

# 有機フッ素化合物（PFCs）と直鎖アルキルベンゼンスルホン酸及びその塩（LAS）の同時分析法の開発及び農薬分析への適用性の評価

※農薬の回収率データの一部に誤りがありましたので修正しました（平成 27 年 2 月 20 日）。

中堀 靖範

## 要旨

有機フッ素化合物（PFCs）と直鎖アルキルベンゼンスルホン酸及びその塩（LAS）の同時分析法の開発を検討した結果、和光純薬製 PFC II を用いることで PFCs と LAS を同時分析できることがわかった。さらに、農薬分析への適用性を評価した結果、多くの農薬で良い回収率が得られた。本分析法を用いることで、採水や分析に係る労力やコストを削減し、多くの物質を同時に調査できることが明らかとなった。

キーワード：LC/MS/MS, PFCs, LAS, 農薬, 固相抽出

### はじめに

有機フッ素化合物（以下「PFCs」）には、ペルフルオロオクタンスルホン酸（以下「PFOS」）と骨格炭素鎖の異なる類縁化合物（以下「PFS」）、ペルフルオロオクタンスルホン酸（以下「PFOA」）と骨格炭素鎖の異なる類縁化合物（以下「PFA」）があり、特にPFOS及びPFOAは撥水剤や界面活性剤等の様々な製品に使用されてきた<sup>1),2)</sup>。しかし、環境中に放出された際の毒性や生物蓄積性が問題視され、PFOSは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）の指定物質に追加された。日本においても化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律で第一種特定化学物質として規制されている。近年では、PFOSやPFOAの代替物質として利用が進む骨格炭素鎖の短い類縁化合物や、微生物分解によりPFOSやPFOAを生成する可能性がある骨格炭素鎖の長い類縁化合物の環境中濃度も重要視されている<sup>3),4)</sup>。

また、直鎖アルキルベンゼンスルホン酸及びその塩（以下「LAS」）は陰イオン界面活性剤の1種で、化学物質排出把握管理促進法の第一種指定化学物質に指定されており、平成 25 年 3 月には水生生物保全に係る水質環境基準にも追加された。以上のことから、農薬と同様にPFCsやLASによる環境汚染の実態調査が近年

表 1 分析対象物質及びMRM条件

区分	炭素数	略記号	定量イオン (m/z)	コリジョン電圧 (V)
PFS	4	PFBS	299→80	37
	6	PFHxS	399→80	46
	7	PFHpS	449→80	45
	8	PFOS	499→80	46
	10	PFDS	599→80	47
PFA	4	PFBA	213→169	11
	5	PFPeA	263→219	9
	6	PFHxA	313→269	9
	7	PFHpA	363→319	10
	8	PFOA	413→369	9
	9	PFNA	463→419	13
	10	PFDA	513→469	12
	11	PFUdA	563→519	12
	12	PFDoA	613→569	11
LAS	8	C8-LAS	269→183	34
	10	C10-LAS	297→183	37
	11	C11-LAS	311→183	38
	12	C12-LAS	325→183	36
	13	C13-LAS	339→183	38
	14	C14-LAS	353→183	41

積極的に行われており、これらの分析法の簡素化は調査を行う上で重要であると考える。

ここで、PFCsのJIS試験法<sup>5)</sup>、LASの告示法<sup>6)</sup>、農薬の多成分同時分析法<sup>7)</sup>について着目すると、いずれも固相抽出で前処理を行いLC/MS/MSで測定する分析法であり、分析操作が酷似している。また、特にPFCsとLASは目標定量下限値が小さく微量分析が要求されるものの、分析操作の過程で器具等からコンタミしやすく、ブランクのコンタミレベルを低減するのが難しい等の共通する課題がある<sup>8),9)</sup>。PFCs、LAS、農薬を同時に前処理することができれば、多くの物質を一度に調査することができ、さらに採水や前処理、測定等の労力や時間、コスト等の大幅な削減が期待できる。

PFOS、PFOA、LASを同時に前処理しLC/MSで個別に測定する手法は既に報告<sup>10)</sup>されている。そこで、今回は上記のJIS試験法及び告示法を参考に16種のPFCsとLASを同時に前処理してLC/MS/MSで測定する同時分析法を検討し、さらに農薬の定量分析への適用性について評価したところ、良好な結果が得られたので報告する。

## 実験方法

### 1 分析対象物質

本研究では表1に示したPFCsとLASに加え、129種の農薬(表8)を分析対象とした。また、使用した標準品は表2のとおりである。

### 2 分析法の検討

1の分析対象物質について、蒸留水を用いた添加回収試験により、固相抽出カートリッジ(以下「SPEカートリッジ」)の選定や通水時のpHの検討及び農薬分析への適用性を評価した。

### 3 添加回収試験液の調整

分析対象物質が検出されないことを確認した蒸留水500mLに、表2の標準品を用いて調整した中間混合標準液(PFCs(20µg/L)、LAS(C10~C14-LAS合計1,242µg/L)、農薬(100~800µg/L))を0.5mL添加して調整した。(添加回収試験液の濃度は表7、8に示したとおり。)

### 4 定量方法

PFCs及び農薬は絶対検量線法で、LASはC8-LASを用いた内部標準法でLC/MS/MSにより定量した。

### 5 LC/MS/MS 測定条件

LCは島津製作所製Nexera、MS/MSは島津製作所製LCMS-8030を使用し、測定条件は表3~5のとおりとした。なお、PFCsとLASのMRM条件は表1に示した。

表2 使用標準品一覧

区分	メーカー名及び製品名
PFS	Wellington Laboratories PFS-MXA
PFA	Wellington Laboratories PFC-MXA
LAS	関東化学株式会社(オクチルベンゼンスルホン酸ナトリウム標準液、LAS標準原液) 和光純薬工業株式会社(テトラデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム標準液)
農薬	Dr.Ehrenstorfer(クロラントラニリプロール、トリフロキシスルフロキサトリウム塩、プロジアミン、フルベンジアミド、ヘキサコナゾール、メトコナゾール、) 和光純薬工業株式会社(フルポキサム)
上記以外の農薬	関東化学株式会社 農薬混合標準液24,53,54,58,60,65

表3 PFCs及びLAS分析 LC条件

装置	島津製作所製Nexera
移動相	A液:10mM酢酸アンモニウム B液:アセトニトリル
グラディエント条件	A:B=75:25(0~0.25min)→65:35(0.25~1.5min) →60:40(1.5~3min)→50:50(3~4.5min) →40:60(4.5~6.5min)→30:70(6.5~8.5min)
流速	0.4mL/min
試料注入量	5µL
分析カラム	GL-Science製Inertsil Swift(2.1×100mm;3µm)
トラップカラム	島津製作所製ゴーストトラップDS-HP(2.1×30mm)

表4 農薬分析 LC条件

装置	島津製作所製Nexera
移動相	A液:0.1%ギ酸 B液:アセトニトリル
グラディエント条件	A:B=75:25(0~2.1min) → 54:46(2.1~7.5min) → 49:51(13.5min) → 59:5(19min)
流速	0.3mL/min
試料注入量	5µL
分析カラム	GL-Science製ODS-3(2.1×100mm;3µm)
トラップカラム	島津製作所製ゴーストトラップDS-HP(2.1×30mm)

表5 MS/MS条件

装置	島津製作所製LCMS-8030
イオン化法	PFCs及びLAS分析 ESI Negative 農薬分析 ESI Positive / Negative
ネブライザーガス流量	3.0L/min
ドライイングガス流量	15.0L/min
インターフェイス電圧	3.5kV
検出器電圧	1.8kV

## 結果及び考察

### 1 LC/MS/MS 測定メソッドの検討

表 1, 3, 5 で示した測定条件により得られた PFCs と LAS のクロマトグラムを図 1 に示した。検出時間帯が重なるピークがあるが、イオン化阻害等の影響は相互に無いことを確認した。

PFCs と LAS の LC/MS/MS 測定では、専用の移動相溶媒が販売されていることからわかるとおり、装置や移動相由来のコンタミが特に問題となりやすく、本研究でも装置ブランクに PFOA や C11-LAS, C12-LAS のコンタミが検出された。しかし、トラップカラムをサンプラーの前に取り付けることで、これらのコンタ

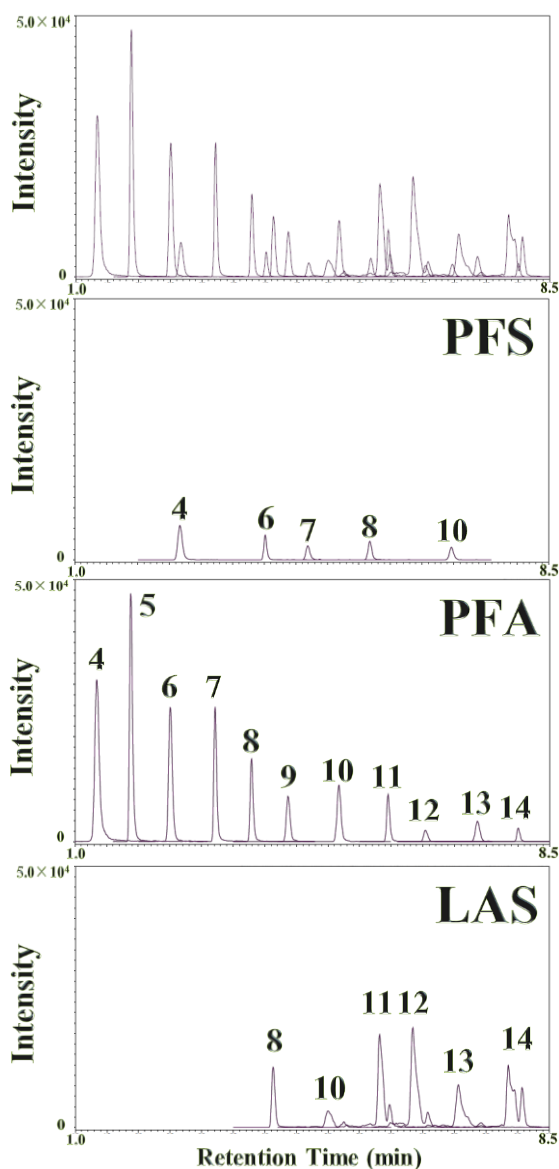


図 1 PFCs と LAS の同時測定クロマトグラム  
(図中の数字は炭素数を示す)

ミを移動相から除去できることがわかった (図 2)。なお、トラップカラムの代わりに分析カラムを装着するディレイ (リテンションギャップ) カラムも検討し、有効な手法であることを確認したが装着後の圧力やグラディエントが変化するため、このような影響のないトラップカラムを採用した。

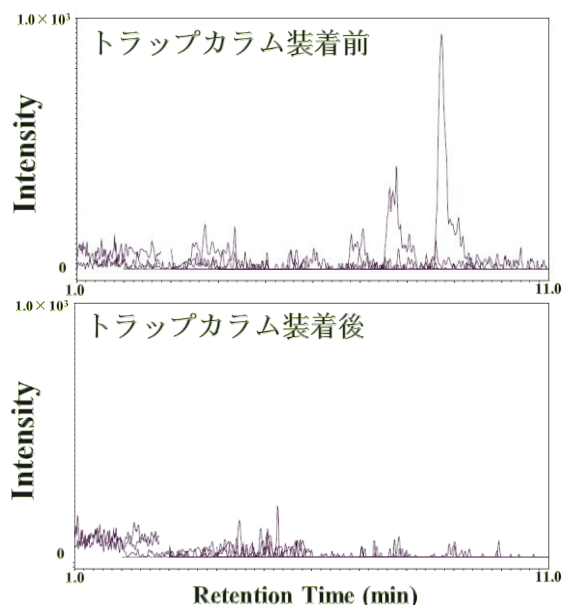


図 2 トラップカラム装着前後のクロマトグラム

### 2 分析法の検討

#### 2-1 SPE カートリッジの選定

LAS の定量分析では、オクタデシルシリルやスチレンジビニルベンゼン等を用いた逆相系の SPE カートリッジが広く用いられている。また、PFCs の JIS 試験法 (付属書 A) <sup>5)</sup> に掲載の SPE カートリッジには、逆相系のものとアニオン交換系 (以下「AE 系」) のものがある。そこで、本研究では逆相系と AE 系の数種の SPE カートリッジについて、PFCs と LAS の添加回収試験を実施し、回収率を比較した。また、通水時の pH が抽出効率に影響するため、通水時の pH についても併せて検討した。その結果を表 7 に示す。

逆相系の SPE カートリッジでは、通水時の pH が中性の場合、炭素鎖の短い PFBS や PFPeA のような高極性物質の回収率が低いことがわかった。これらの物質は通水時の pH を酸性にするほど回収率が増加したが、炭素鎖の長い PFDS や PFTeDA, LAS 等の低極性物質の回収率が低下した。また、PFBA は酸性にしても十分な回収率が得られなかった。以上の結果から、逆相系の SPE カートリッジでは全ての PFCs と LAS を良い回収率で得ることは難しいことがわかった。

表 6 逆相系及び AE 系カートリッジの PFCs と LAS の回収率の比較  
(図中の網掛けは回収率が 70%未満であることを示す)

区分	炭素数	略記号	逆相系 カートリッジA			逆相系 カートリッジB			AE系 カートリッジC			AE系 PFC II		
			pH=6	pH=3	pH=2	pH=6	pH=3	pH=2	pH=6	pH=3	pH=2	pH=6	pH=3	pH=2
			PFS	6	PFBS	0.0%	114.3%	94.1%	6.2%	96.7%	76.0%	96.7%	104.9%	97.1%
	8	PFOS	91.0%	105.7%	96.0%	85.3%	98.9%	75.7%	89.4%	91.4%	79.2%	105.2%	109.5%	99.3%
	10	PFDS	102.5%	95.2%	66.5%	80.4%	85.1%	68.5%	75.9%	79.1%	57.2%	101.4%	92.4%	82.1%
PFA	4	PFBA	4.3%	4.3%	4.4%	0.0%	0.1%	5.3%	92.1%	53.2%	39.8%	56.0%	73.6%	63.6%
	5	PFPeA	5.4%	36.3%	29.6%	2.2%	35.3%	71.2%	92.0%	59.7%	54.4%	75.3%	77.2%	70.2%
	13	PFTTrDA	66.8%	63.6%	34.4%	83.8%	64.1%	60.5%	54.4%	57.9%	39.6%	76.8%	74.1%	68.9%
	14	PFTeDA	71.8%	59.7%	35.9%	88.3%	74.5%	57.6%	80.8%	64.2%	54.8%	77.8%	72.6%	70.2%
LAS	10	C10-LAS	106.0%	95.7%	50.1%	107.1%	79.5%	84.0%	102.4%	72.1%	55.7%	97.2%	93.3%	94.4%
	13	C13-LAS	100.2%	85.2%	46.3%	100.0%	75.3%	78.0%	92.2%	62.0%	45.3%	102.6%	99.7%	92.5%

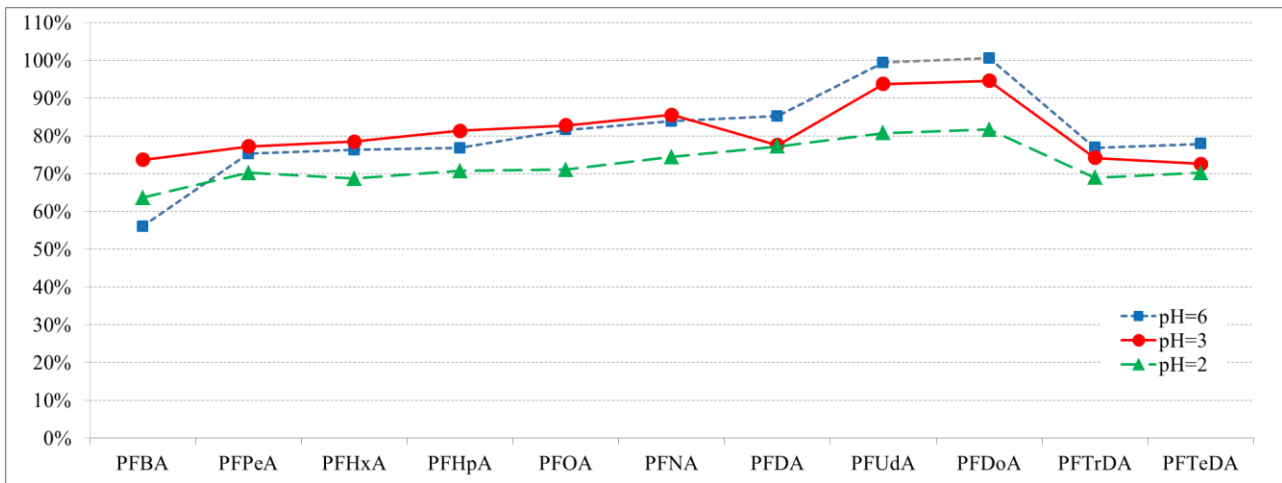


図 3 通水時 pH=6, 3, 2 における PFC II の PFA の回収率の比較

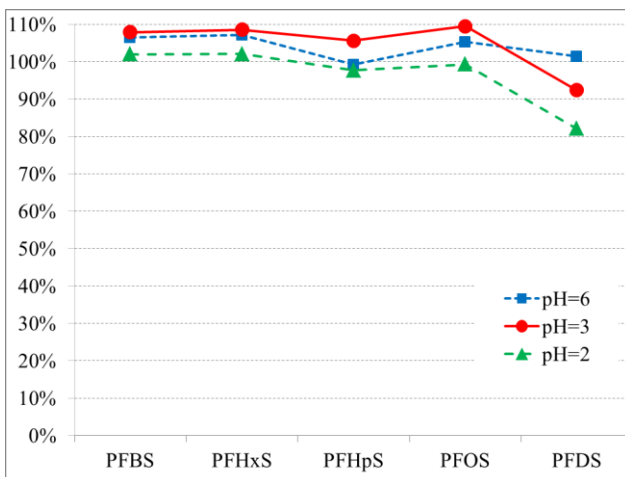


図 4 通水時 pH=6, 3, 2 における PFC II の PFS の回収率の比較

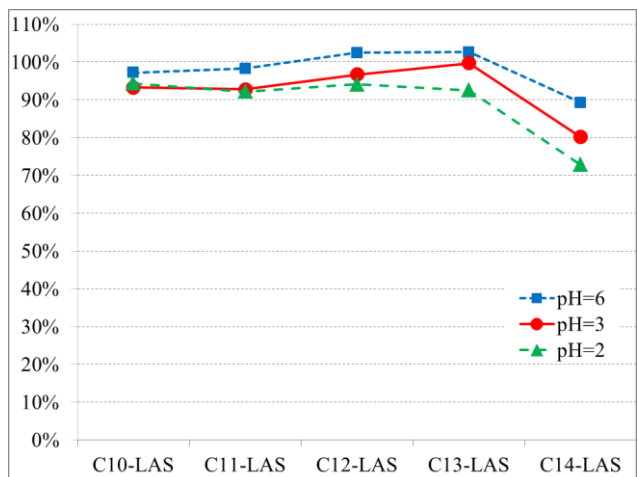


図 5 通水時 pH=6, 3, 2 における PFC II の LAS の回収率の比較

一方で、PFCsの分析で多く用いられているAE系のSPEカートリッジについて検討した結果、和光純薬製PFC IIで概ね良好な結果が得られることがわかった。PFC IIはAE系と逆相系のコンビネーションポリマーが用いられているため、PFCsやLASのような広い極性を持つ物質群でも良好な回収率が得られたと推測される。以上のことから、本研究のSPEカートリッジにはPFC IIを採用することとした。

ただし、PFC IIを用いる際に注意しなければならないのがLASのコンタミである。SPEカートリッジにはLASのコンタミが含まれており<sup>8)</sup>、特にAE系のSPEカートリッジは事前コンディショニングを十分に行ってもLASのコンタミを除去しにくい性質があるため、数ppt程度の微量なLASの定量には正の誤差が生じる点に注意が必要である。

### 2-2 PFC II を用いた場合の pH 調整

PFC IIの通水時のpHを6, 3, 2とした際のPFCsとLASの回収率を図3~5に示した。酸性で高極性物質の回収率が高く、低極性物質の回収率が低い傾向は逆相系ポリマーと同じであるが、逆相系ポリマーに比べて低極性物質の回収率低下は抑えられており、pHが3程度までであれば酸性で通水しても中性とほぼ変わらない良好な回収率が得られることがわかった。これは低極性物質がAE系ポリマーに保持されていることが原因であると考えられる。以上のことから、本研究での通水時のpHは3とした。

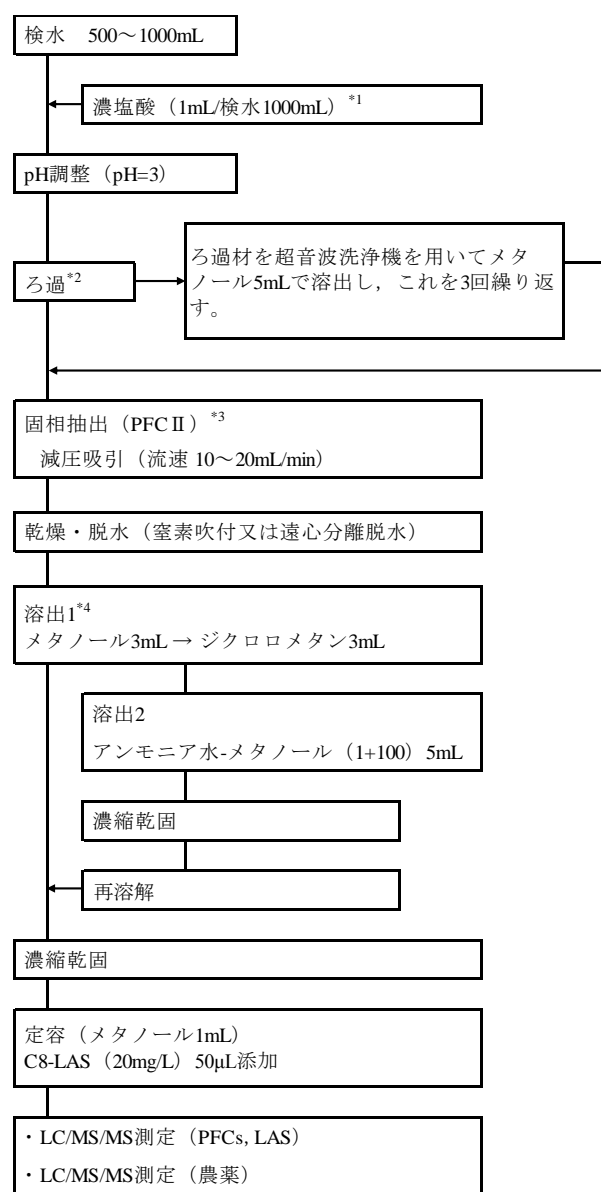
### 2-3 分析フロー

2-1及び2-2の結果を踏まえ、PFCsとLASの同時分析法の分析フローを図6のとおりとした。また、本分析フローによるPFCsとLASの回収率等を表7に示した。JIS試験法<sup>5)</sup>及び化学物質環境実態調査実施の手引き<sup>11)</sup>によると、添加回収試験における回収率の許容範囲をPFCsは70~125%、LASは70~120%としており、本分析フローにより全てのPFCsとLASを良好な回収率で分析できることがわかった。

### 3 農薬分析への適用性の評価

前述したPFCsとLASの同時分析法は、逆相系ポリマーを含むSPEカートリッジに酸性で通水するため農薬分析にも適用できる可能性が高い。そのため表8に示した129種の農薬について本分析法による添加回収試験を実施した。なお、アルカリ性溶液で溶出すると一部の農薬が分解する恐れがあるため、最初にメタノールとジクロロメタンで逆相系ポリマーに保持された物質を溶出した後、アンモニア水-メタノールでAE系

ポリマーに保持された物質を溶出させた。それぞれの溶出液は個別に濃縮乾固して、再溶解後に前処理液をあわせて定容した。化学物質環境実態調査実施の手引きでは農薬の添加回収試験における回収率の許容範囲を70~120%としており、今回の検討では129種の農薬のうち111種で良好な回収率が得られた(表8)。以上の結果から、図6に示した分析フローによりPFCsやLASと同時に多くの農薬の前処理も可能であることがわかった。



\*1 ただちに分析が行えない場合のみ生分解抑制のために行う。

\*2 懸濁物質によりSPEカートリッジが目詰まりする恐れがある場合のみ行う。

\*3 事前コンディショニング(アンモニア水-メタノール(1+100) 10ml→メタノール 10ml→水 10ml)を行ったものを用いる。

\*4 農薬等を同時に前処理した場合のみ。

図6 PFCs, LAS, 農薬の同時分析フロー

結論

PFCs と LAS を同時に前処理し、LC/MS/MS で定量分析する同時分析法を検討した結果、和光純薬製 PFC II を用いることで良好な結果が得られた。また、本分析法で 129 種の農薬の回収試験を行った結果、111 種で良好な回収率が得られた。このことから本分析法により、採水や分析に係る労力やコストを大幅に削減し、多くの物質を同時に調査できることが明らかとなった。

表 7 PFCs と LAS 同時分析フローの回収率

区分	炭素数	略記号	添加回収濃度 (µg/L)	回収率		
				平均(%)	RSD(%)	
PFS	4	PFBS	0.02	107.9%	9.3%	
	6	PFHxS	0.02	108.6%	5.3%	
	7	PFHpS	0.02	105.6%	10.5%	
	8	PFOS	0.02	109.5%	7.2%	
	10	PFDS	0.02	92.4%	12.0%	
PFA	4	PFBA	0.02	73.6%	6.6%	
	5	PFPeA	0.02	77.2%	8.7%	
	6	PFHxA	0.02	78.5%	5.2%	
	7	PFHpA	0.02	81.3%	4.6%	
	8	PFOA	0.02	82.7%	5.1%	
	9	PFNA	0.02	85.5%	5.2%	
	10	PFDA	0.02	77.5%	3.7%	
	11	PFUDA	0.02	93.7%	7.4%	
	12	PFDoA	0.02	94.5%	6.2%	
	13	PFTTrDA	0.02	74.1%	8.4%	
	14	PFTTeDA	0.02	72.6%	5.4%	
	LAS	10	C10-LAS	0.1	93.3%	7.6%
		11	C11-LAS	0.32	92.7%	5.7%
		12	C12-LAS	0.322	96.7%	6.0%
13		C13-LAS	0.23	99.7%	9.7%	
14		C14-LAS	0.251	80.2%	6.6%	

表 8 同時分析フローによる回収率 1

農薬名	添加回収濃度 (µg/L)	回収率	
		平均(%)	RSD(%)
2,4-D	0.1	113.4%	9.0%
Acetamiprid	0.1	98.0%	4.0%
Aldicarb	0.1	14.0%	-
Anilofos	0.1	101.0%	5.3%
Aramite	0.25	74.0%	10.4%
Asulam	0.1	29.2%	-
Azamethiphos	0.1	114.0%	3.8%
Azinphos-methyl	0.1	100.2%	12.4%
Azoxystrobin	0.4	84.9%	13.6%
Bendiocarb	0.1	56.2%	-
Bensulfuron-methyl	0.1	98.7%	3.7%
Bensulid(SAP)	0.1	96.1%	7.1%
Bentazon	0.1	94.4%	3.3%
Benzofenap	0.1	97.9%	12.8%
Boscalid	0.2	99.9%	9.2%
Butafenacil	0.1	106.6%	7.2%
Butamifos	0.1	86.9%	16.9%
Cafenstrole	0.1	100.7%	5.9%
Carbaryl (NAC)	0.2	75.0%	10.6%
Carbofuran	0.2	71.4%	5.4%
Carpropamid	0.2	103.2%	9.4%
Chromafenozide	0.1	105.8%	4.8%
Chlorantraniliprole	0.1	104.2%	6.3%
Chloridazon	0.1	76.8%	16.4%
Chloroxuron	0.1	103.1%	4.7%
Clofentezine	0.1	74.4%	10.8%
Clomeprop	0.1	111.9%	3.7%
Cloquintocet-mexyl	0.1	90.3%	15.7%
Clothianidin	0.1	88.2%	4.6%
Cumyluron	0.2	110.2%	7.1%
Cycloate	0.1	10.3%	-
Cyclosulfamuron	0.1	98.7%	7.7%
Cyflufenamid	0.1	102.7%	13.2%
Cyproconazole	0.1	104.2%	6.8%
Cyprodinil	0.1	89.8%	10.6%
Daimuron	0.2	95.5%	3.0%
Diallate	0.1	9.3%	-
Diazinon	0.1	41.4%	-
Difenoconazole	0.1	103.0%	12.7%
Diflubenzuron	0.1	104.5%	4.4%
Dimethirimol	0.1	21.9%	-
Dimethomorph	0.1	104.0%	3.0%
Epoxiconazole	0.1	102.2%	9.6%

表 8 同時分析フローによる回収率 2

農薬名	添加回収濃度 ( $\mu\text{g/L}$ )	回収率	
		平均(%)	RSD(%)
Ethoxysulfuron	0.1	106.9%	6.2%
Fenamidone	0.1	97.4%	4.9%
Fenobucarb	0.1	37.6%	-
Fenoxaprop-ethyl	0.1	108.5%	17.7%
Fenoxycarb	0.1	100.8%	5.8%
Fenpyroximate	0.1	79.6%	5.4%
Fenthion	0.1	53.0%	-
Fenthion-sulfoxide	0.1	107.2%	12.5%
Ferimzone	0.1	82.8%	2.9%
Fipronil	0.1	98.0%	9.1%
Flazasulfuron	0.2	100.5%	2.5%
Flufenacet	0.1	88.7%	10.6%
Flufenoxuron	0.1	81.3%	9.1%
Flupoxam	0.1	96.0%	16.8%
Fluridone	0.1	100.9%	4.2%
Flutolanil	0.1	108.3%	4.3%
Fulbendiamide	0.1	112.3%	14.7%
Furametpyr	0.1	113.7%	7.9%
Furathiocarb	0.1	93.4%	17.1%
Halosulfuron-methyl	0.3	105.4%	11.3%
Hexaconazole	0.1	106.6%	15.8%
Hexaflumuron	0.1	112.0%	5.4%
Hexythiazox	0.1	88.3%	15.0%
Imazalil	0.1	54.5%	-
Imidacloprid	0.1	90.4%	18.3%
Indanofan	0.1	105.4%	10.1%
Indoxacarb	0.1	93.9%	5.2%
Iprodione	0.8	11.8%	-
Iprovalicarb	0.1	108.2%	6.9%
Isoprothiolane	0.1	94.7%	9.4%
Isoxathion	0.1	100.6%	6.0%
Linuron	0.1	93.6%	12.4%
Lufenuron	0.1	83.5%	3.0%
Mecoprop	0.2	96.4%	8.0%
Mepanipyrim	0.1	95.6%	9.9%
Mepronil	0.1	103.2%	4.8%
Metalaxyl	0.1	90.9%	10.9%
Methabenzthiazuron	0.1	73.1%	0.9%
Methiocarb	0.1	103.2%	2.5%
Methomyl	0.2	6.9%	-
Methoxyfenozide	0.1	110.9%	6.5%
Metconazole	0.1	101.8%	12.0%
Monolinuron	0.1	47.5%	-

表 8 同時分析フローによる回収率 3

農薬名	添加回収濃度 ( $\mu\text{g/L}$ )	回収率	
		平均(%)	RSD(%)
Naproanilide	0.1	104.3%	4.5%
Novaluron	0.1	71.1%	8.1%
Oryzalin	0.1	91.5%	3.3%
Oxamyl	0.1	18.2%	-
Oxaziclomefone	0.2	103.5%	9.4%
Oxycarboxin	0.1	78.6%	14.5%
Pencycuron	0.2	94.9%	13.5%
Pendimethalin	0.1	54.4%	-
Phenmedipham	0.1	107.9%	14.1%
Pirimicarb	0.1	73.8%	6.6%
Probenazole	0.1	70.4%	7.2%
Prodiamine	0.1	84.9%	5.6%
Propaquizafop	0.1	110.3%	3.8%
Propiconazole	0.1	102.8%	7.3%
Propyzamide	0.1	71.2%	11.0%
Pyraclostrobin	0.1	98.6%	10.1%
Pyrazolate	0.1	106.3%	4.5%
Pyributicarb	0.1	93.2%	6.0%
Pyrifthalid	0.1	104.3%	10.9%
Quizalofop-ethyl	0.1	101.5%	13.3%
Siduron	0.2	107.6%	5.4%
Simazine	0.1	65.3%	-
Simeconazole	0.1	92.1%	11.5%
Tebuconazole	0.1	113.8%	8.6%
Tebufenozide	0.2	104.7%	3.7%
Tebuthiuron	0.1	76.0%	5.1%
Teflubenzuron	0.1	109.9%	15.6%
Terbucarb	0.1	76.0%	12.4%
Tetrachlorvinphos	0.1	109.9%	15.3%
Tetraconazole	0.1	109.7%	10.6%
Thiabendazole	0.1	26.8%	-
Thiamethoxam	0.2	86.8%	4.3%
Thifluzamide	0.1	112.6%	10.7%
Thiodicarb	0.2	100.0%	8.0%
Thiuram	0.1	39.9%	-
Triclopyr	0.3	106.8%	6.6%
Tricyclazole	0.1	96.0%	3.2%
Tridemorph	0.1	81.4%	14.6%
Trifloxystrobin	0.1	86.0%	13.0%
Trifloxysulfuron-sodium	0.1	106.8%	5.1%
Triflumizole	0.1	85.2%	5.5%
Triflumuron	0.1	98.8%	16.3%
Triticonazole	0.1	106.1%	15.4%

#### 参考文献

- 1) J. P. Giesy, K. Kannan: *Environ. Sci. Technol.*, 35, 1339-1342 (2001)
- 2) J. P. Giesy, K. Kannan: *Environ. Sci. Technol.*, 36, 146A-152A (2002)
- 3) 環境省総合環境政策局環境保健部環境安全課環境リスク評価室：化学物質の環境リスク評価，第6巻 (2008)
- 4) K. Prevedouros et al. : *Environ. Sci. Technol.* , 40, 32-44 (2006)
- 5) JIS K 0450-70-10 (2011)
- 6) 環境省水・大気環境局水環境課：環境省告示30号付表12，平成25年3月27日
- 7) 環境省：環境省水・大気環境局長通知，環水大土発第1306181号，平成25年6月18日
- 8) 環境省総合環境政策局環境保健部環境安全課：化学物質と環境 平成15年度化学物質分析法開発調査報告書，113-126 (2004)
- 9) 谷保佐知，羽成修康，堀井勇一，山下信義： *Synthesiology*, 15, 261-274 (2012)
- 10) 田原るりこ：北海道立総合研究機構環境・地質研究本部環境科学研究センター所報，1, 39-46 (2011)
- 11) 環境省総合環境政策局環境保健部環境安全課：化学物質環境実態調査実施の手引き（平成20年度版），119 (2009)
- 12) 谷澤春名，大関由利子，佐々野僚一：第17回環境化学討論会要旨集，554-555 (2008)