比較的高かったストロー D を溶出量試験に使用した。食品擬似

溶媒には中性飲料を想定した水と酸性飲料を想定した 4%酢酸の 2 種を用いた。ストロー試料を食品擬似溶媒で室温 30 分間と 60℃30 分間で溶出試験を実施した結果を表 11 と表 12 に示す。一般的に、紙ストローは低温から常温で使用されると考えられるが、より保守的な評価も行うために 60℃での試験を実施した。表に示した PFASs に対応するラベル化 PFASs の平均回収率は 70-100% ($n=48$) と概ね良好であったため、溶出量試験結果も内標準法による定量を行った。ただし、1. 2) と同様に一部試料の回収率に 50%未満や 150%超過が見られた。

表 11 と表 12 を見ると、ストロー B と C から室温で水に溶出した PFOA はそれぞれ 0.026 ng/g (0.043 ng/本) と 0.010 ng/g (0.028 ng/本) であり、それぞれの含有量の 1/10 未満であった。60℃に加温すると PFOA の溶出量はストロー B で 0.037 ng/g (0.060 ng/本)、ストロー C で 0.012 ng/g (0.034 ng/本) へとやや増加した。一方、4%酢酸の酸性条件では PFOA は溶出されなかった。ストロー B と C の 60℃の溶出試験では、PFBA と PFHxA が検出された。また、すべての試験条件を通じて、HFPO-DA は 0.010-0.074 ng/g の溶出量が見られ、その溶出量はストロー B、C、D の HFPO-DA 含有量の 40-60%程度であった。なお、6:2 FTSA は含有量試験では検出されなかったが、溶出試験では検出された。これは、含有量試験でも 6:2 FTSA のシグナルは検出されていたが、ブランク値減算処理と定量下限値の足切り処理によって含有量試験では定量下限値未満としたためである。溶出した PFASs の合計量は最も高い水 60℃条件においても、0.044-0.13 ng/g であった。

ここで得られた溶出量と TDI との比較を試みた。食品安全委員会によって TDI が示されている PFOS と PFOA のうち、溶出試験で検

出された PFOA について以下に述べる。ストローB とストローC には PFOA が含まれていたが、上述した通り、水への溶出量は常温でそれぞれ 0.043 ng/本と 0.028 ng/本であり、60℃でそれぞれ 0.060 ng/本と 0.034 ng/本であった（表 12）。PFOA の TDI は 20 ng/kg 体重/日と示されているため、体重を 50kg と仮定した場合の耐容摂取量は 1,000 ng/日である。最も高かった PFOA 溶出量（0.060 ng/本）でも、上記の耐容摂取量に比較すると極めて低い値であった。

D. 結論

市場で購入した 18 試料の輸入紙製ストローに含まれる PFASs を測定したところ、PFOA 含有量は 0.02–3.6 ng/g（0.03–4.5 ng/本）で PFASs 合計量は 0.27–5.6 ng/g（0.30–6.9 ng/本）であった。また、日本製紙連合会より供与を受けた紙製ストロー 8 試料の内、2 試料で PFOA を含む PFCAs が検出された。それら 2 試料の PFOA 含有量は 0.26–0.29 ng/g（0.47–0.73 ng/本）で PFASs 合計量は 0.47–0.51 ng/g（0.83–1.3 ng/本）であった。市場で購入したストローよりも、日本製紙連合会より供与を受けた紙製ストローの方が PFASs 含有量は低かった。PFOA が含まれていた紙製ストローの原紙中 PFASs を測定したところ、ストローの PFASs 含有量や組成と類似した結果が得られたため、紙製ストローに含まれた PFASs は原紙に由来すると推察された。PFASs を含有する紙製ストローの溶出試験を実施したところ、室温 30 分間の水への PFOA 溶出量は 0.010–0.026 ng/g（0.028–0.043 ng/本）で、60℃30 分間の水への PFOA 溶出量は 0.012–0.037 ng/g（0.034–0.060 ng/本）であった。これらの PFOA 溶出量は、体重を 50kg と仮定した場合の耐容摂取量に比較して極めて低かった。

E. 参考文献

- 1) 平成 19 年度厚生労働科学研究費補助金食品の安心・安全確保推進研究事業 フッ素樹脂加工された食品用器具・容器包装の安全性に関する研究 総括研究報告書（2008）
- 2) A Timshina, JJ Aristizabal-Henao, BFD Silva, JA Bowden, The last straw: Characterization of per- and polyfluoroalkyl substances in commercially-available plant-based drinking straws, *Chemosphere*, 277, 130238 (2021)
- 3) P Boisacq, MD Keuster, E Prinsen, Y Jeong, L Bervoets, M Eens, A Covaci, T Willems, T Groffen, Assessment of poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) in commercially available drinking straws using targeted and suspect screening approaches, *Food Additiv. Contam. A*, 40, 1230–1241 (2023)
- 4) 令和 5 年度厚生労働科学研究費補助金食品の安全確保推進研究事業 食品用器具・容器包装等の衛生的な製造管理等の推進に資する研究 総括・分担研究報告書、p.103–118（2024）

表1□市販紙製ストロー試料の情報

試料No.	重量 (g)	長さ (□)
市販品-1	1.22	21.1
市販品-2	1.15	19.6
市販品-3	1.10	20.9
市販品-4	1.23	20.9
市販品-5	1.20	21.0
市販品-6	1.13	19.7
市販品-7	1.02	21.0
市販品-8	1.24	21.0
市販品-9	1.19	19.5
市販品-10	1.14	19.5
市販品-11	1.09	19.5
市販品-12	1.11	19.6
市販品-13	1.87	19.9
市販品-14	1.18	20.0
市販品-15	1.09	19.9
市販品-16	1.10	20.0
市販品-17	1.25	20.9
市販品-18	0.98	19.9

表2□日本製紙連合会より 供与を受けた紙製ストロー試料

試料No.	重量 (g)	長さ (□)	原紙No.*
供与品-A	1.01	19.7	原紙-1, 2
供与品-B	1.66	20.9	原紙-4, 5
供与品-C	2.77	21.0	原紙-4, 5
供与品-D	1.24	19.6	原紙-6
供与品-E	1.28	20.0	原紙-7, 9, 10
供与品-F	1.57	20.9	原紙-8, 9, 10
供与品-G	0.83	16.0	原紙-10, 11

* 原紙試料No.は表3を参照

表3□日本製紙連合会より 供与を受けた原紙試料の坪量

試料No.	坪量 (g/m ²)*
原紙-1	117.2
原紙-2	48.8
原紙-3	116.8
原紙-4	118.6
原紙-5	65.0
原紙-6	100.7
原紙-7	30.2
原紙-8	51.4
原紙-9	166.6
原紙-10	109.3
原紙-11	59.6
原紙-12	69.1
原紙-13	98.8
原紙-14	79.6
原紙-15	96.5

*5cm×10cmの試料重量から算出 (n=3)

表4 □ 測定対象PFASs

グループ	略称	化合物名	分子式
<i>Perfluoroalkyl carboxylic acids (PFCAs)</i>			
	PFBA	Perfluoro- <i>n</i> -butanoic acid	C ₄ HF ₇ O ₂
	PFPeA	Perfluoro- <i>n</i> -pentanoic acid	C ₅ HF ₉ O ₂
	PFHxA	Perfluoro- <i>n</i> -hexanoic acid	C ₆ HF ₁₁ O ₂
	PFHpA	Perfluoro- <i>n</i> -heptanoic acid	C ₇ HF ₁₃ O ₂
	PFOA	Perfluoro- <i>n</i> -octanoic acid	C ₈ HF ₁₅ O ₂
	PFNA	Perfluoro- <i>n</i> -nonanoic acid	C ₉ HF ₁₇ O ₂
	PFDA	Perfluoro- <i>n</i> -decanoic acid	C ₁₀ HF ₁₉ O ₂
	PFUnDA	Perfluoro- <i>n</i> -undecanoic acid	C ₁₁ HF ₂₁ O ₂
	PFDoDA	Perfluoro- <i>n</i> -dodecanoic acid	C ₁₂ HF ₂₃ O ₂
	PFTTrDA	Perfluoro- <i>n</i> -tridecanoic acid	C ₁₃ HF ₂₅ O ₂
	PFTeDA	Perfluoro- <i>n</i> -tetradecanoic acid	C ₁₄ HF ₂₇ O ₂
	PFHxDA	Perfluoro- <i>n</i> -hexadecanoic acid	C ₁₆ HF ₃₁ O ₂
	PFOcDA	Perfluoro- <i>n</i> -octadecanoic acid	C ₁₈ HF ₃₅ O ₂
<i>Perfluoroalkyl sulfonic acids (PFSAAs)</i>			
	PFBS	Perfluoro- <i>n</i> -butanesulfonic acid	C ₄ HF ₉ O ₃ S
	PFHxS	Perfluoro- <i>n</i> -hexanesulfonic acid	C ₆ HF ₁₃ O ₃ S
	PFHpS	Perfluoro- <i>n</i> -heptanesulfonic acid	C ₇ HF ₁₅ O ₃ S
	PFOS	Perfluoro- <i>n</i> -octanesulfonic acid	C ₈ HF ₁₇ O ₃ S
	PFDS	Perfluoro- <i>n</i> -decanesulfonic acid	C ₁₀ HF ₂₁ O ₃ S
<i>Perfluorooctane sulfonamides (FOSAs)</i>			
	FOSA	Perfluorooctanesulfonamide	C ₈ H ₂ F ₁₇ NO ₂ S
	<i>N</i> -MeFOSA	<i>N</i> -methyl-perfluorooctanesulfonamide	C ₉ H ₄ F ₁₇ NO ₂ S
	<i>N</i> -EtFOSA	<i>N</i> -ethyl-perfluorooctanesulfonamide	C ₁₀ H ₆ F ₁₇ NO ₂ S
<i>Perfluorooctane sulfonamidoacetic acids (FOSAAs)</i>			
	<i>N</i> -MeFOSAA	<i>N</i> -methyl-perfluorooctanesulfonamidoacetic acid	C ₁₁ H ₆ F ₁₇ NO ₄ S
	<i>N</i> -EtFOSAA	<i>N</i> -ethyl-perfluorooctanesulfonamidoacetic acid	C ₁₂ H ₈ F ₁₇ NO ₄ S
<i>Fluorotelomer sulfonic acids (FTSAs)</i>			
	6:2 FTSA	6:2 Fluorotelomer sulfonic acid	C ₈ H ₅ F ₁₃ O ₃ S
	8:2 FTSA	8:2 Fluorotelomer sulfonic acid	C ₁₀ H ₅ F ₁₇ O ₃ S
<i>Fluorotelomer unsaturated carboxylic acids (FTUCAs)</i>			
	8:2 FTUCA	8:2 Fluorotelomer unsaturated carboxylic acid	C ₁₀ H ₂ F ₁₆ O ₂
<i>Others</i>			
	9Cl-PF3ONS	9-Chlorohexadecafluoro-3-oxanonane-1-sulfonic acid	C ₈ HCIF ₁₆ O ₄ S
	8:2 diPAP	8:2 Polyfluoroalkyl phosphate diester	C ₂₀ H ₉ F ₃₄ O ₄ P
	HFPO-DA	Hexafluoropropylene oxide dimer acid	C ₆ HF ₁₁ O ₃
	DONA	4,8-Dioxa-3H-perfluorononanoic acid	C ₇ H ₂ F ₁₂ O ₄

表5□ ラベル化標準物質

No.	略称	No.	略称	No.	略称
1	$^{13}\text{C}_4\text{-PFBA}$	9	$^{13}\text{C}_2\text{-PFDODA}$	17	$d_5\text{-N-EtFOSA}$
2	$^{13}\text{C}_5\text{-PFPeA}$	10	$^{13}\text{C}_2\text{-PFTeDA}$	18	$d_3\text{-N-MeFOSAA}$
3	$^{13}\text{C}_5\text{-PFHxA}$	11	$^{13}\text{C}_2\text{-PFHxDA}$	19	$d_5\text{-N-EtFOSAA}$
4	$^{13}\text{C}_4\text{-PFHpA}$	12	$^{13}\text{C}_3\text{-PFBS}$	20	$^{13}\text{C}_2\text{-6:2 FTSA}$
5	$^{13}\text{C}_8\text{-PFOA}$	13	$^{13}\text{C}_3\text{-PFHxS}$	21	$^{13}\text{C}_2\text{-8:2 FTSA}$
6	$^{13}\text{C}_9\text{-PFNA}$	14	$^{13}\text{C}_8\text{-PFOS}$	22	$^{13}\text{C}_2\text{-8:2 FTUCA}$
7	$^{13}\text{C}_6\text{-PFDA}$	15	$^{13}\text{C}_8\text{-FOSA}$	23	$^{13}\text{C}_4\text{-8:2 diPAP}$
8	$^{13}\text{C}_7\text{-PFUnDA}$	16	$d_3\text{-N-MeFOSA}$	24	$^{13}\text{C}_3\text{-HFPO-DA}$

表6 □ 市販の紙製ストロー試料のPFASs含有量 (ng/g)

試料	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	6:2FTSA	HFPO-DA	Σ PFAS*	MQL**
市販品-1	0.049	0.048	0.27	<MQL	0.024	<MQL	<MQL	<MQL	0.056	<MQL	0.45	0.017
市販品-2	0.052	0.051	0.28	<MQL	0.052	<MQL	<MQL	<MQL	0.022	<MQL	0.46	0.018
市販品-3	0.068	0.021	0.20	<MQL	0.042	0.017	<MQL	<MQL	0.017	0.035	0.40	0.016
市販品-4	0.055	0.045	0.27	0.021	1.9	0.023	<MQL	<MQL	0.042	<MQL	2.3	0.017
市販品-5	0.028	0.021	0.15	<MQL	0.045	<MQL	<MQL	<MQL	0.019	<MQL	0.27	0.017
市販品-6	0.046	<MQL	0.24	0.023	0.040	0.020	<MQL	<MQL	0.030	<MQL	0.40	0.020
市販品-7	0.13	0.041	0.21	<MQL	0.29	<MQL	<MQL	<MQL	0.041	0.028	0.75	0.019
市販品-8	0.096	0.039	0.20	0.027	0.24	<MQL	<MQL	<MQL	0.058	0.026	0.68	0.017
市販品-9	0.098	0.048	0.23	<MQL	0.043	<MQL	<MQL	<MQL	0.029	<MQL	0.45	0.017
市販品-10	0.14	0.034	0.23	0.033	2.8	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	3.2	0.018
市販品-11	0.10	0.037	0.18	0.096	3.1	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	3.5	0.018
市販品-12	0.055	0.031	0.15	<MQL	0.033	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.030	0.30	0.011
市販品-13	0.077	0.049	0.28	<MQL	0.037	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.44	0.017
市販品-14	0.088	0.054	0.39	<MQL	0.098	0.022	<MQL	<MQL	0.072	<MQL	0.72	0.019
市販品-15	0.079	0.057	0.20	0.023	0.026	<MQL	<MQL	<MQL	0.023	0.046	0.46	0.018
市販品-16	0.052	0.042	0.16	<MQL	0.024	<MQL	<MQL	<MQL	0.032	<MQL	0.31	0.015
市販品-17	0.086	<MQL	0.23	0.031	0.064	<MQL	<MQL	<MQL	0.064	0.024	0.50	0.021
市販品-18	0.32	0.069	0.40	0.039	3.6	0.025	0.026	<MQL	0.035	1.0	5.6	0.016

*Σ PFASs : 定量下限値以上の測定値の合計濃度

**MQL : 定量下限値 □ 検量線の最低濃度 (0.01 ng/mL) から換算した試料中濃度

表7□ 市販の紙製ストロー試料1本あたりのPFASs含有量 (ng/ 本)

試料	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	6:2FTSA	HFPO-DA	Σ PFAS*	ML**
市販品-1	0.056	0.06	0.32	<MQL	0.028	<MQL	<MQL	<MQL	0.064	<MQL	0.52	0.019
市販品-2	0.058	0.06	0.31	<MQL	0.057	<MQL	<MQL	<MQL	0.024	<MQL	0.50	0.020
市販品-3	0.083	0.03	0.24	<MQL	0.052	0.020	<MQL	<MQL	0.021	0.044	0.49	0.019
市販品-4	0.066	0.05	0.32	0.026	2.2	0.028	<MQL	<MQL	0.050	<MQL	2.8	0.021
市販品-5	0.032	0.02	0.17	<MQL	0.050	<MQL	<MQL	<MQL	0.022	<MQL	0.30	0.019
市販品-6	0.047	<MQL	0.24	0.023	0.041	0.021	<MQL	<MQL	0.031	<MQL	0.41	0.020
市販品-7	0.16	0.051	0.27	<MQL	0.36	<MQL	<MQL	<MQL	0.051	0.035	0.93	0.023
市販品-8	0.11	0.046	0.24	0.032	0.29	<MQL	<MQL	<MQL	0.070	0.031	0.82	0.020
市販品-9	0.11	0.055	0.26	<MQL	0.049	<MQL	<MQL	<MQL	0.033	<MQL	0.51	0.019
市販品-10	0.15	0.037	0.25	0.036	3.0	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	3.5	0.020
市販品-11	0.11	0.041	0.20	0.11	3.4	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	3.9	0.020
市販品-12	0.10	0.059	0.28	<MQL	0.061	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.056	0.55	0.020
市販品-13	0.091	0.057	0.33	<MQL	0.044	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.52	0.020
市販品-14	0.097	0.059	0.42	<MQL	0.11	0.024	<MQL	<MQL	0.078	<MQL	0.79	0.021
市販品-15	0.087	0.063	0.22	0.026	0.028	<MQL	<MQL	<MQL	0.025	0.051	0.50	0.019
市販品-16	0.063	0.052	0.20	<MQL	0.030	<MQL	<MQL	<MQL	0.040	<MQL	0.38	0.019
市販品-17	0.084	<MQL	0.22	0.031	0.063	<MQL	<MQL	<MQL	0.063	0.024	0.49	0.020
市販品-18	0.40	0.086	0.50	0.049	4.5	0.031	0.032	<MQL	0.044	1.3	6.9	0.020

*Σ PFASs : 定量下限値以上の測定値の合計濃度

**MQL : 定量下限値□ 検量線の最低濃度 (0.01 ng/mL) から換算した試料中濃度

表8□ 日本製紙連合会より 供与を受けた紙製ストロー試料のPFASs含有量 (ng/g)

試料	原紙No.	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	6:2FTSA	HFPO-DA	Σ PFAS*	MQL**
供与品- A	1,2	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	-	0.020
供与品- B	4,5	0.018	0.015	0.038	0.014	0.29	0.032	0.037	0.022	<MQL	0.046	0.51	0.012
供与品- C	4,5	0.024	0.015	0.032	0.013	0.26	0.029	0.031	0.014	<MQL	0.053	0.47	0.007
供与品- D	6	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.11	0.11	0.016
供与品- E	7,9,10	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.018	0.018	0.014
供与品- F	8,9,10	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.040	0.040	0.012
供与品- G	10,11	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.071	0.071	0.024

*Σ PFASs : 定量下限値以上の測定値の合計濃度

**MQL : 定量下限値□ 検量線の最低濃度 (0.01 ng/mL) から換算した試料中濃度

表9□ 日本製紙連合会より 供与を受けた紙製ストロー試料1本あたりのPFASs含有量 (ng/本)

試料	原紙No.	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	6:2FTSA	HFPO-DA	Σ PFAS*	MQL**
供与品- A	1,2	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	-	0.020
供与品- B	4,5	0.029	0.024	0.062	0.023	0.47	0.052	0.061	0.036	<MQL	0.076	0.83	0.020
供与品- C	4,5	0.067	0.043	0.090	0.036	0.73	0.080	0.086	0.038	<MQL	0.15	1.3	0.020
供与品- D	6	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.14	0.14	0.020
供与品- E	7,9,10	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.026	0.026	0.020
供与品- F	8,9,10	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.065	0.065	0.020
供与品- G	10,11	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.058	0.058	0.020

*Σ PFASs : 定量下限値以上の測定値の合計濃度

**MQL : 定量下限値□ 検量線の最低濃度 (0.01 ng/mL) から換算した試料中濃度

表10□ 日本製紙連合会より 供与を受けた原紙試料のPFASs含有量 (ng/g)

試料	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	6:2FTSA	HFPO-DA	Σ PFAS*	ML**
原紙- 1	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	-	0.017
原紙- 2	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.045	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.045	0.041
原紙- 3	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	-	0.017
原紙- 4	<MQL	0.018	0.075	0.021	0.31	0.028	0.037	0.020	<MQL	0.029	0.54	0.017
原紙- 5	<MQL	<MQL	0.041	<MQL	0.091	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.13	0.031
原紙- 6	<MQL	<MQL	0.128	<MQL	0.037	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.17	0.020
原紙- 7	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.092	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.092	0.066
原紙- 8	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	-	0.039
原紙- 9	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	-	0.012
原紙- 10	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	-	0.018
原紙- 11	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	-	0.034
原紙- 12	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	-	0.029
原紙- 13	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	-	0.020
原紙- 14	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	-	0.025
原紙- 15	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	-	0.021

*Σ PFASs : 定量下限値以上の測定値の合計濃度

**MQL : 定量下限値□ 検量線の最低濃度 (0.01 ng/mL) から換算した試料中濃度

表11□ 日本製紙連合会より 供与を受けた紙製ストロー試料の溶出試験結果 (ng/g)

溶出条件	試料	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	6:2FTSA	HFPO-DA	Σ PFAS*	MQL**
水 室温 30min	供与品 B	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.026	<MQL	<MQL	<MQL	0.026	0.024	0.076	0.015
	供与品 C	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.010	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.013	0.024	0.0088
	供与品 D	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	-	0.019
4%酢酸 室温 30min	供与品 B	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.028	0.015	0.043	0.015
	供与品 C	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.020	0.010	0.030	0.0092
	供与品 D	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.024	<MQL	0.024	0.018
水 60□ 30min	供与品 B	0.042	<MQL	0.022	<MQL	0.037	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.028	0.13	0.015
	供与品 C	<MQL	<MQL	0.011	<MQL	0.012	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.022	0.044	0.0096
	供与品 D	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.074	0.074	0.019
4%酢酸 60□ 30min	供与品 B	<MQL	<MQL	0.027	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.022	0.049	0.015
	供与品 C	<MQL	<MQL	0.017	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.016	0.033	0.011
	供与品 D	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.058	<MQL	0.058	0.020

*Σ PFASs : 定量下限値以上の測定値の合計溶出濃度

**MQL : 定量下限値、検量線の最低濃度 (0.01 ng/mL) から換算した溶出濃度

表12□ 日本製紙連合会より 供与を受けた紙製ストロー 試料1本あたりの溶出試験結果 (ng/本)

溶出条件	試料	PFBA	PFPaA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	6:2FTSA	HFPO-DA	Σ PFAS*	MQL**
水 室温 30min	供与品 B	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.043	<MQL	<MQL	<MQL	0.042	0.039	0.12	0.024
	供与品 C	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.028	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.037	0.065	0.024
	供与品 D	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	-	0.023
4%酢酸 室温 30min	供与品 B	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.046	0.025	0.071	0.024
	供与品 C	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.054	0.028	0.082	0.025
	供与品 D	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.029	<MQL	0.029	0.022
水 60□ 30min	供与品 B	0.069	<MQL	0.036	<MQL	0.060	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.046	0.21	0.025
	供与品 C	<MQL	<MQL	0.029	<MQL	0.034	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.059	0.12	0.026
	供与品 D	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.090	0.090	0.023
4%酢酸 60□ 30min	供与品 B	<MQL	<MQL	0.044	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.037	0.080	0.025
	供与品 C	<MQL	<MQL	0.047	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.044	0.091	0.030
	供与品 D	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	<MQL	0.070	<MQL	0.070	0.024

*Σ PFASs : 定量下限値以上の測定値の合計溶出濃度

**MQL : 定量下限値□ 検量線の最低濃度 (0.01 ng/mL) から換算した溶出濃度

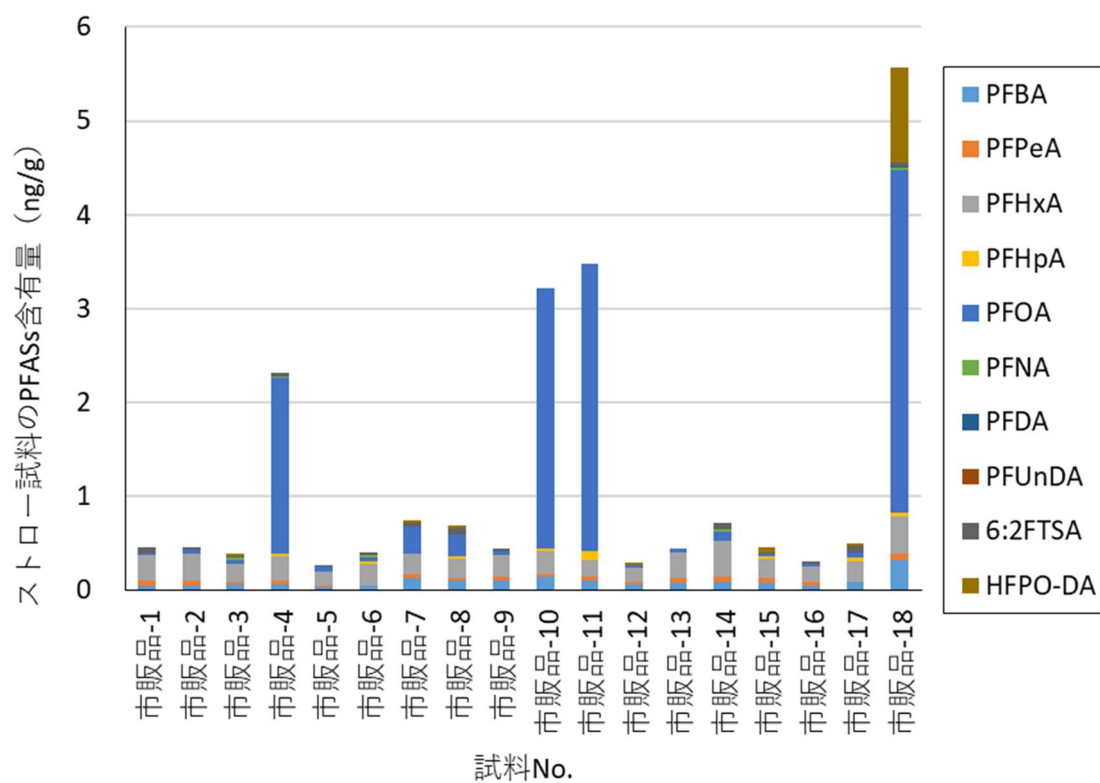


図1 市販の紙製ストロー試料の PFASs 含有量 (ng/g)

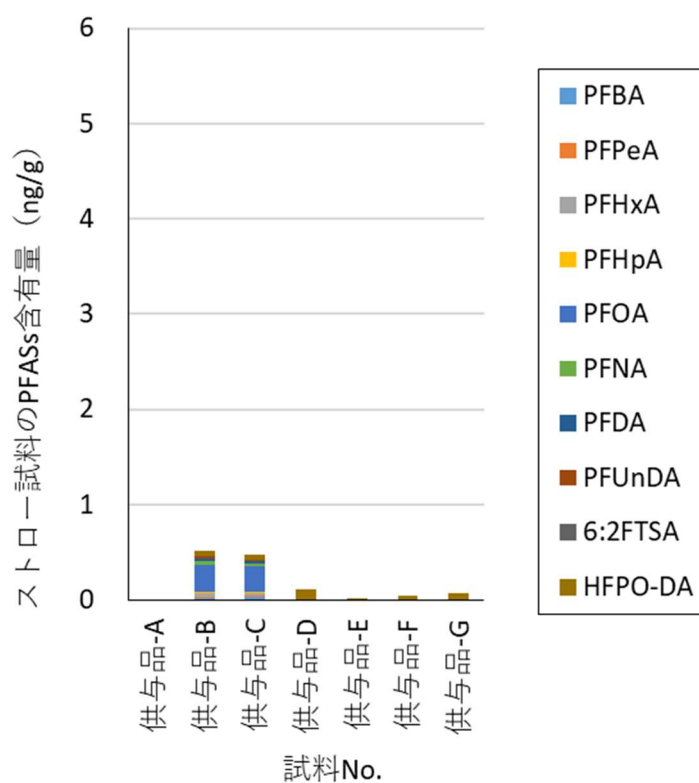


図2 日本製紙連合会より供与を受けた紙製ストロー試料の PFASs 含有量 (ng/g)