

全国環境研協議会発表会

地方環境研究所で構成される全国環境研協議会（全環研）と廃棄物資源循環学会の廃棄物試験・検査法研究部会との共催による研究発表会です。全環研からは地方環境研究所が行っている廃棄物に関連した研究発表を、廃棄物試験・検査法研究部会からは廃棄物にかかる分析方法等に関する情報提供をいただき、活発な意見交換を通じて廃棄物等に関する諸問題について考えます。

日時：9月13日（水） 9:30～12:15

場所：大阪工業大学（大宮キャンパス）

プログラム（敬称略）

第1部 全国環境研協議会研究発表会（9:30～10:30）

進行 東京都環境科学研究所

- (1) 都市ごみ焼却施設から定期的な頻度で採取した集じん灰の溶出液中の鉛濃度に関する考察

大阪市立環境科学研究センター 酒井 護

- (2) 廃棄物に含まれるペルフルオロオクタンスルホン酸の分岐異性体の分析及び飛行時間型質量分析装置による感度差について

沖縄県衛生環境研究所 井上 豪

- (3) 食品ロス削減の取組による定量的削減効果の事例調査

東京都環境科学研究所 小泉 裕靖

第2部 廃棄物試験・検査法研究部会との情報交換会（10:45～12:15）

「海洋へのプラスチックごみ流出量の測定の試み～河川のマクロプラの調査の事例～」

1 話題提供

- (1) 排水機場におけるごみ組成調査と結果概要

株式会社環境管理センター 金子 紋子

- (2) ドローンを活用した散乱ごみの試行的調査 ―河道内のごみ組成および荒天の影響―

神奈川県環境科学センター 代田 寧

- (3) 川ごみモニタリングの紹介

八千代エンジニアリング 吉田 拓司

2 パネルディスカッション

※ 内容・発表順は変更されることがあります。

都市ごみ焼却施設から定期的な頻度で採取した集じん灰の 溶出液中の鉛濃度に関する考察

大阪市立環境科学研究センター 酒井 護

1. はじめに

都市ごみ焼却施設の集じん装置で生じたばいじん(集じん灰)は、特別管理一般廃棄物であり、重金属が溶出しないように焼成・セメント固化・薬剤処理などの方法により化学的に安定した状態にすることが定められている。これまでに、都市ごみ焼却施設 8 施設(すべてストーカー炉)から採取した集じん灰中の金属の含有量の分布は、金属ごとに 10 倍程度の狭い範囲に収まっていることを報告した¹⁾。金属の含有量におおきな変化がなくても、焼却ごみ質の変化等の理由により、燃焼状態が変化することで集じん灰からの金属の溶出挙動に影響する可能性がある。このような背景により、複数の都市ごみ焼却施設において定期的な頻度で集じん灰を採取し、作成した溶出液中の鉛濃度を測定した。この結果について、採取した施設での①採取時刻・採取日による変化及び②生活系ごみ/事業系ごみ比率など濃度変動の要因について考察した。

2. 集じん灰の採取及び溶出液の作成

大阪広域環境施設組合は、大阪府内の 4 市で構成される清掃一部事務組合であり、域内で収集される都市ごみについて 6 工場体制で焼却処理を行っている。集じん灰は、これらの焼却工

表 1 集じん灰を採取した施設の一覧

施設	採取の Run	消石灰噴霧	焼却能力
A 工場	Run_01, Run_02	なし	450トン/日・2 炉
B 工場	Run_03, Run_04	なし	450トン/日・2 炉
C 工場	Run_05, Run_06	あり	300トン/日・2 炉

場のうち表 1 に示した 3 施設から、月曜日から金曜日までの 9:30, 11:30, 13:30 及び 15:30 の 1 日 4 回合計 20 検体ずつ、各施設の職員により、集じん装置下の移送用コンベアより採取いただいた。Run_02, Run_04 及び Run06 は、Run_01, Run_03 及び Run_05 より 200~600 日後に各施設で同一の条件で採取したものである。採取した集じん灰のうち 50.0 グラムを用いて昭和 48 年環境庁告示第 13 号に基づく方法により溶出試験を行い、日本産業規格 K0102(工場排水試験法) 54.1 に定める方法(フレイム原子吸光法)により鉛の濃度を測定した(測定に使用した機器: SHIMADZU 社製 AA6300)。

3. 結果と考察

工場間での分布範囲の比較

各 Run 別に溶出液中の鉛濃度の分布を箱ひげ図により図 1 に示す。図 1 において検出下限未満であった場合はその 1/2 の濃度としてプロットした。施設間では C 工場 > B 工場 > A 工場の順に大きな濃度であった。採取の時期による比較では、C 工場では Run_05 と Run_06 で分布の範囲に差が見られたが、A 工場及び B 工場では採取時期が変わっても分布の範囲には差が見られなかった。また、一般的に溶出液の pH が 12 を超えると、鉛濃度が大きくなる傾向にあることが知

られている^{2,3)}。各施設別に溶出液の pH と鉛濃度の関係を図 2 に示す。A 工場及び B 工場では、この傾向が確認されたものの、C 工場では溶出液の pH が 12.3 から 12.6 の間に集中しており、pH と鉛濃度の間に明瞭な関係を確認することはできなかった。

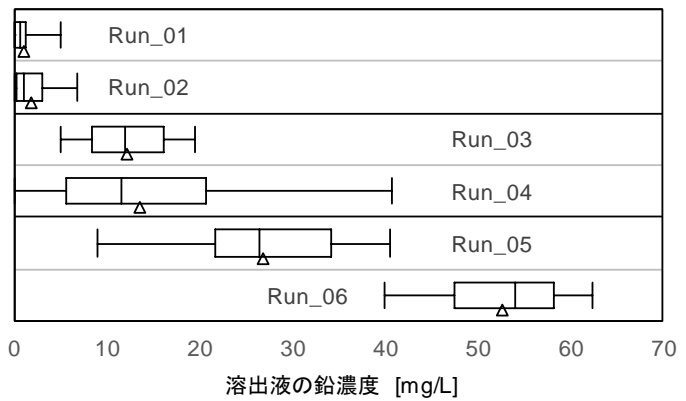


図 1 溶出液中の鉛濃度の分布
(検出下限以下は、検出下限の 1/2 の濃度として表示。△は算術平均。)

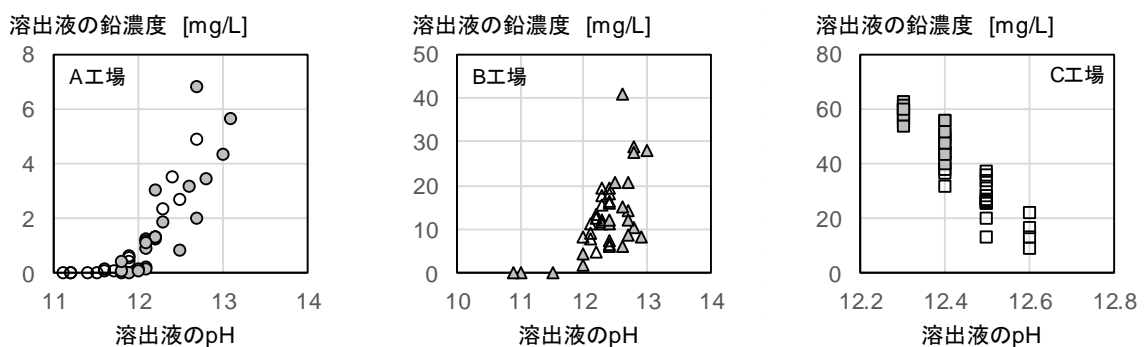


図 2 溶出液の pH と鉛濃度の関係(施設別)
(Run_01,03,05 は白地、Run_02,04,06 は塗りつぶしている)

採取の曜日と時刻による比較

各 Run 別に、9:30 等の採取時刻が同じ 5 件のデータ及び月曜日等の採取日が同じ 4 件のデータにつき、それぞれの平均値を◆及び◇でプロットしたものを図 3 に示す。なお、例えば、Run_01 と Run_06 では測定値が大きく異なり、比較が困難となることから、Run ごとに測定値を Z スコアに換算したのちに平均値を算出してプロットした。各 Run は別の期間で採取しているものの、いずれの Run においても

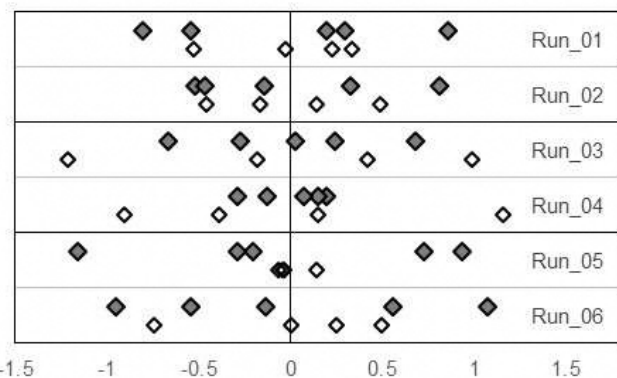


図 3 採取曜日(◆)及び採取時刻(◇)別の平均値の比較
(Run 別に Z スコアを計算してプロットした)

A 工場及び C 工場は◇の分布範囲よりも◆の分布範囲が広く、逆に B 工場では◆の分布範囲よりも◇の分布範囲が広いという結果になった。A 工場及び C 工場では、特定の 1 日で集じん灰溶出液の鉛濃度が大きくなった場合には、すべての採取時刻で同様の傾向を示すことになる。そのため、採取時刻よりも特定の採取日の鉛濃度が大きくなる傾向にあった。B 工場では、Run_03 では 11:30 に採取したものの、Run_04 では 13:30 に採取したものの鉛濃度は他の時刻に採取したものよりも濃度が小さくなる傾向にあった。

生活系ごみ／事業系ごみ比率による比較

生活系ごみ(直営収集, 委託業者, 一般搬入, 環境ごみなど)と事業系ごみ(許可業者による収集)では、ごみ質が異なると考えられる。集じん灰の採取期間の各曜日(0時から24時まで)における搬入量のうち生活系ごみの占める重量比率と当日に採取された集じん灰の溶出液中の鉛濃度の関係を図4にRun(施設)の別に示す。図4より生活系ごみの比率と集じん灰溶出液中の鉛濃度の間には明快な関係を見つけることはできなかった。

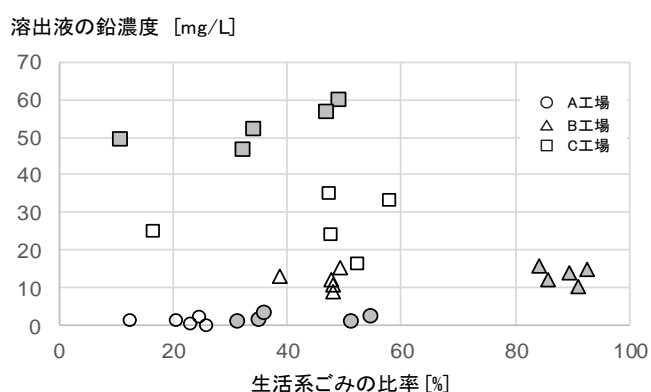


図4 生活系ごみ比率と溶出液の鉛濃度の関係
(Run_01,03,05は白地、Run_02,04,06は塗りつぶしている)

4. まとめ

都市ごみ焼却施設の3施設から定期的な頻度で集じん灰を採取し、その溶出液中の鉛濃度について考察した結果以下の結論を得た。

- ・ 集じん灰の溶出液の鉛濃度の分布を比較した結果、3施設の間に有意な差が見られた。
- ・ 3施設のうち2施設では採取日の間、1施設では採取時刻による差が見られた。
- ・ 搬入ごみ中の生活系ごみの比率と集じん灰溶出液の鉛濃度の間には明快な関係を見つけることはできなかった。

謝辞

本調査の実施にあたり、大阪広域環境施設組合のみなさまにご協力いただきましたことを記し深謝いたします。

参考文献

- 1) 酒井護. 都市ごみ焼却残渣の金属含有量, 全国環境研会誌 38(1), 31-36 (2013).
- 2) 福永勲ら. ごみ焼却飛灰の無害化処理のための重金属類の溶出要因の検討. 廃棄物学会論文誌, 7(1), 28-35. (1996).
- 3) 大迫政浩ら. 日韓の都市ごみ焼却主灰からの重金属類溶出特性に関する比較考察. 廃棄物学会論文誌, 12(6), 256-265, (2001).

廃棄物に含まれるペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) の分岐異性体の分析及び
飛行時間型質量分析装置 (TOF-MS) による感度差について

沖縄県衛生環境研究所 井上 豪

【はじめに】

沖縄県では飛行場周辺の地下水、湧水だけではなく、廃棄物処分場周辺地下水や浸出水などからも高濃度のPFOSやペルフルオロオクタン酸 (PFOA) 等の有機フッ素化合物が検出されている。PFOSやPFOAは製造方法によっては構造異性体 (分岐異性体) を含むことが知られており、実際に県内で検出されているPFOSやPFOAでは複数のピークが検出されていることから、廃棄物等に含まれる分岐異性体について測定を行うこととした。また、当所では定量にTOF-MSを用いているが、近年タンデム四重極による定量において指摘されている直鎖体と分岐異性体との感度差がTOF-MSにおいて生じるのかについても併せて確認を行った。

【方法】

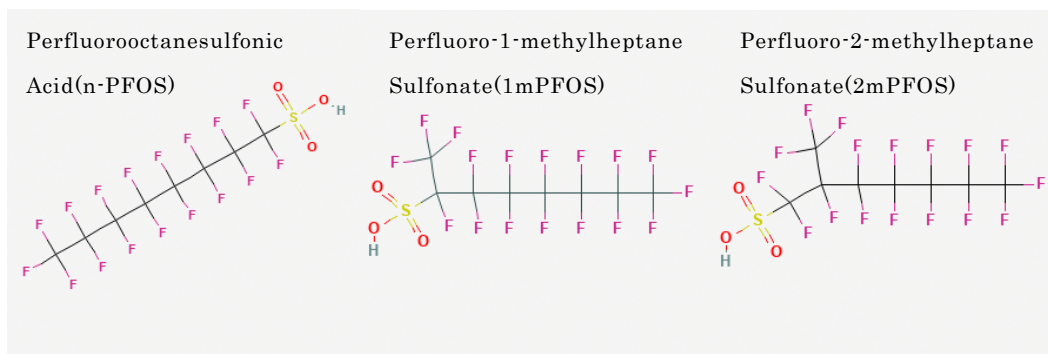
HPLC条件

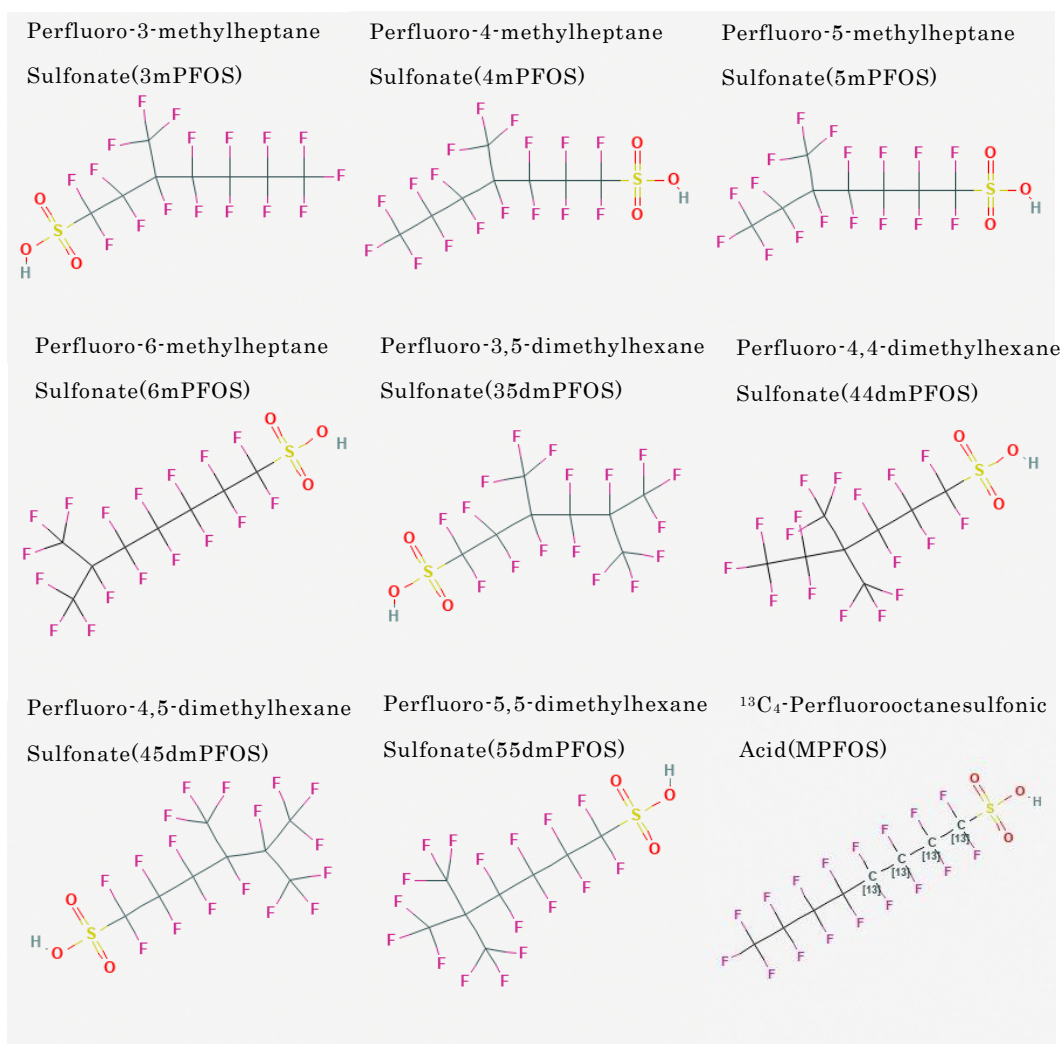
カラム	クロマチックテクノロジー [®] Sunshell C30 ϕ 2.6 μ m I.D. 2.1 mm \times 100 mm
移動相	A:0.1%ギ酸 B:アセトニトリル C:2mM 酢酸アンモニウム D:アセトニトリル
溶離液	ポンプA/B オンライン濃縮時 : A-100%、バルブ切替後 : B-100% ポンプC/D D:10% (0~8分) \rightarrow 100% (28分) \rightarrow 100% (33分) \rightarrow 10% (33.1分)
流速	0.25 mL/min
カラム温度	40 $^{\circ}$ C
注入量	2000 μ L (トラップカラムを用いたオンライン濃縮)

MS条件

イオン化方式	ESIネガティブ
質量分析計	四重極 - 飛行時間型質量分析装置 (Q-TOF) 島津製作所 LCMS-9030
測定モード	m/z : 100~1000の全データ取り込み及びMS (Q)/MS (TOF)
定量は通知法にあるMS/MSによる定量ではなく精密質量による目的物質のMonoisotopic Mass \pm 20ppmによる面積とサロゲート化合物との面積比を用いる	

測定対象物質





(構造式画像出典^{注1} : <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>)

【結果】

図1に示すとおり、当所の分析条件においてはPFOSの構造異性体のうち、最も早く溶出するものは44dmPFOS、最も遅く溶出するものは1mPFOSとなった。また、“2mPFOSと6mPFOS”、“3mPFOSと4mPFOSと5mPFOS”、“35dmPFOSと45dmPFOSと55dmPFOS”がそれぞれほぼ同じ保持時間になる事が分かった。

廃棄物中に含まれるPFOSの分析を行ったところ、図2のとおり直鎖体のn-PFOSが最も多く、1分岐の分岐異性体である3mPFOS又は4mPFOS又は5mPFOSのピーク、2mPFOS又は6mPFOSのピーク、2分岐の分岐異性体である35dmPFOS又は45dmPFOS又は55dmPFOSのピークが確認された。なお、MS/MSフラグメントの生成パターンから2mPFOS又は6mPFOSのピークは2mPFOSではなく6mPFOSのピークである可能性が高いことは分かったが、その他のピークについてどの化合物がどの程度の比率で含まれるかについては確認できなかった。

また、最近タンデム四重極による定量において、PFOSの分岐異性体間で大きな感度差が生じることが報告されている¹⁾。当所で用いている方法は前述のとおりTOF-MSで得られた[M-H]⁻の精密質量による定量となるため、タンデム四重極のような感度差は生じないことが期待されたことから、各分岐異性体の感度について確認を行ったところ、表1のとおりTOF-MSの精密質量による定量では99%~211%に収まったが、通知法で定めるプリカーサーm/z:499

から生成するプロダクトイオン m/z :80 (79.9568) による定量値は0~632%と大きな誤差を含む結果となった。

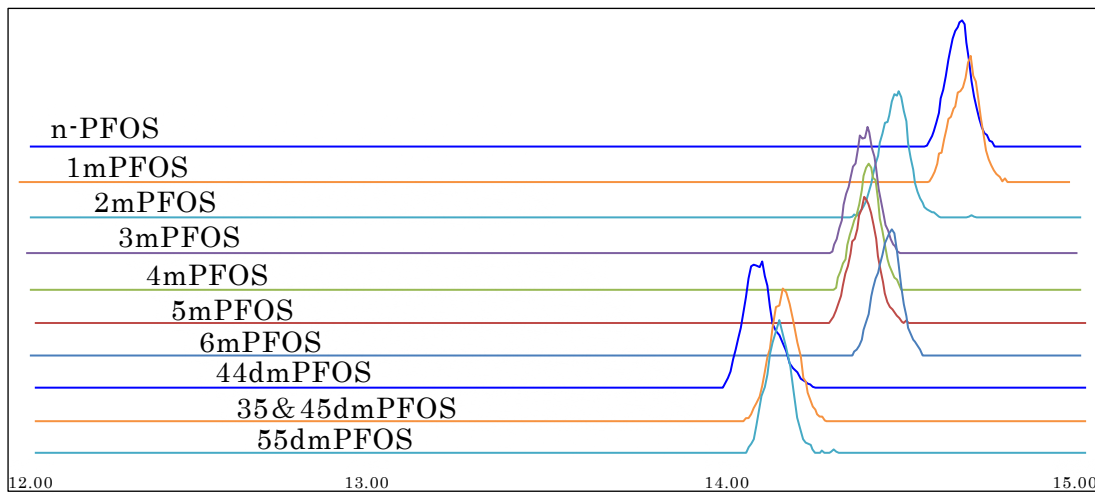


図1 PFOS各異性体のクロマトグラム^{注2)}

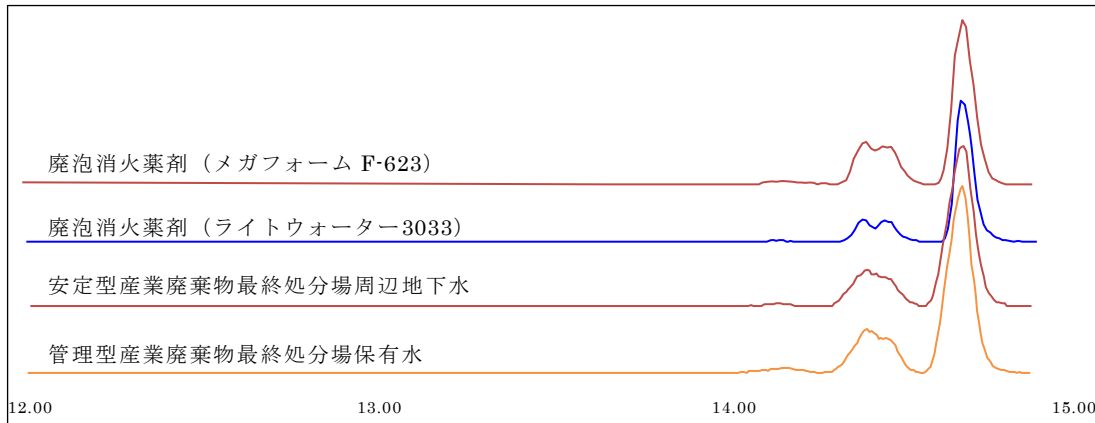


図2 廃棄物サンプル中のPFOSクロマトグラム^{注2)}

表1 飛行時間型質量分析による定量値と m/z :499→80による定量値の比較

化合物名	n-PFOS	1mPFOS	2mPFOS	3mPFOS	4mPFOS	5mPFOS	6mPFOS	44dmPFOS	35&45dmPFOS	55dmPFOS
添加量(ng/L)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	15
精密質量での定量値(n=3)	9.9	12.8	15.0	10.8	13.7	13.3	10.9	21.1	19.1	12.3
TOF-MS回収率	99%	128%	150%	108%	137%	133%	109%	211%	127%	123%
499→80での定量値(n=3)	10	0	9.4	24.2	33.6	23.8	19.0	63.2	74.8	30.2
MS/MS回収率	100%	0%	94%	242%	336%	238%	190%	632%	498%	302%

注1) $^{13}C_4$ の画像はなかったため、 $^{13}C_8$ の画像を編集して作成

注2) 図1及び2で各化合物の保持時間についてはMPFOSの時間で補正を行っている。図の下部に示す保持時間はn-PFOSの値であり、その他の化合物の保持時間は若干の相違がある(±0.035分以内)

1) 木村久美子, PFOSおよびPF0Aの分岐異性体の定量方法の検討, 環境と測定技術, Vol. 50, pp. 21-32 (2023)

1. はじめに

世界全体の資源消費量増加が見込まれる中、資源循環を持続可能なものとするため、消費の無駄を見直し、資源効率を向上させることが求められている。国連総会(2015.9)では「持続可能な開発目標(SDGs)」が採択され、目標12の「持続可能な生産消費形態を確保する」の中で食品ロス・食品廃棄物の削減が盛り込まれた。国は第4次循環型社会形成推進基本計画(2018.6)及び食品リサイクル法に基づく新たな基本方針(2019.7)において、家庭系及び事業系の食品ロス量を2030年度までに2000年度比で半減するという目標を掲げ、食品ロスの削減の推進に関する法律の施行(2019.10)を経て、多様な主体が連携し、国民運動として食品ロス削減を推進している。

2. 背景及び目的

食品ロス削減については全国で様々な取組が実施されているが、全国おいしい食べきり運動ネットワーク協議会の調査¹⁾によれば、自治体等による食品ロス削減の施策は、2016年度の77施策から2020年度の334施策へと急拡大している。この調査では、各施策の中で行われている取組内容を11に分類している。その取組内容数の変化を集計したものを図1に示す。

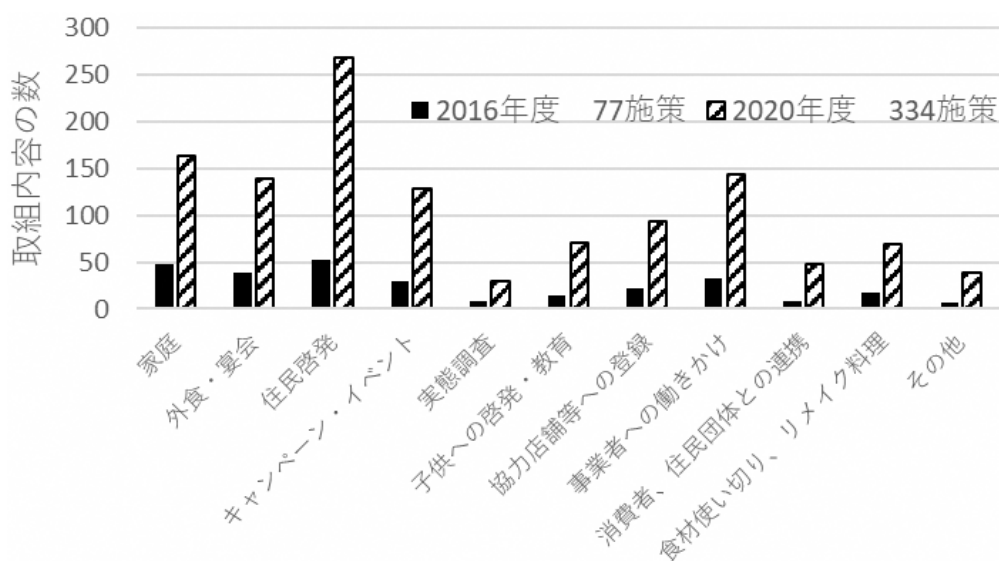


図1. 自治体等による食品ロス削減の取組

これを見ると、取組内容は2016年度の281から2020年度には1193へと4倍に増加しており、特に家庭や住民への啓発活動や事業者との連携などは大きな伸びを示している。一方、実態調査など食品ロスを定量的に把握するための調査は少ない。小泉²⁾は、全国のごみ組成調査データを用いた食品ロス発生分析の中で、適切な削減対策を行う上で基礎データが不足していることを指摘している。また、これらの取組は策定時に数値目標などを設定している場合も見られるものの、実施後に適切に効果測定が行われず、定量的な評価がなされないまま終了しているケースも多い。このため、食

品ロス削減の取組を計画しようとしても、前例の成果を十分に活用できない状況になっている。

そこで、本調査では、自治体や事業者が、食品ロス削減の取組を実施した際に、その効果を定量的に測定している事例を調査し、その内容を「普及啓発」「需要予測」「商慣習の見直し」「販売方法の工夫」「再流通」に分類して整理することとした。この分類に基づき、各々の取組の定量的削減効果を示し、今後、新たに取組を実施しようとする自治体、事業者、消費者などに対し、目標設定のための目安とすることを目的とする。

3. 調査・分類方法

本調査では、まず、自治体や事業者などが報告書やホームページなどで公表している食品ロス削減の取組のうち、実施後に効果測定し、定量的に検証している事例の調査を行った。対象とした事例は、「その取組によって、どれだけの食品ロスを削減できたか」を示すものに限定し、イベント参加時のアンケート調査に見られるような食品ロス問題自体の認知度向上や食品ロス削減意欲向上などは対象外とした。次にこれらの取組を「普及啓発」「需要予測」「商慣習の見直し」「販売方法の工夫」「再流通」に分類して整理することとした。

4. 調査結果及び考察

4-1. 取組分類による削減効果

本調査では、収集した 22 の事例を対象として削減率^{*}を計算した。その概要及び削減率などを表 1 に示す。

表 1. 取組内容の分類と削減率

分類	取組数	取組内容	削減率 [*]
普及啓発	4	家庭での食品ロスダイアリーの記載や外食業での食べ残し削減のためのポスター設置やコースター配布など	29%
需要予測	3	気象情報や小売業での売上予測による仕入れ内容の見直しなど	30%
商慣習の見直し	4	卸売業や小売業での 1/3 ルール緩和や販売期限の延長など	28%
販売方法の工夫	6	小売業におけるポイント還元、POP や売場配置の工夫、加工効率の改善、外食業における食べ残し防止キャンペーンやドギーバック導入など	38%
再流通	4	冷凍保存による再販売、期限間近の防災備蓄食品の配布、フードドライブなど	73%

^{*}削減率=対策による食品ロス削減量/対策前の食品ロス量とし、算定は各取組の単純平均とした。なお、ベース単位は重量の他、金額や個数をベースにしたものもあった。

今回の調査結果では、「普及啓発」「需要予測」「商慣習の見直し」が30%程度、「販売方法の工夫」が40%程度の削減率であるのに対し、「再流通」は70%を超える削減効果が測定されている。これは、再流通は、従来、廃棄物として流通過程から排除されていた商品そのものに直接的に働きかけ、サプライチェーンに引き戻すという方法であり、更に、値引き販売や寄贈などの経済的インセンティブを与えていることや賞味期限が近づいている商品を積極的に購入しようとする消費者意識が影響していると考えられる。本調査では、「再流通」では4つの取組事例を調べているが、削減効果が最小なものでも、55%となっており、他の取組と比較しても、安定して効果を発揮していることが分かった。なお、上記に分類できなかった事例として、学校のランチタイム前に少しの休憩時間を設け、食事に集中させることにより、食べ残しを32%の削減させる効果を上げたという事例があった。

4-2. 取組主体による削減効果

今回調査した取組の主体は、家庭2、製造業1、卸売業2、外食業5、小売業10、自治体2に分類された。この中で事例調査数が多かった外食業と小売業を比較したところ、前者は食べ残し防止キャンペーンなどの「普及啓発」などを中心として平均で32%、後者は「販売方法の工夫」や「商慣習の見直し」などにより平均で38%の削減率となり、この両主体による取組の削減効果に大きな差異は見られなかった。

4-3. 削減率のベースとなる単位

今回の調査事例では、削減率を算定する際のベースとなる単位が重量の他、金額、個数が用いられていた。その内訳は、重量14、金額4、個数4となっていた。金額をベースとしているケースとしては、「1/3ルールに見直し」などの中間流通・卸売が関連している取組に見られた。これは、流通過程では伝票による商品のやり取りが基本システムとなっていることから、これらのデータを活用した把握方法が迅速かつ容易で正確であるためと考えられる。個数をベースとしているケースとしては、小売業における惣菜や弁当など等量で小さくパッケージされたものであり、加工や販売時に個数で管理している取組に見られた。今回は異なるベース単位については、補正や置換をせずに集計・比較しているが、今後は、削減効果を正確に比較するためには、ベースとなる単位の扱い方については、検討が必要となる。

5. 再流通に関する課題

前章では、「再流通」は安定して食品ロス削減効果を発揮していることを示したが、小泉³⁾は、食品ロスの再流通に関する課題について、食品サプライチェーンを構成する食品製造業、卸売業、小売業、外食産業などの事業者に対し、聞き取り調査を行った。この中で、再流通のシステム構築には、食品の輸送や運搬、需給のミスマッチ、食の安全の担保などが問題となっていることを示し、顕在している課題について、表2に示す。

表 2. 食品ロスの再流通に関する課題

項目	食品の再流通が進まない原因	現在、顕在化してきている課題
輸送・運搬	<ul style="list-style-type: none"> 食品はライフサイクルが短いため、住宅、自動車、古本などの様な中古市場が成立しにくい。 商品単価が安く、相対的に運搬コストが高い。 	<ul style="list-style-type: none"> アマゾン商法等に見られる配送を含めた購入需要が台頭する中、ライフサイクルの短い食品への対応が必要である。(小売業) わけあり商品を安価で売ろうとしても、分類、箱詰めなどの人件費や運送費が高騰しており、かえって赤字になってしまう。(卸売業)
需給のミスマッチ	<ul style="list-style-type: none"> 需要者と供給者間の情報共有は進んでいるが、量的、時間的にマッチさせることが難しい。 	<ul style="list-style-type: none"> 業務用ドレッシングなどは、量が多すぎて、フードバンクや子供食堂では処理しきれない。(卸売業) 卸売業者間の取引であっても、食パン 20 斤など、明らかに需要がないものは受け付けない。(卸売業) 惣菜類は悪くなるのが早く、需給のタイミングを合わせるの難しい。(小売業)
安全の担保	<ul style="list-style-type: none"> 安全性はほぼ問題ないが、「もしも」は無視できない。甚大な風評被害につながる。 外食の持ち帰りは、世界では常識だが、日本ではリスクと考えられている。 	<ul style="list-style-type: none"> SNS の普及により情報拡散は急速に進んでおり、リスク拡散にも使われるので警戒している。(小売、卸売業) 持ち帰りは慎重にならざるを得ない。消費者の保存状況まで管理できず、クレマーも含めて、リスクしかない。(外食業)

6. まとめ

本調査では、食品ロスの取組の実施後に、その効果測定を行っている取組について、分類・整理し、その削減率についてまとめた。食品ロスは、社会問題と認識され、様々な取組が進められている中、今後、更に削減を進めて行く上でも、効果測定の事例調査を収集・整理し、各々の取組について定量的に把握していくことが、これからの削減対策を計画・立案する上で重要であると考えられる。

7. 謝辞 本研究は JSPS 科研費 22H03801 の助成を受けた。

【参考文献】 1) 全国おいしい食べきり運動ネットワーク協議会：食品ロス削減のための施策バンク (H29.3 及び R3.4) 2) 小泉裕靖：全国のごみ組成調査データを用いた食品ロス発生分析および調査実施上の課題, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol. 31, pp. 47-54, 2020 3) 小泉裕靖：事業系食品ロスに関する事業者意識調査について, 第 31 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演原稿 2020, pp. 73-74