

【5-1705】環境研究総合推進費 成果報告会 安全確保部会

非意図的に副生成する臭素系ダイオキシン類 の包括的なリスク管理とTEF提示

鈴木 剛

国立研究開発法人国立環境研究所
資源循環・廃棄物研究センター

研究期間：平成29年度～令和元年度
研究経費：138,060千円（間接経費含む）



2020年8月6日

研究体制

サブ1 包括的迅速検出法の開発と政策貢献的モニタリング

サブ・テーマリーダー :	鈴木 剛	国立環境研究所・循環C・主任研究員
分担者 :	橋本俊次	国立環境研究所・計測C・室長
研究協力者 :	松神秀徳	国立環境研究所・循環C・主任研究員
研究協力者 :	道中智恵子	国立環境研究所・循環C・高度技能専門員

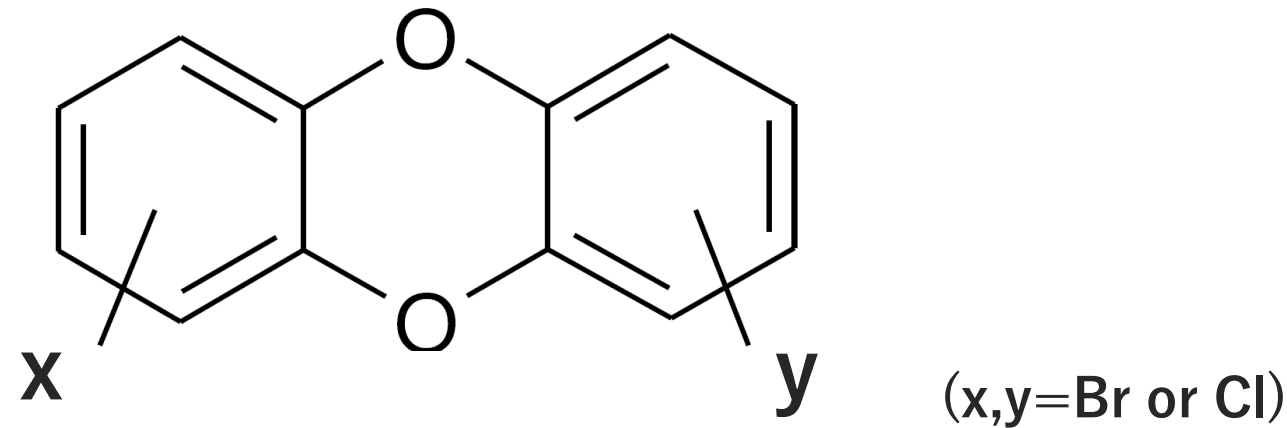
サブ2 排水で検出される異性体の魚類毒性評価

サブ・テーマリーダー :	仲山 慶	愛媛大学・沿環研C・講師
分担者 :	N.M. Tue	愛媛大学・沿環研C・研究員

サブ3 排ガスで検出される異性体の哺乳類毒性評価

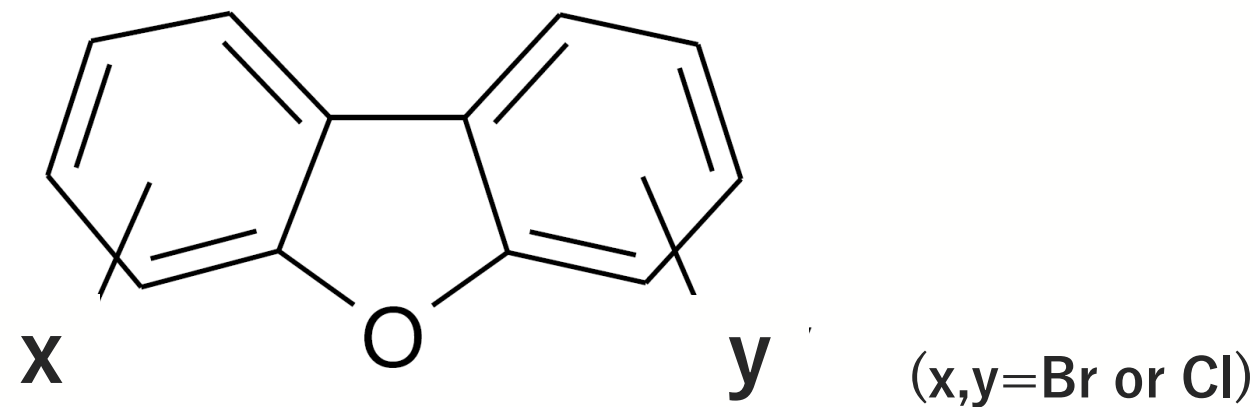
サブ・テーマリーダー :	前川文彦	国立環境研究所・リ健C・主任研究員
研究協力者 :	木村栄輝	国立環境研究所・リ健C・JSPS特別研究員

臭素系ダイオキシン類について



臭素化ジベンゾ-*p*-ダイオキシン (PBDDs)

塩素化臭素化ジベンゾ-*p*-ダイオキシン (PXDDs, X=Cl, Br)



臭素化ジベンゾフラン (PBDFs)

塩素化臭素化ジベンゾフラン (PXDFs, X=Cl, Br)

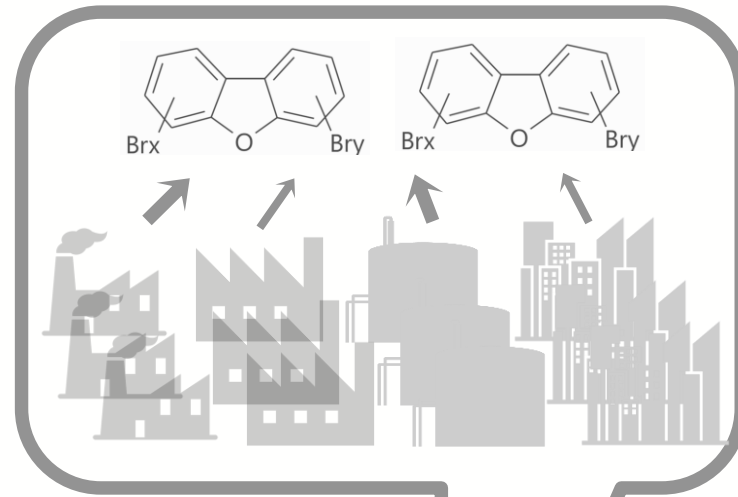
- デカブロモジフェニルエーテルBDE (デカBDE) 等の臭素系難燃剤 (BFRs) に不純物として含有
- BFRs等の臭素化合物の熱分解や光分解を通じて非意図的に生成
- BFR含有製品の製造・使用・廃棄・再資源化といったライフサイクルを通じて環境排出が継続

臭素系ダイオキシン類を巡る状況



- 世界保健機関 (WHO)/国連環境計画 (UNEP) の専門
家会合において、臭素化ダイオキシン類のリスクを
塩素化ダイオキシン類と同様に毒性等価係数 (WHO-
TEF) を用いて管理することが提案
- 環境省による臭素系ダイオキシン類排出実態調査を
通じて、デカBDE等の臭素系難燃剤ライフサイクル
からの排出を確認
- 排出実態調査の継続と排出実態を踏まえた制御や管
理方策に資する知見の収集

政策貢献的モニタリングの必要性



臭素化ダイオキシン類
臭素系ダイオキシン類？
臭素系難燃剤？
リン系難燃剤？



- 環境省による排出実態調査は、GC-HRMS法を用いて実施されており、分析に要する時間や費用の制約があり、調査施設数や業種、測定対象が限定
- 重要排出源からの排出実態の現状調査や未調査業種からの排出実態の調査等を幅広く実施するために、スループット性の高いスクリーニング法を応用
- 臭素化ダイオキシン類以外の臭素系ダイオキシン類や難燃剤を幅広く調査するために、生物検定法と機器分析網羅検出法を応用

魚類・哺乳類毒性評価の必要性



–WHO/UNEP専門家会合は、WHO-TEFを用いて臭素化ダイオキシン類のリスク管理を提案しているが、追加の毒性情報（特に魚類）を求めている

–排水で検出される臭素系ダイオキシン類の魚類を対象としたTEF関連知見を集積するために、メダカ胚における 2,3,7,8-TCDD相対毒性 (REP) を算出



–排ガスで検出される臭素系ダイオキシン類の哺乳類を対象としたTEF関連知見を集積するために、マウスにおけるREPを算出

研究目的

国内外の行政調査の観点と協調して、臭素系ダイオキシン類の制御や管理方策の策定に資する知見獲得を目指して

- サブ1 包括的迅速検出法の開発と政策貢献モニタリング
 - ✓ スクリーニング性と物質包括性を兼ね備える包括的迅速検出法を開発
 - ✓ 環境省調査と連携して包括的な排出実態調査を実施
- サブ2・3 環境中で検出される異性体の魚類・哺乳類毒性評価
 - ✓ 排水・排ガスで検出される評価重要度の高い異性体の毒性評価
 - ✓ 臭素系ダイオキシン類のリスク管理に資するREPを提示

年次計画

－ 研究計画を概ね着実に実施することができた

平成29年度

包括的迅速検出法を開発するため、塩素化／臭素化ダイオキシン類を分別して検出する生物検定スクリーニング法とハロゲン化ダイオキシン類を対象としたGCxGC-HRToFMS網羅検出法の最適化を行う。

環境省水・大気環境局及びダイオキシン対策室と打合せを行い、臭素系ダイオキシン類の排出実態調査の計画立案を行う。調査施設をリストアップし、排水や排出ガスを下水流入水などの各種施設に応じた採取試料を決める。環境省を通じて試料採取の許可が得られた施設を対象として、包括的迅速検出法による政策貢献モニタリングを開始する。

平成30年度

政策貢献モニタリングを継続する。包括的迅速検出法では、生物検定スクリーニングを実施して、塩素化ダイオキシン類の排出基準や環境基準の10%に相当する濃度が検出された試料についてGCxGC-HRToFMS網羅検出によってハロゲン化ダイオキシン類の構成を把握する。

政策貢献的モニタリング
また、当該試料排出施設について、施設内における臭素系ダイオキシン類の挙動・消長に関する詳細調査を環境省と連携して実施する。また、下水処理場の流入水について臭素系ダイオキシン類がスクリーニングされた際には、上流に存在する施設を対象として、当該施設を対象とした排出実態調査を実施する。

令和元年度

政策貢献モニタリングを継続する。研究期間で得られたスクリーニング結果と詳細調査結果を取りまとめ、現状の臭素系ダイオキシン類の重要な排出源を明らかにする。

政策貢献的モニタリング
政策貢献的モニタリングとして、サブ2及び3で得られるTEFを考慮した重要排出源における臭素系ダイオキシン類のリスク管理方針を提示すると共に、排出削減に向けた技術・政策の検討に資する基礎データとして取りまとめを行う。

成果とりまとめ

包括的迅速検出法の開発

– 臭素化ダイオキシン類を検出する生物検定スクリーニングの最適化

- ✓ 把握すべき臭素化ダイオキシン類を含む臭素系ダイオキシン類の検出が可能

試料粗抽出液

(作業環境 1 m³、排水 0.2 L、排ガス 0.05 m³N、固形試料 0.05 g)

ミニカラム型55%硫酸シリカゲルカラム

> 8 ml ヘキサン

精製画分

ミニカラム型10%硝酸銀シリカゲルカラム

> 3 ml ヘキサン

> 8 μl DMSO

塩素化ダイオキシン類画分

> 生物検定法

TCDD-EQ_{PCDD/DFs}

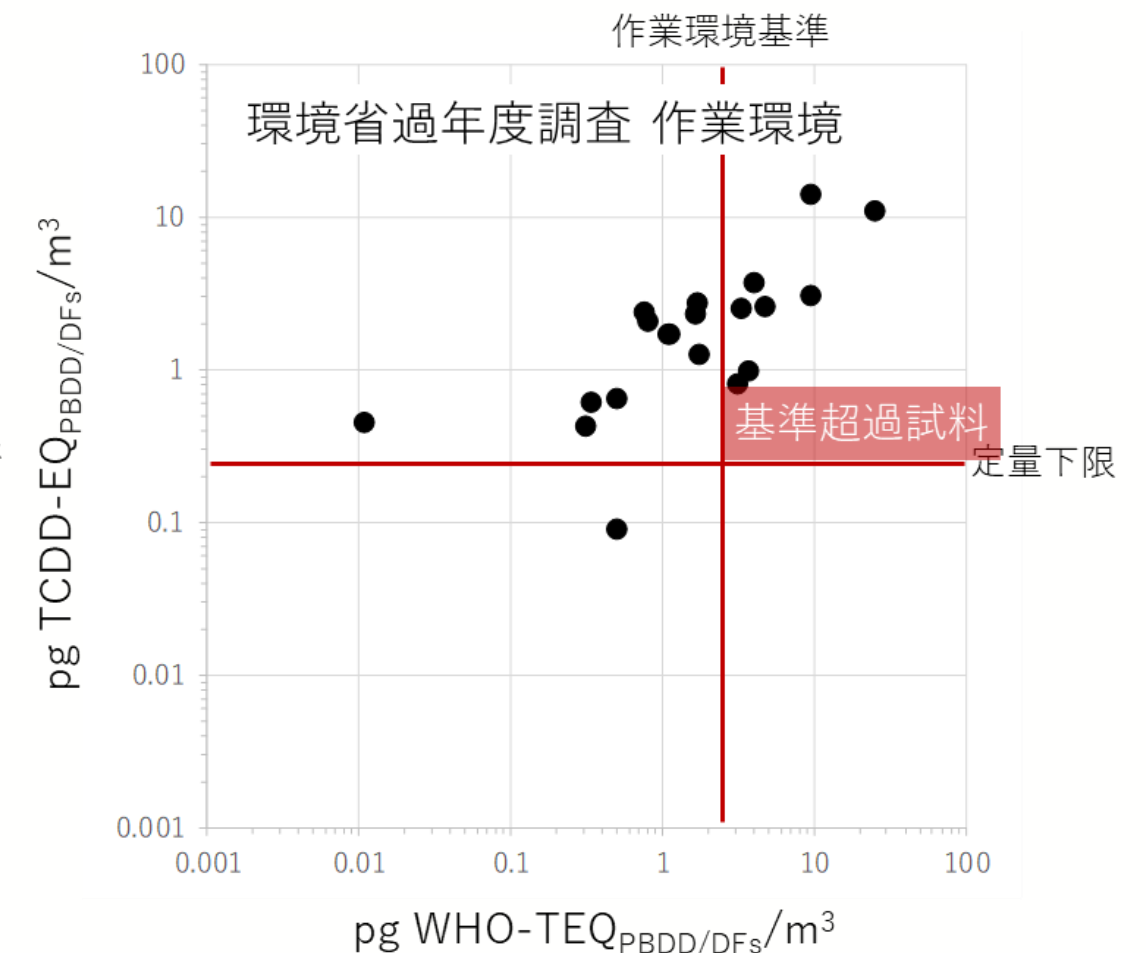
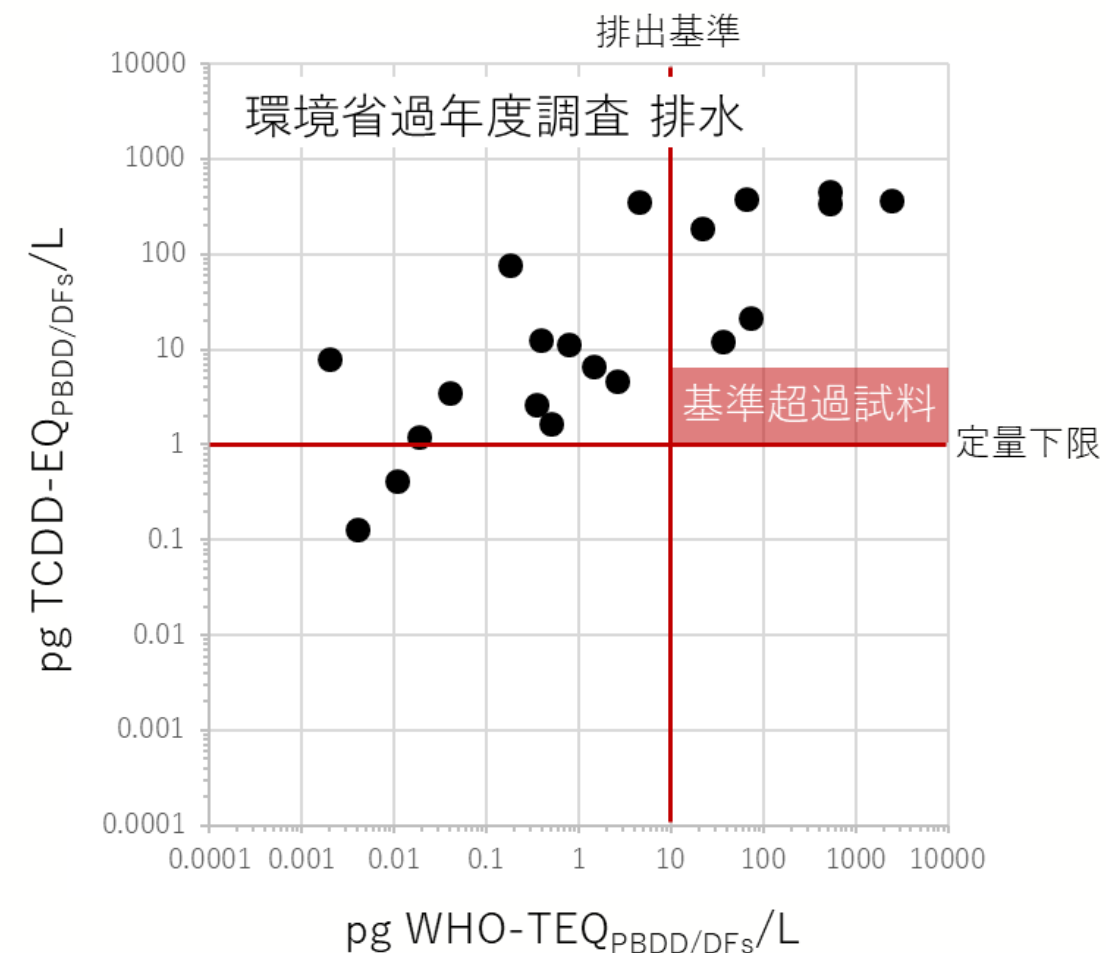
> 3 ml 4%アセトン/ヘキサン

> 8 μl DMSO

臭素化ダイオキシン類画分

> 生物検定法

TCDD-EQ_{PBDD/DFs}



省供試料・省資材・省溶媒の前処理方法

環境省過年度調査の排水と作業環境のWHO-TEQ_{PBDD/DFs}とTCDD-EQ_{PBDD/DFs}

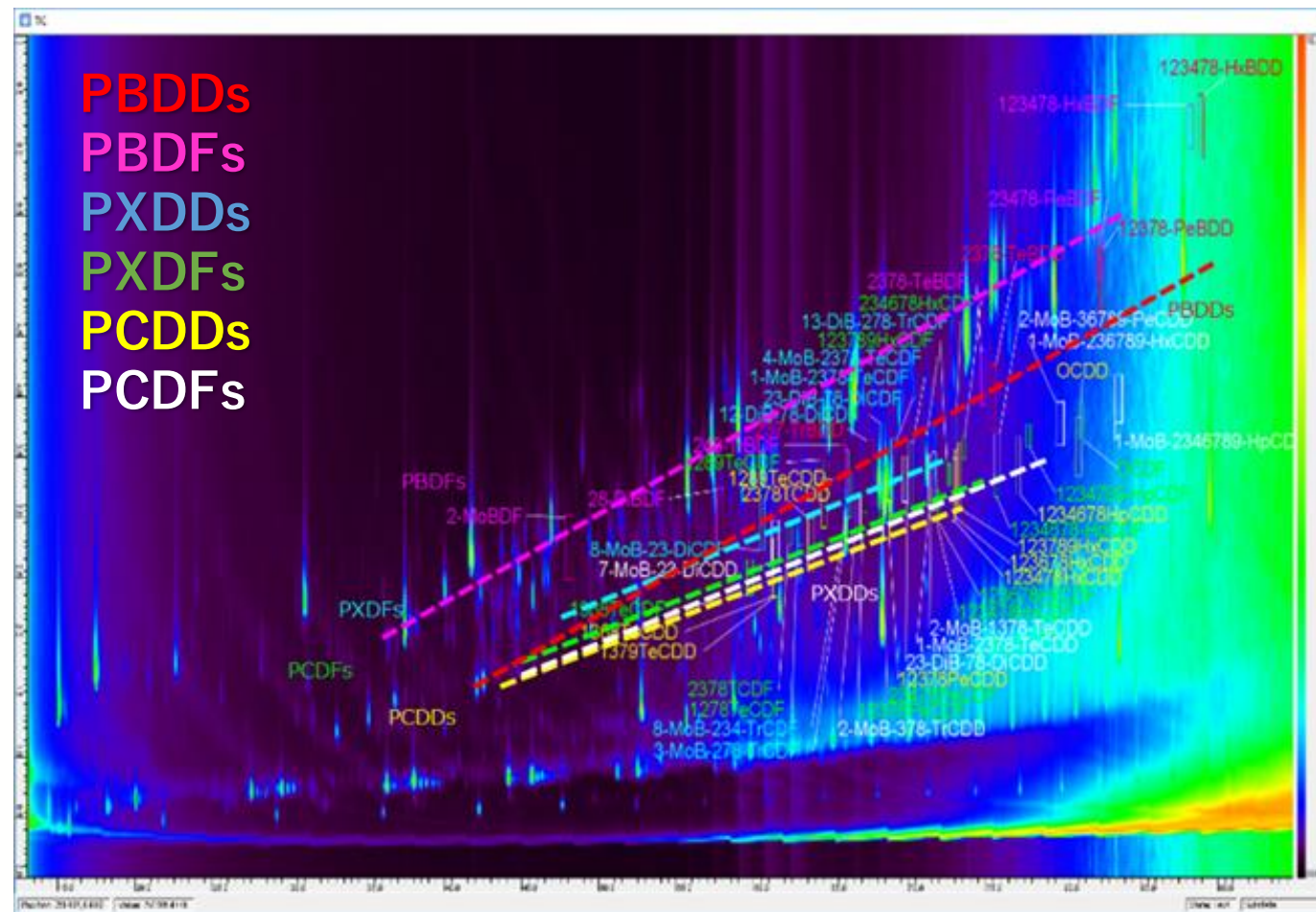
包括的迅速検出法の開発

– GCxGC-HRT_oFMS法及びUHPLC/APGC-QT_oFMS法の最適化

✓ TCDD-EQ_{PBDD/DFs}に関連する塩素化臭素化ダイオキシン類や難燃剤の検出が可能



GCxGC

HRT₀FMS

GCxGC-HRTofMS法によるハロゲン化ダイオキシン類の検出

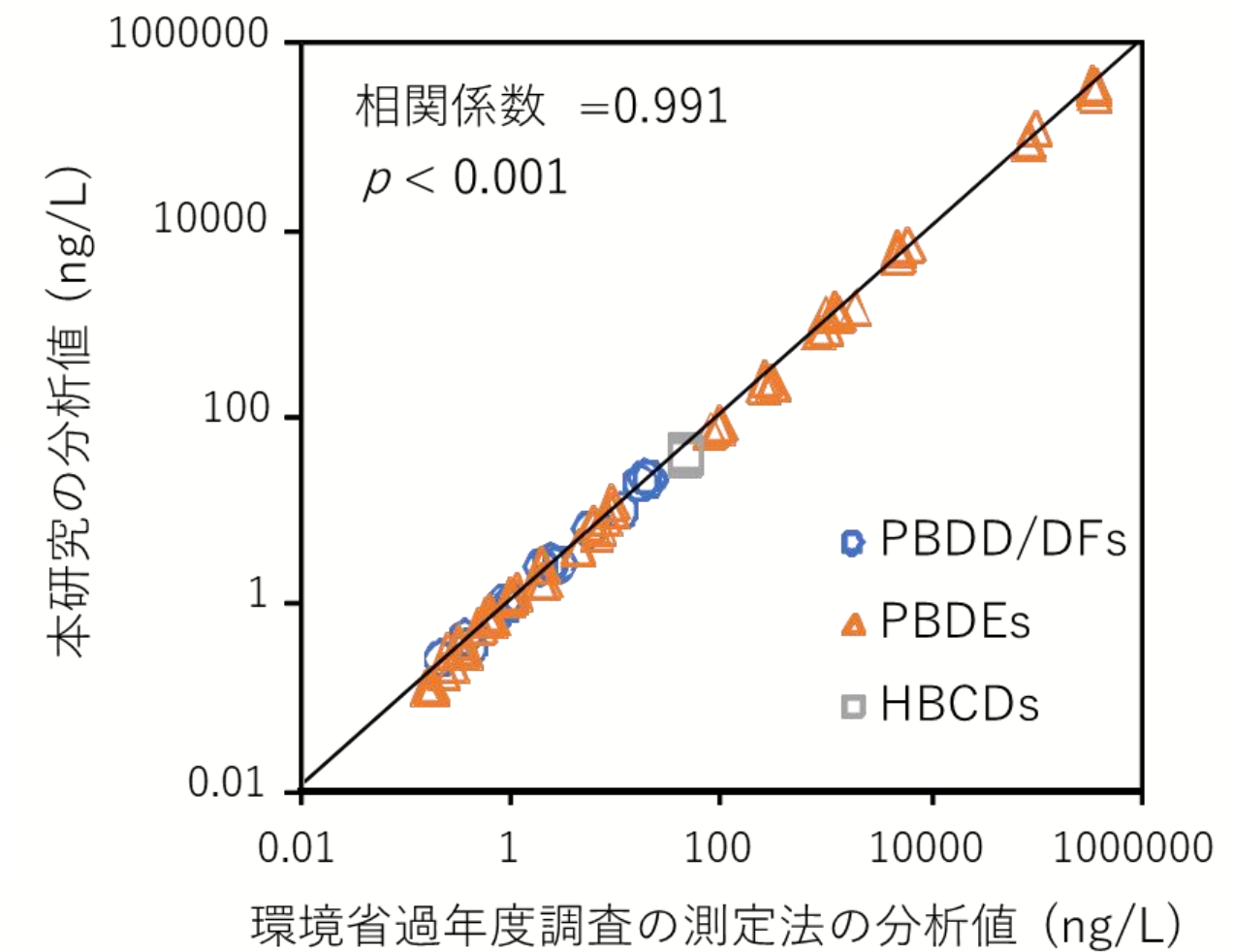


- GC-APCI

● LC-ESI



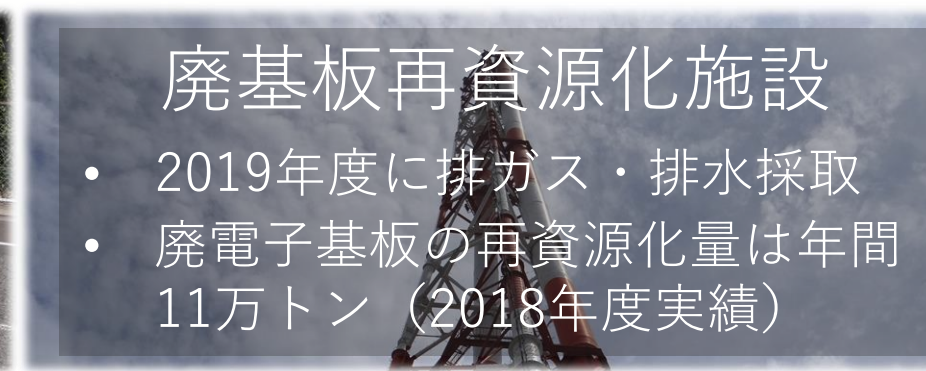
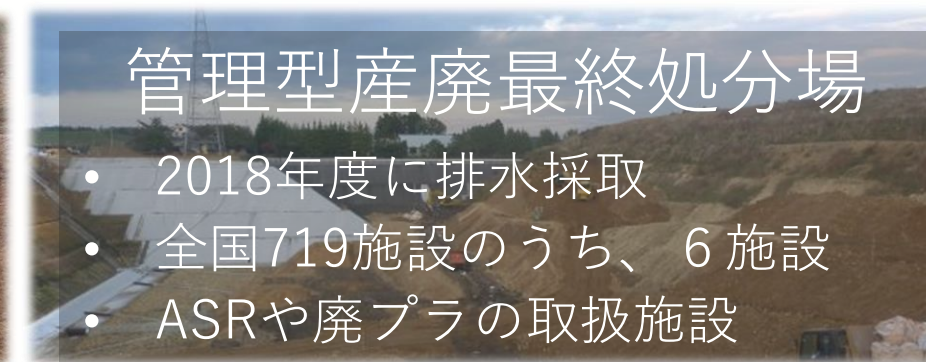
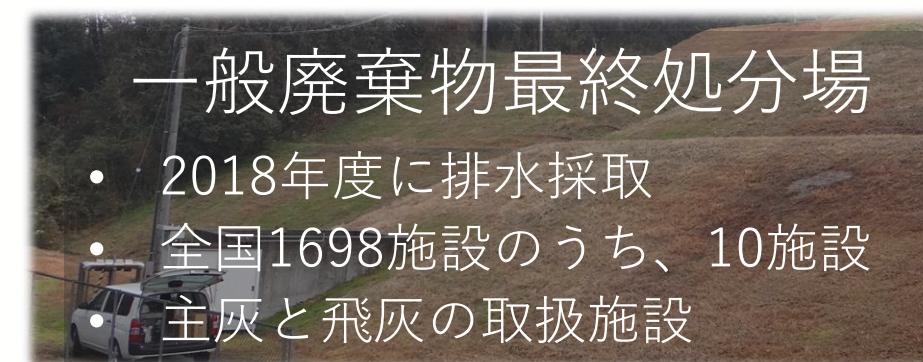
- QTofMS



UHPLC/APGC-QToFMS法による難燃剤等の検出

政策貢献的モニタリングの調査概要

- 重要排出源と未調査業種に分けて排出実態を調査
- TCDD-EQ関連物質や排水・排ガス処理過程の挙動を評価



✓ 過年度の環境省排出実態調査で臭素化ダイオキシン類の高濃度排出を確認した業種を対象

重要排出源

✓ その他難燃剤や臭素系難燃剤含有媒体を取扱っている未調査業種を対象

未調査業種

重要排出源における排出濃度

- 一部施設で高濃度のTCDD-EQ_{PBDD/DFs}やWHO-TEQ_{PBDD/DFs}を検出
- 排出源としての重要度は過年度調査と比較して同程度以下

分類	業種	媒体	ダイオキシン類基準	年次	排出濃度（中央値と範囲）			
重要排出源	家電リサイクル施設	作業環境	2.5 pg WHO-TEQ/m ³	FY2002*	37	(3.2～180)	pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /m ³	(n=10)
				FY2011*	3.1	(0.34～9.8)	pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /m ³	(n=16)
				FY2017	1.1	(0.32～7.5)	pg TCDD-EQ _{PBDD/DFs} /m ³	(n=21)
				FY2017	4.9	(2.1～6.8)	pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /m ³	(n=4)**
		排水	10 pg WHO-TEQ/L	FY2002*	31	(2.5～65)	pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /L	(n=6)
				FY2011*	88	(1.4～530)	pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /L	(n=10)
				FY2017	5.4	(<1.0～1,500)	pg TCDD-EQ _{PBDD/DFs} /L	(n=12)
				FY2017	5.2	(0.99～74)	pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /L	(n=4)**
	デカBDE取扱施設	FY2004*		不検出		pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /L	(n=6)	
		FY2006*		0.69～27		pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /L	(n=2)	
		FY2013*		2.7	(2.0～2,500)	pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /L	(n=5)	
		FY2015*		0.59～39		pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /L	(n=2)	
FY2017		23	(1.3～860)	pg TCDD-EQ _{PBDD/DFs} /L	(n=12)			
FY2017		7.7	(0.48～130)	pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /L	(n=5)**			

*環境省過年度調査、**TCDD-EQ_{PBDD/DFs}が塩素化ダイオキシン類の基準と比較して高い或いは評価重要度が高いと判断した試料

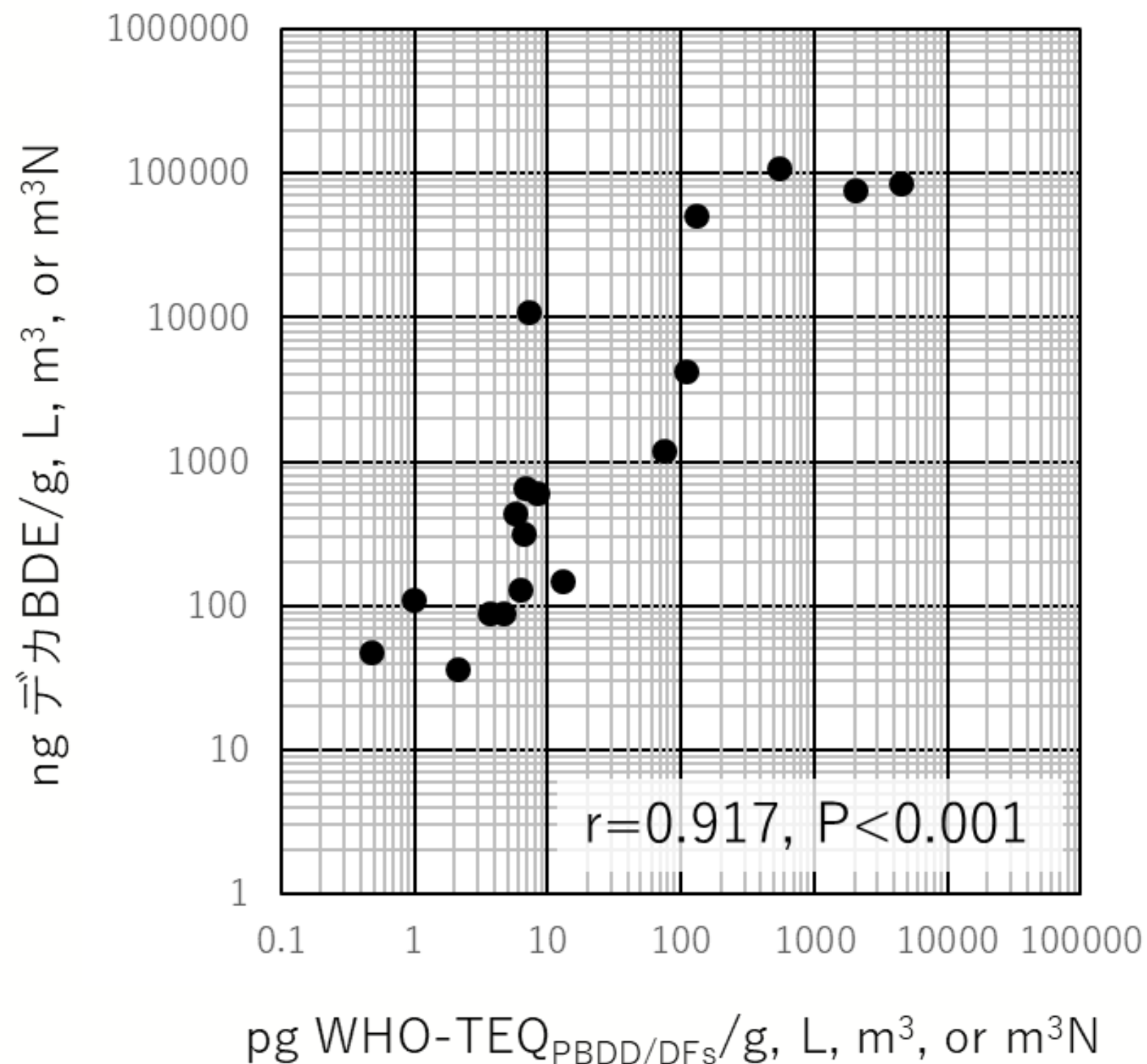
未調査業種における排出濃度

- TCDD-EQ_{PBDD/DFs}やWHO-TEQ_{PBDD/DFs}は総じて低い傾向
- 排出源としての重要度は重要排出源と比較して低い

分類	業種	媒体	ダイオキシン類基準	排出濃度（中央値と範囲）			
未調査業種	一般廃棄物最終処分場	排水	10 pg WHO-TEQ/L	<1.0	(<1.0～8.6)	pg TCDD-EQ _{PBDD/DFs} /L	(n=10)
				<0.006		pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /L	(n=1)*
	産業廃棄物最終処分場			8.5	(<1.0～32)	pg TCDD-EQ _{PBDD/DFs} /L	(n=6)
				<0.006		pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /L	(n=1)*
	その他難燃剤取扱施設			2.2	(<1.0～7,100)	pg TCDD-EQ _{PBDD/DFs} /L	(n=4)
				2.3		pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /L	(n=1)*
	廃電子基板を再資源化する非鉄製錬施設			1.1		pg TCDD-EQ _{PBDD/DFs} /L	(n=1)
				0.0030		pg WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /L	(n=1)*
		排ガス	0.010	(0.0050～0.046)	ng TCDD-EQ _{PBDD/DFs} /m ³ N	(n=3)	
			0.000091	(0.000060～0.0076)	ng WHO-TEQ _{PBDD/DFs} /m ³ N	(n=3)*	

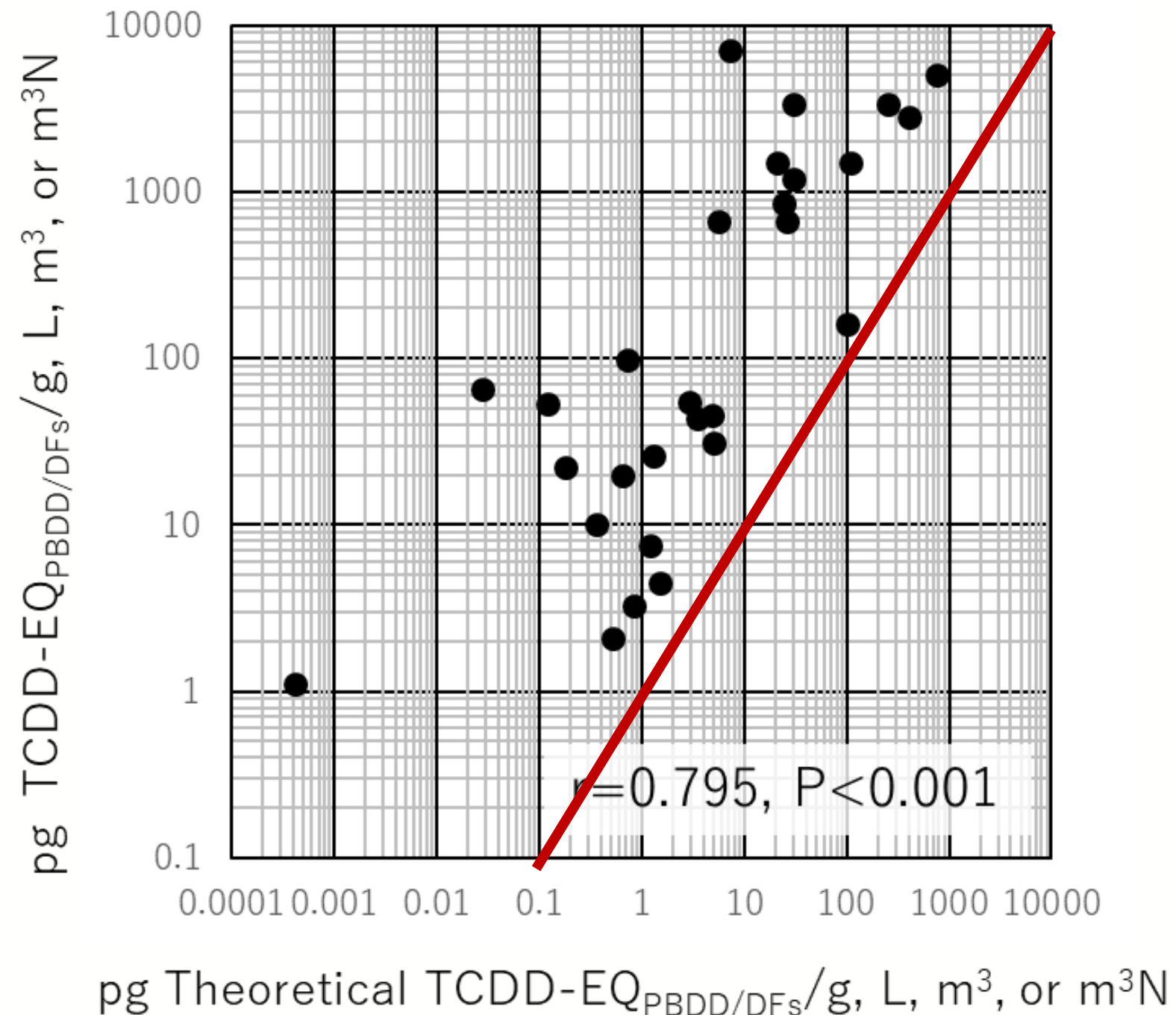
*TCDD-EQ_{PBDD/DFs}が塩素化ダイオキシン類の基準と比較して高い或いは評価重要度が高いと判断した試料

臭素化ダイオキシン類とデカBDEについて



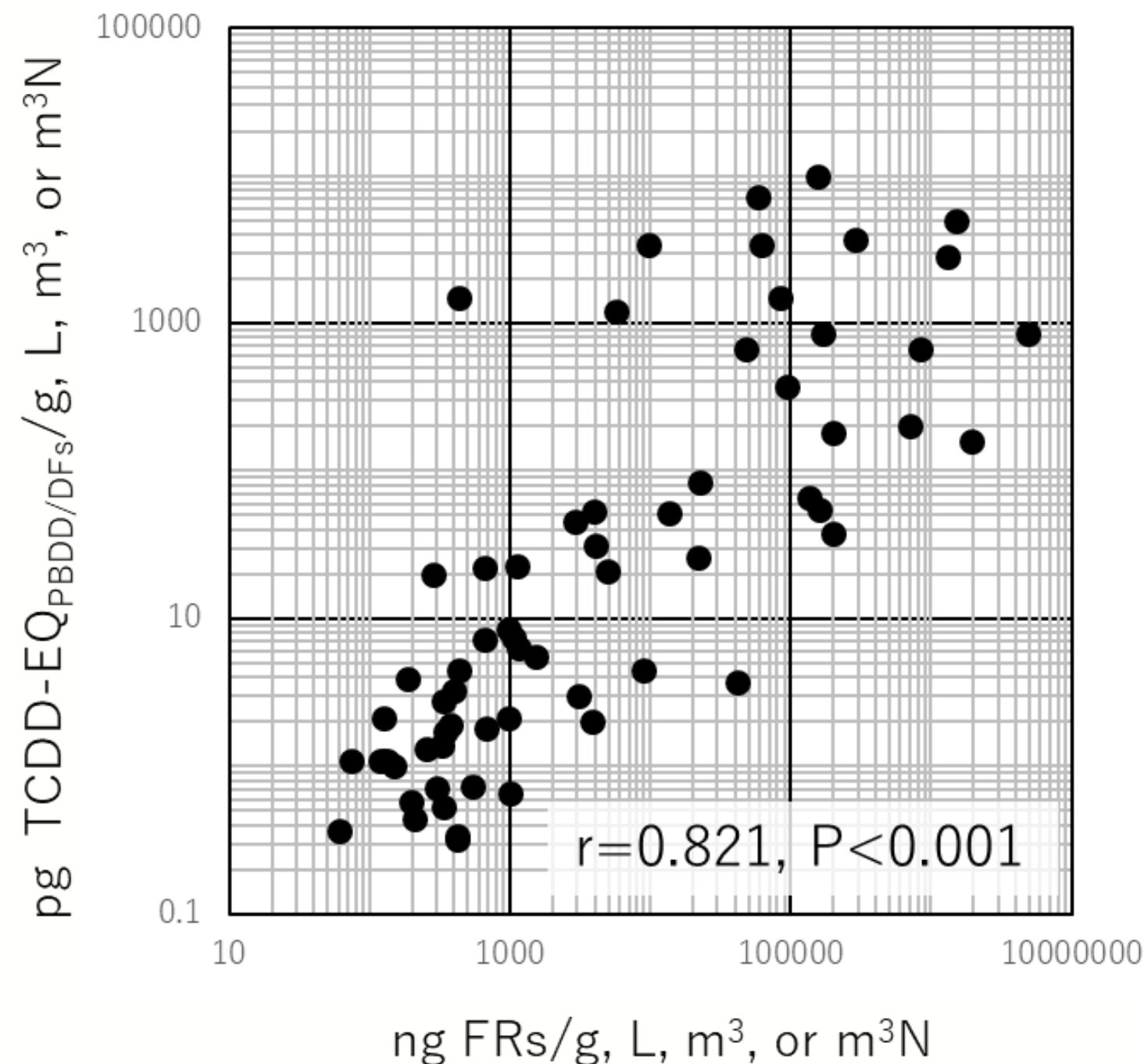
- デカBDEは臭素化ダイオキシン類を不純物として含有する
- WHO-TEQ_{PBDD/DFs}とデカBDEに非常に強い正の相関関係が示された ($r=0.917, P<0.001, n=18$)
- 国内外におけるデカBDEの規制に伴って、製造・使用を通じた環境排出が減少、再資源化・処理処分を通じた環境排出が継続する見込み

臭素化ダイオキシン類と臭素系ダイオキシン類について



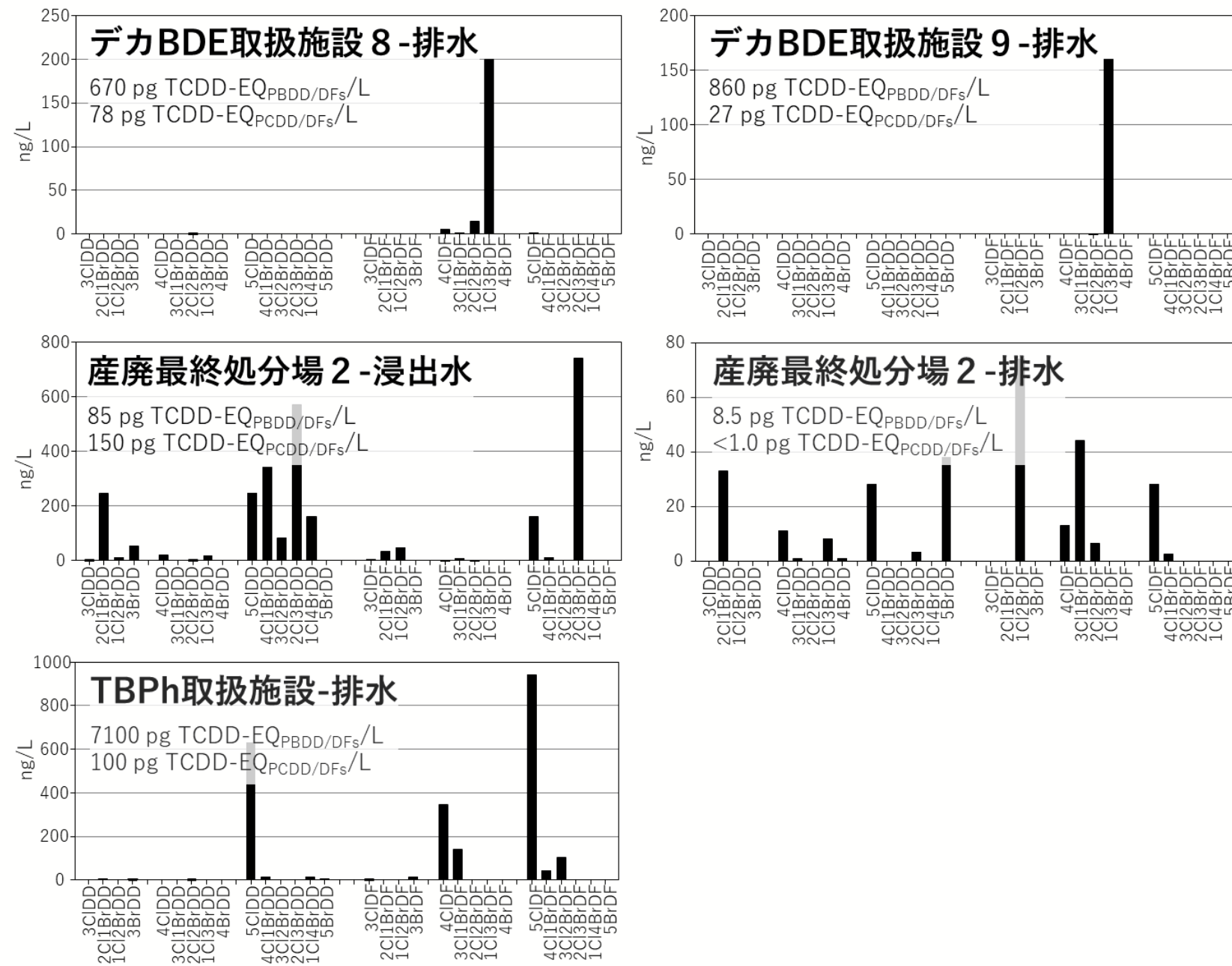
- 生物検定法は検出原理を考慮すると、臭素化ダイオキシン類以外のその他臭素系ダイオキシン類を検出
- TCDD-EQ_{PBDD/DFs}とTheoretical TCDD-EQ_{PBDD/DFs}に正の相関関係が示された ($r=0.795, P<0.001, n=28$)
- 両者の比率は数十～数千であり、発生源や挙動を共にするその他臭素系ダイオキシン類の存在を示唆

臭素系ダイオキシン類と難燃剤について



- 臭素系ダイオキシン類と難燃剤の関連性を評価
- TCDD-EQ_{PBDD/DFs}と難燃剤に比較的強い正の相関関係が示された ($r=0.821, P<0.001, n=65$)
- 臭素系ダイオキシン類と難燃剤が発生源や挙動を共にすることを示し、その制御における難燃剤の管理の重要性を示唆

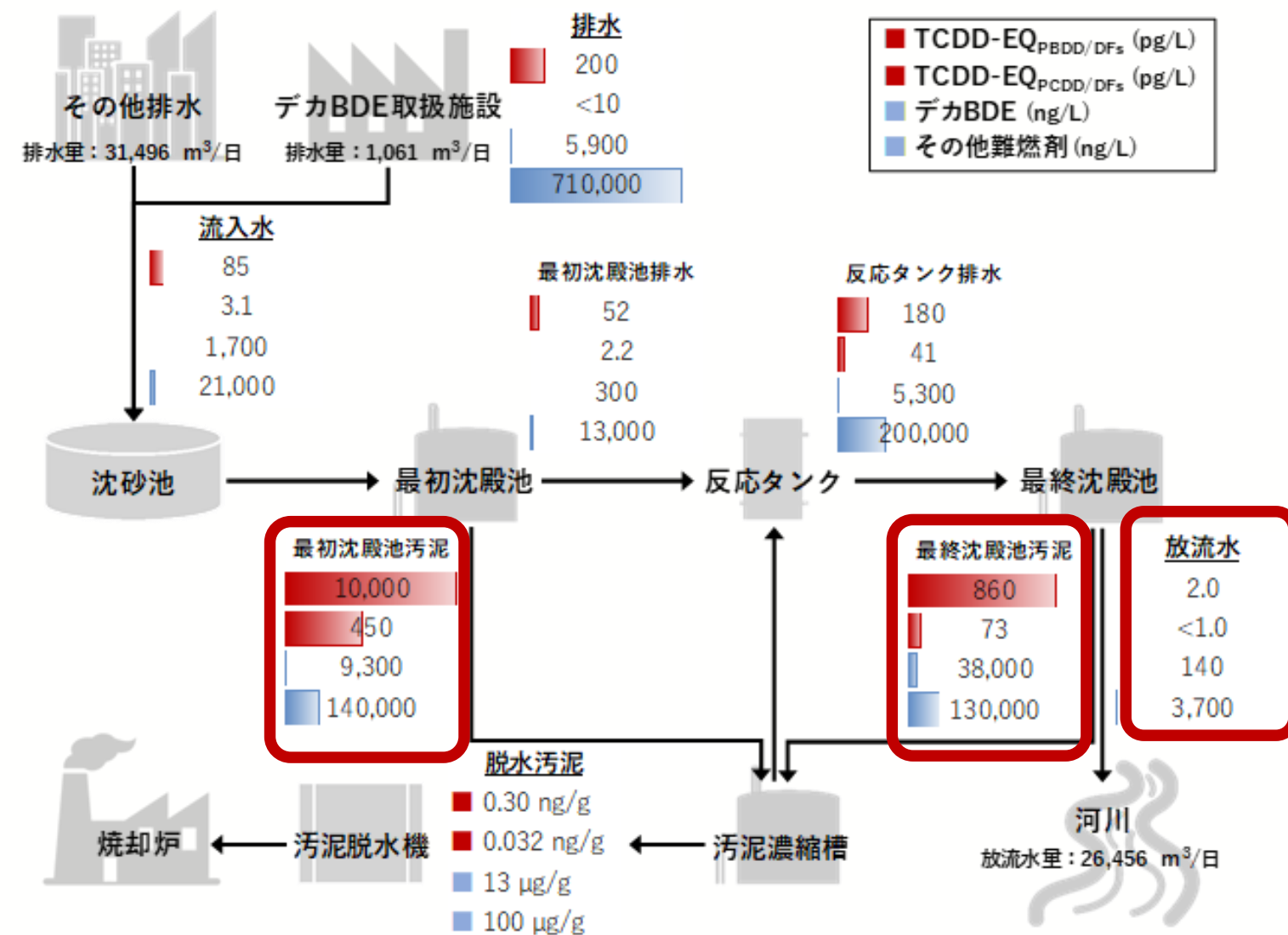
塩素化臭素化ダイオキシン類について



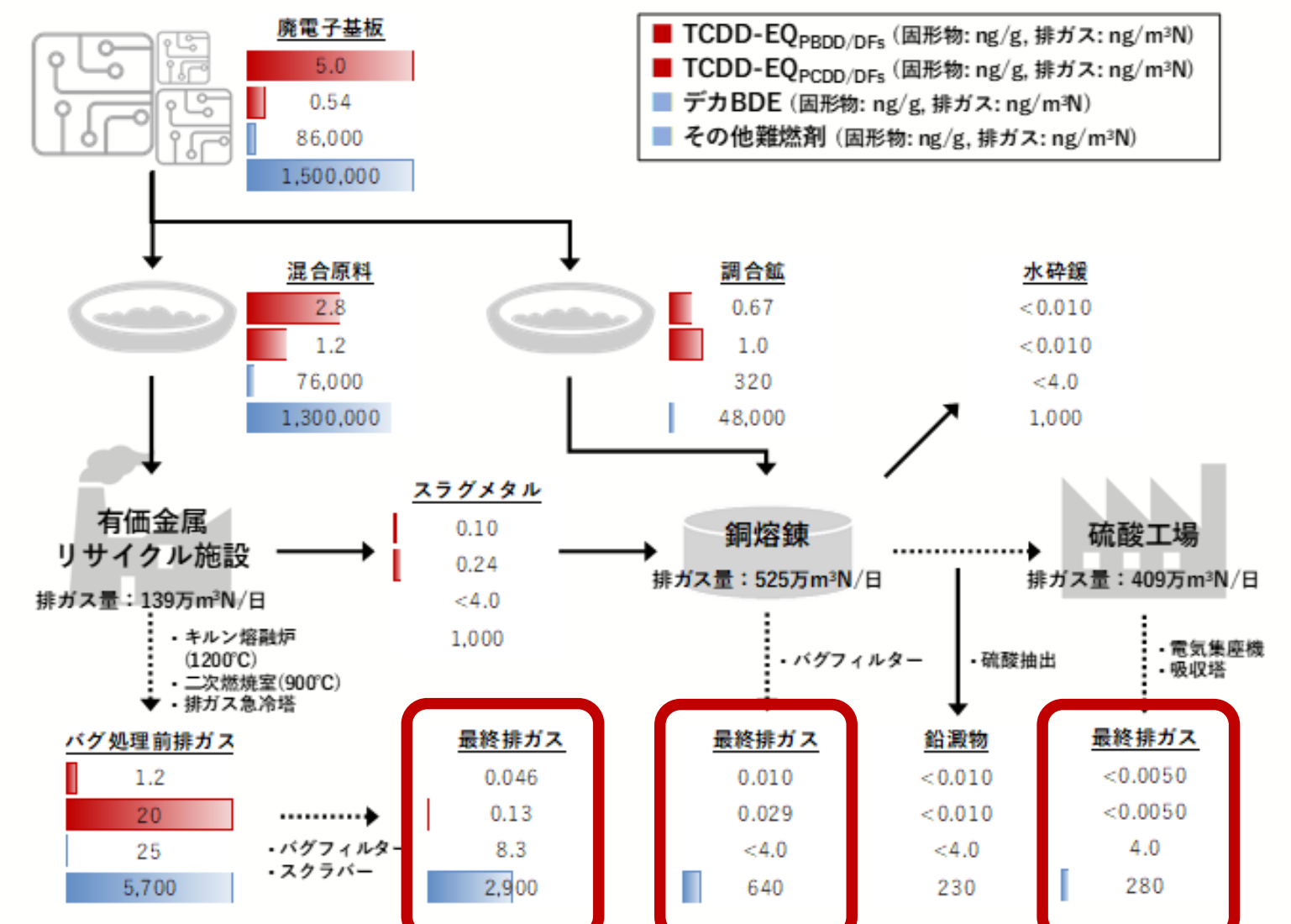
- ダイオキシン類の排出基準 (10 pg WHO-TEQ/L) と比較してTCDD-EQ_{PBDD/DFs}が高い試料等を対象
- 塩素化臭素化ダイオキシン類の検出濃度レベルは数百ng/L程度
- 単純なTCDD-EQとの関連性は認められないものの、検出濃度を考慮するとTCDD-EQに関連する可能性

臭素系ダイオキシン類の排出削減の要点

- 排水は懸濁態、作業環境や排ガスは粒子に着目した処理が有効
- 臭素系ダイオキシン類が集積する媒体の把握・管理・処理が必須



排水処理過程における臭素系ダイオキシン類の挙動



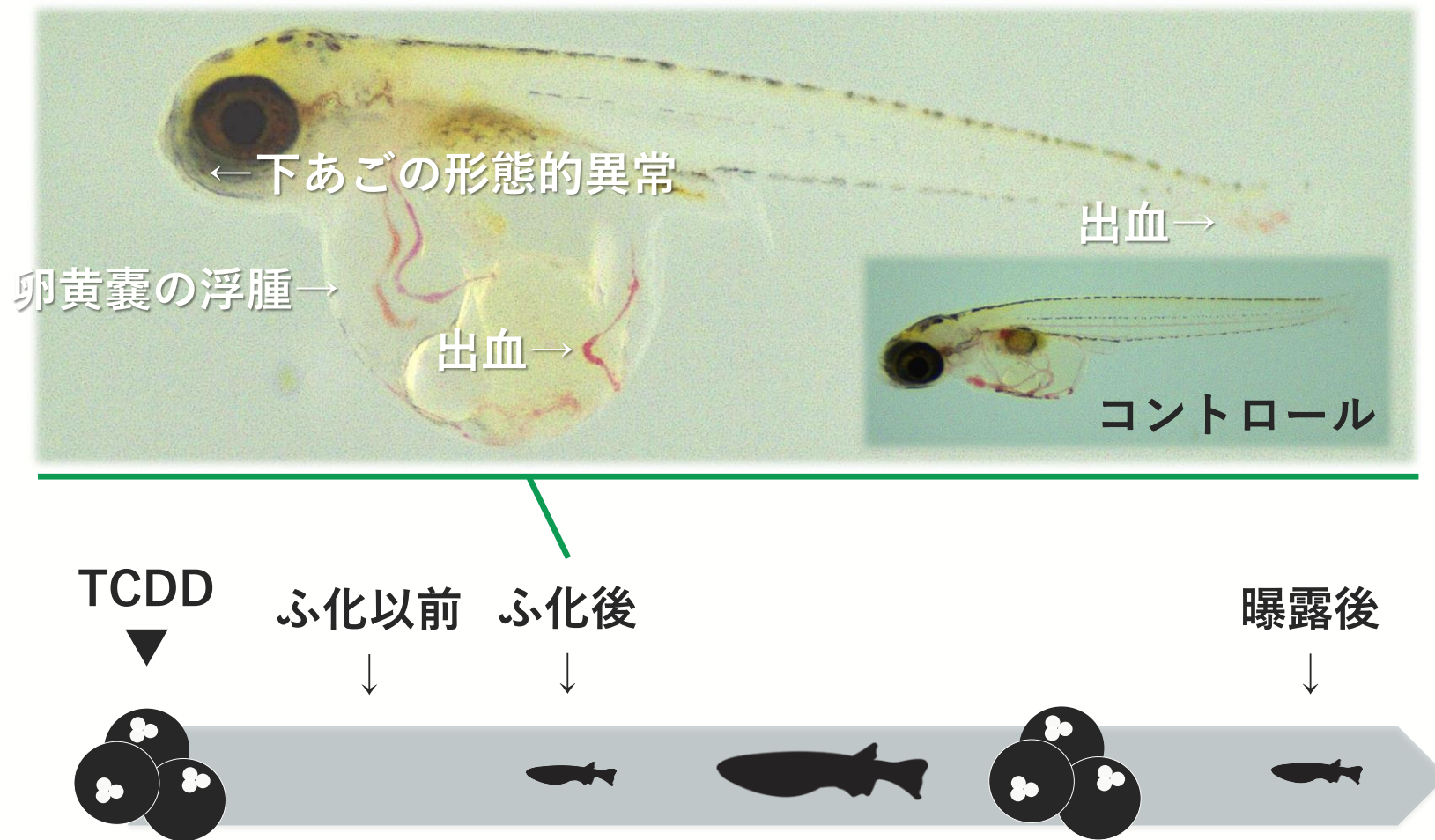
排ガス処理過程における臭素系ダイオキシン類の挙動

年次計画

－研究計画以上の成果を取得した（4物質→6物質）

平成29年度	平成30年度	令和元年度
2,3,7,8-TCDDを対象として、メダカによるOECD TG212に準拠した毒性試験を実施する。化学物質曝露は、受精卵から仔魚に成長するまで実施し、エンドポイントは、ふ化以前が心拍数・血管形成・血流異常、ふ化後がふ化率・奇形率・生存率・遊泳行動とする。曝露後のふ化個体の性は、60日齢まで飼育して、エンドポイントとして表現型の性と遺伝的な性の一致性を確認する。さらに曝露後のふ化個体は、繁殖試験も実施し、エンドポイントとして産卵数・受精率・受精卵のふ化率も求める。各エンドポイントの効果濃度や最小影響濃度を算出する。 2,3,7,8-TCDDを用いた試験条件の確立	排水で検出される臭素系ダイオキシン類のうち、2,3,7,8-TBDF及び2,4,8-TriBDFを対象として、メダカによるOECD TG212に準拠した毒性試験を実施する。2,3,7,8-TCDD評価時と同じエンドポイントに対する効果濃度や最小影響濃度をそれぞれ算出して、2,3,7,8-TCDDの効果濃度や最小影響濃度と比較してTEFを算出する。 臭素系ダイオキシン類を用いた試験条件の最適化	サブテーマ1において排水で検出された臭素系ダイオキシン類のうち、優先度の高い2異性体を対象として、メダカによるOECD TG212に準拠した毒性試験を実施する。2,3,7,8-TCDD評価時と同じエンドポイントに対する効果濃度や最小影響濃度をそれぞれ算出して、2,3,7,8-TCDDの効果濃度や最小影響濃度と比較してTEFを算出する。 ✓ 2,3,8-TrBDF ✓ 2,3,7,8-TeBDF ✓ 1,2,3,7,8-PeBDF ✓ 2,3,4,7,8-PeBDF ✓ 2-C-3,7,8-BDF ✓ 1,3,6,8/1,3,7,9-TeBDD

魚類毒性試験法の確立



試験対象魚：ヒメダカ (*Oryzias latipes*) の卵 (受精から3時間以内)

助剤：Dimethylformamide

曝露水：Reconstituted water (ISO 6341-1982)

曝露試験の流れと毒性評価のタイミング(↓)

– 2,3,7,8-TCDDによる曝露試験を実施

– エンドポイントの検討

ふ化以前：心拍数、血流異常、発生遅延等

ふ化以後：ふ化率、奇形率、生存率等

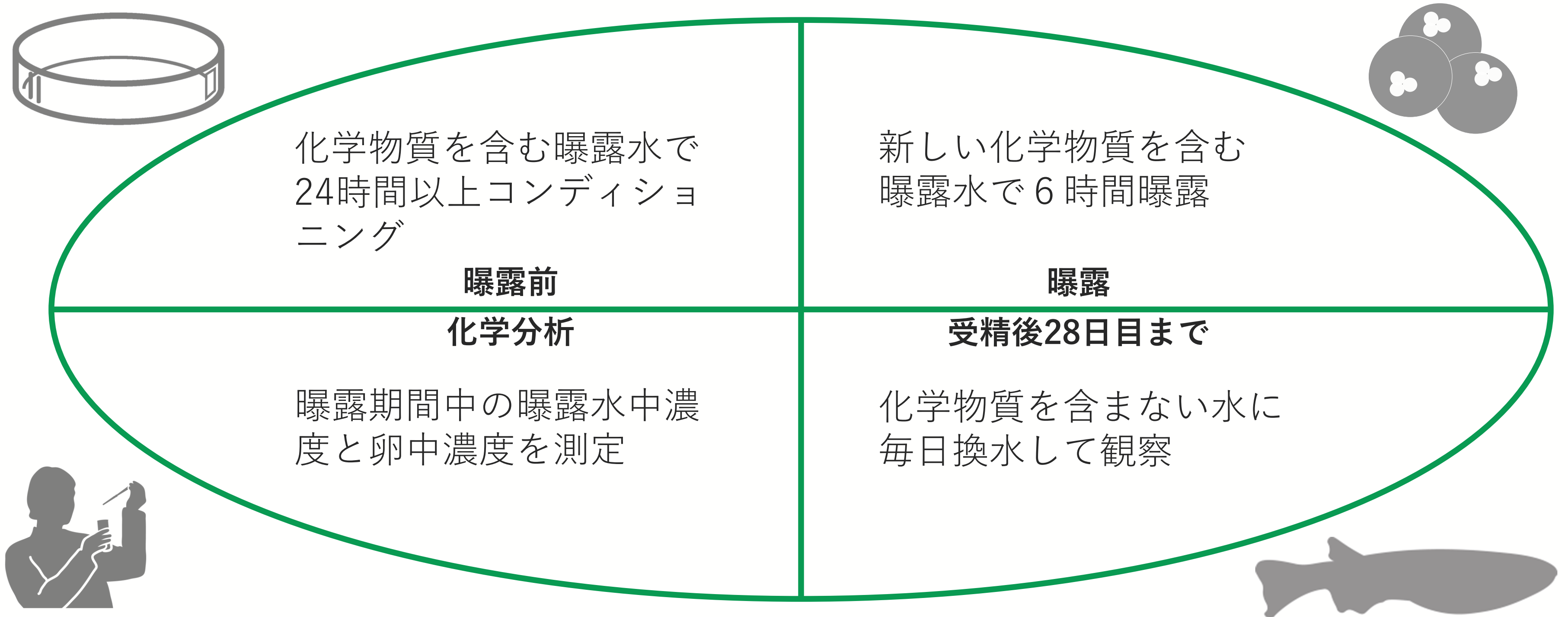
曝露後のふ化個体の一部：性比、再生産

– 観察項目の決定

評価期間：受精後28日目

エンドポイント：生存率、浮腫、正常ふ化

魚類毒性試験法の最適化



本研究の魚類REP

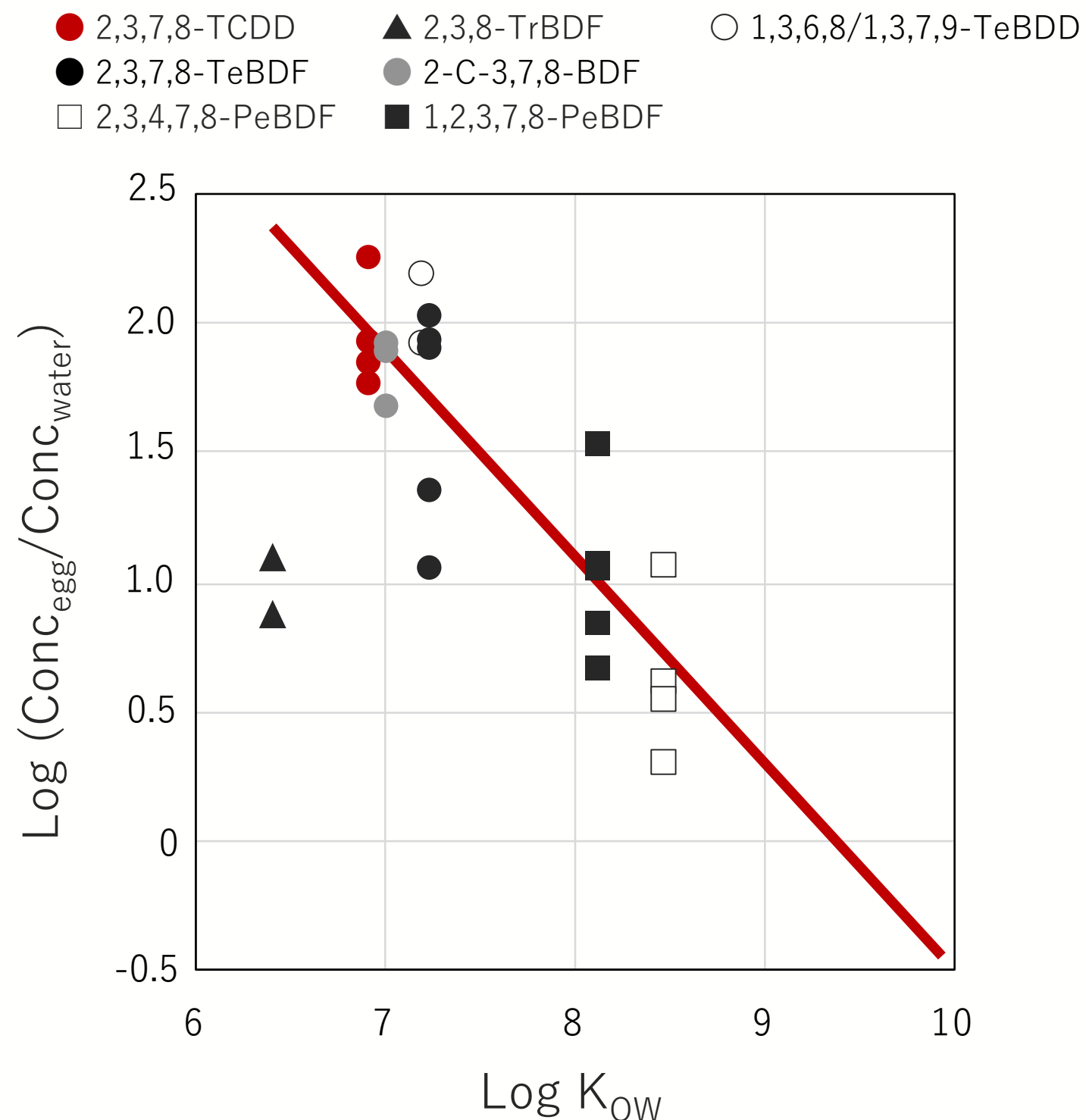
- 2,3,7,8位置換の異性体はダイオキシン様毒性を示す
- WHO-TEFによる評価は、TeBDFで過小評価、PeBDFで過大評価
- 曝露水と卵のREPの比較ではPeBDFに大きな差が示された

化学物質名	DXN 毒性 症状	PCDD/DFs WHO-TEF (2006)*	曝露水－LC ₂₀		メダカ卵－LC ₂₀	
			μg/L	REP	μg/L	REP
2,3,7,8-TCDD	+	1.0	0.000417	1.0	617	1.0
1,3,6,8/1,3,7,9-TeBDD	–	-	ND	-	ND	-
2,3,8-TrBDF	–	-	ND	-	ND	-
2,3,7,8-TeBDF	+	0.1	0.00829	0.50	1012	0.61
1,2,3,7,8-PeBDF	+	0.03	1.16	0.0036	5804	0.11
2,3,4,7,8-PeBDF	+	0.3	0.153	0.027	1955	0.32
2-C-3,7,8-BDF	+	0.1	0.00248	1.7	185	3.3

ND：不検出

*van den Berget al. (2006)

卵中濃度と曝露水中濃度とLog K_{OW}の関係



– 曝露水と卵のREPの比較では、
TeBDFで同等、PeBDFで大きな差

– 卵中濃度と曝露水中濃度比とLog
K_{OW}に強い負の相関関係が示された
($y = -0.801x + 7.51$, $r = 0.859$, $P < 0.001$)

*2,3,8-TrBDFを除く

– 臭素置換数が増加するに従って、曝
露水から卵への移行量が減少

魚類REP予測モデル

$$\textit{Threshold Conc}_{egg} = \textit{REP}_{CALUX} \times \textit{TCDD LC}_{20}$$

$$\textit{Log} \frac{\textit{Conc}_{egg}}{\textit{Conc}_{water}} = -0.801 \times \textit{Log} K_{ow} + 7.51$$

$\textit{REP}_{CALUX}$: DR-CALUXアッセイにおける臭素化ダイオキシン類の $\textit{REP}_{20}$ (Suzuki et al., 2017)

$\textit{Conc}_{egg}$: 臭素化ダイオキシン類の卵中濃度 ($\textit{LC}_{20}$)

$\textit{Conc}_{egg}$: 臭素化ダイオキシン類の曝露水中濃度 ($\textit{LC}_{20}$)

魚類REP予測モデルに基づく卵・曝露水中濃度

- 魚類REP予測モデルに基づく予測値は実測値と概ね一致
- $\text{Log } K_{\text{OW}}$ と $\text{REP}_{\text{CALUX}}$ がわかれば曝露水 LC_{20} を予測可能

化学物質名	分子量	$\text{Log } K_{\text{OW}}^*$	$\text{REP}_{\text{CALUX}}^{**}$	LC_{20} 予測値			LC_{20} 実測値		
				卵	試験水		卵	試験水	
			Mol basis	pmol/g	pM	μg/L	pmol/g	pM	μg/L
2,3,7,8-TCDD	321.97	6.92	1.0	1.92***	20.7	0.00666	1.92	13.0	0.00417
2,3,7,8-TeBDF	483.78	7.27	0.67	2.86	58.9	0.0285	2.09	17.1	0.00829
1,2,3,7,8-PeBDF	562.67	8.50	0.16	12.0	2380	1.34	10.3	2060	1.16
2,3,4,7,8-PeBDF	562.67	8.16	0.25	7.67	815	0.458	3.47	272	0.153
HxBDF	439.33	9.05	0.019	101	55300	35.5	NA	NA	NA
HpBDF	499.77	9.94	0.00030	6390	18100000	13000	NA	NA	NA

NA：未評価

*EPI suiteで算出、**Suzuki et al. (2017)、***基準のため実測値を使用

年次計画

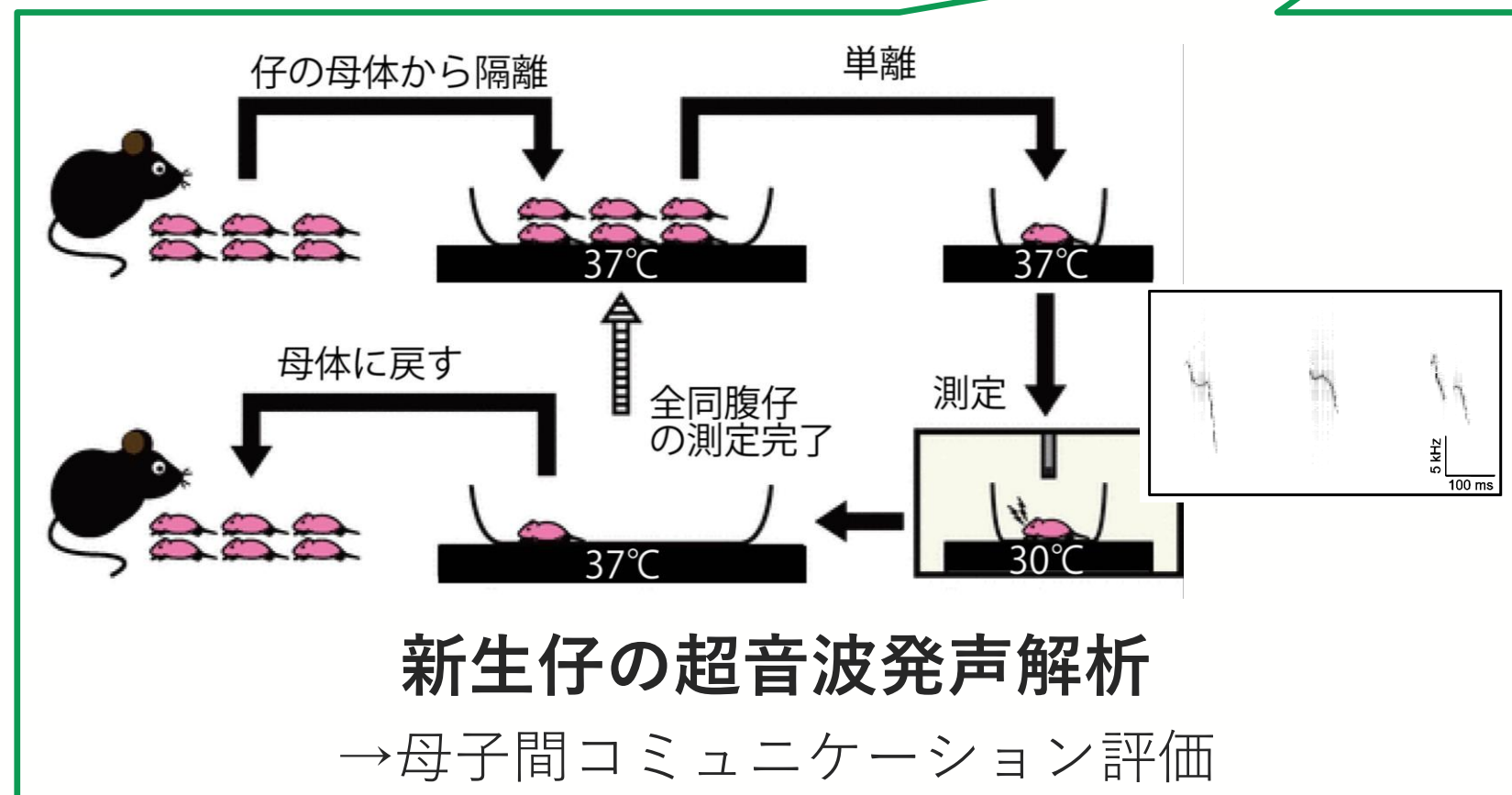
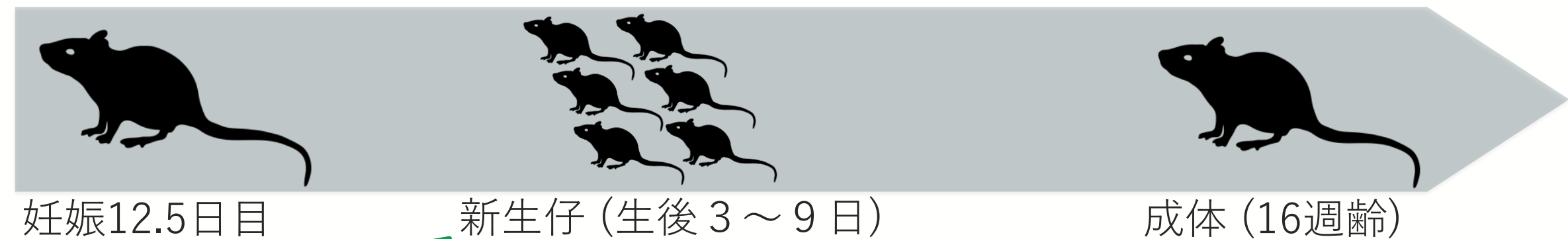
－ 研究計画を概ね着実に実施することができた

平成29年度	平成30年度	令和元年度
2,3,7,8-TCDDを妊娠12.5日目のマウスに単回投与して、胎仔脳への移行量を評価する。次いで、同じく2,3,7,8-TCDDを妊娠12.5日目のマウスに単回投与して、出生後の仔マウスを対象として行動柔軟性や社会的優位性等を評価指標とする集団型全自動・記憶学習測定システムIntelliCageによる行動毒性試験を実施する。各エンドポイントの効果濃度や最小影響濃度を算出する。 2,3,7,8-TCDDを用いた試験条件の確立	排出ガスで検出される臭素系ダイオキシン類のうち、2,3,7,8-TBDF及び2,4,8-tribDFを対象として、胎仔脳への移行量の評価と出生後の仔マウスを対象としたIntelliCageによる行動試験を実施する。各エンドポイントの効果濃度や最小影響濃度を算出して、2,3,7,8-TCDDの効果濃度や最小影響濃度と比較してTEFを算出する。 臭素系ダイオキシン類を用いた本試験の実施 ✓ 2,3,7,8-TeBDF ✓ 2,3,8-TriBDF	サブテーマ1において排出ガスで検出された臭素系ダイオキシン類のうち、評価重要度の高い2異性体について、胎仔脳への移行量の評価と出生後の仔マウスを対象としたIntelliCageによる行動試験を実施する。各エンドポイントの効果濃度や最小影響濃度を算出して、2,3,7,8-TCDDの効果濃度や最小影響濃度と比較してTEFを算出する。 臭素系ダイオキシン類を用いた本試験の実施 ✓ 1,2,3,7,8-PeBDF ✓ 2-C-3,7,8-BDF

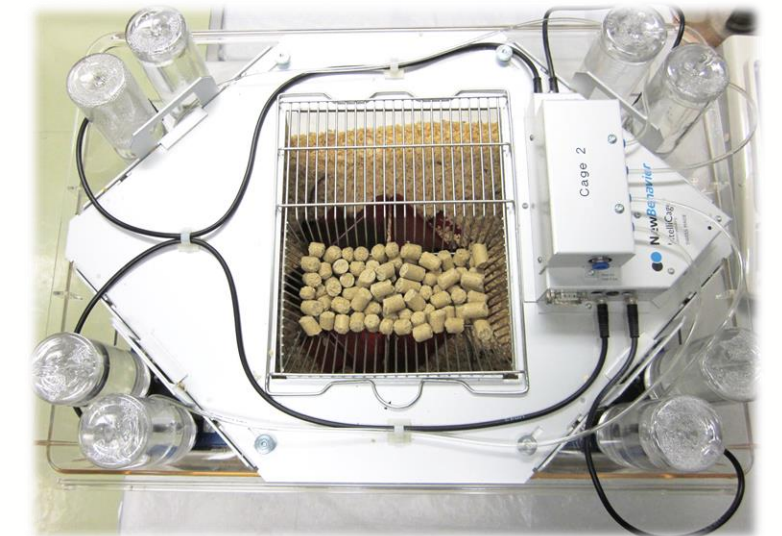
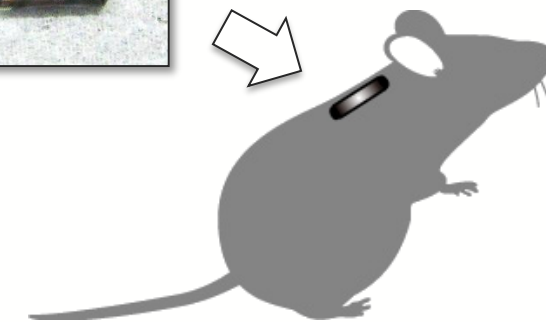
哺乳類毒性試験法の確立

– マウスによる発達神経毒性試験の流れとエンドポイント

化学物質曝露
(単回経口投与)



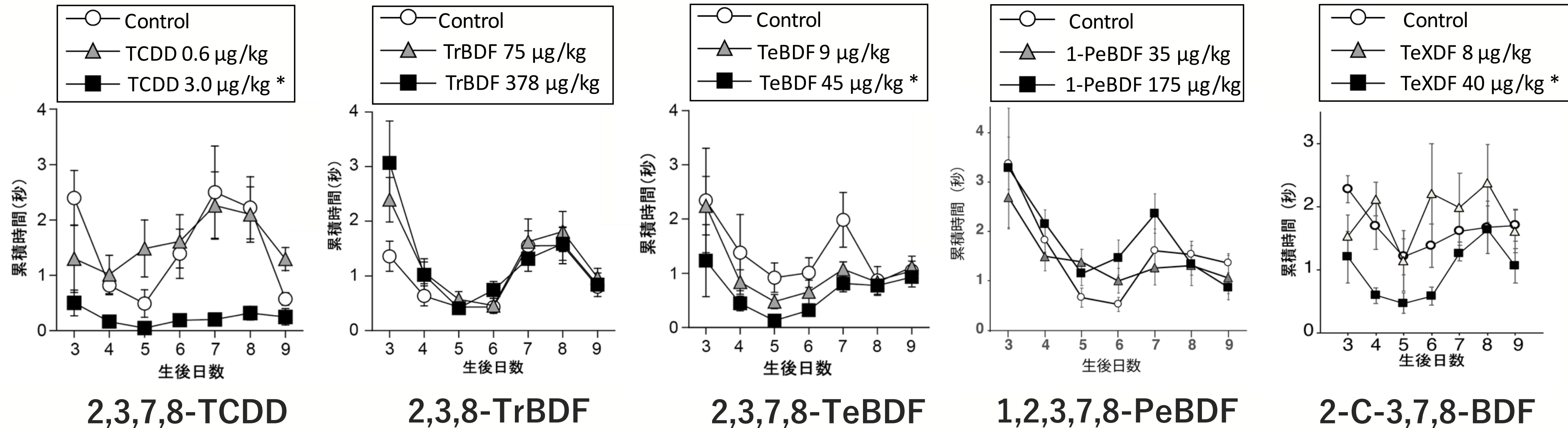
個体識別用のRFIDタグ



集団飼育下での成体の新奇環境探索行動解析
→IntelliCageを使った新奇環境への適応性評価

新生仔の超音波発声解析

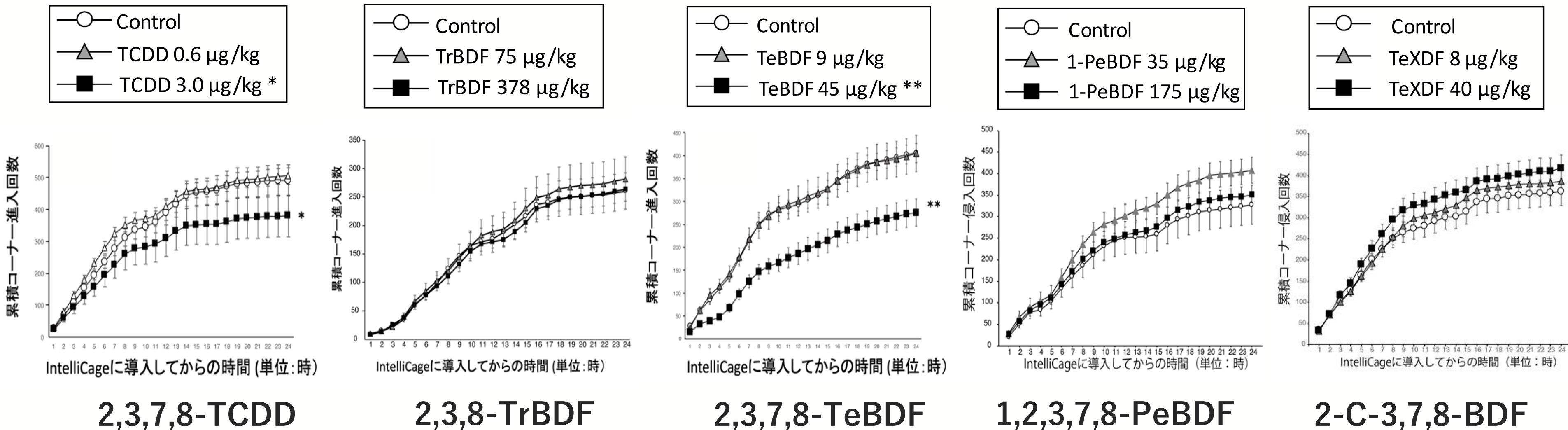
- TCDD、TeBDF、TeXDFの高用量曝露群で有意な低下
- TrBDF、1-PeBDFの曝露群では影響がみられなかった



* $p < 0.05$

成体の新奇環境探索行動解析

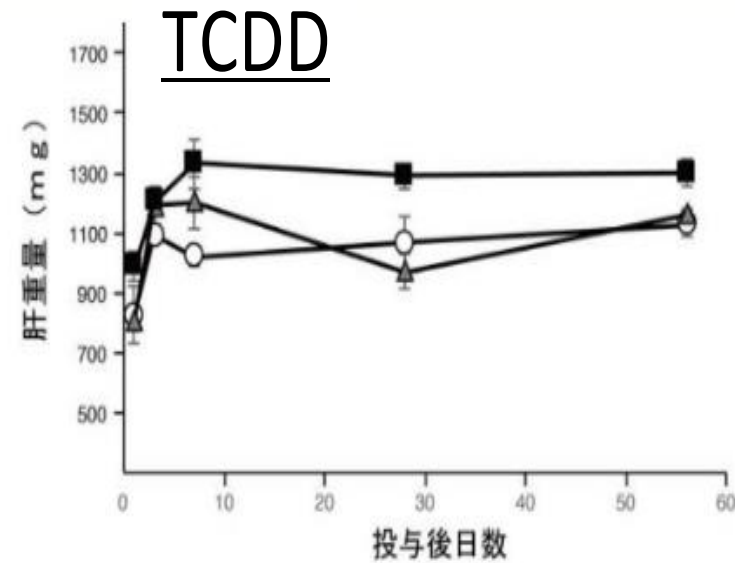
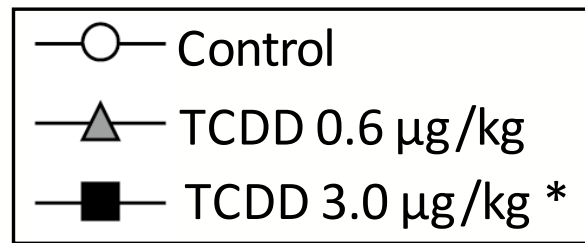
- TCDD、TeBDFの高用量曝露群で有意な低下
- TrBDF、1-PeBDF、TeXDFの曝露群では影響がみられなかった



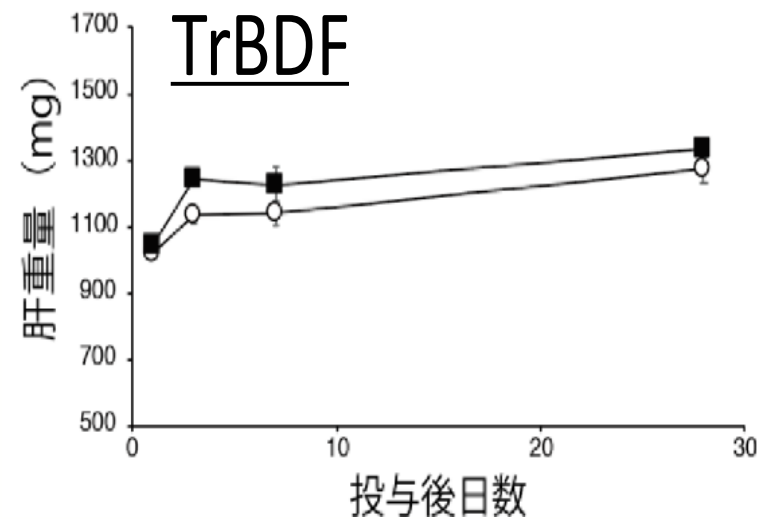
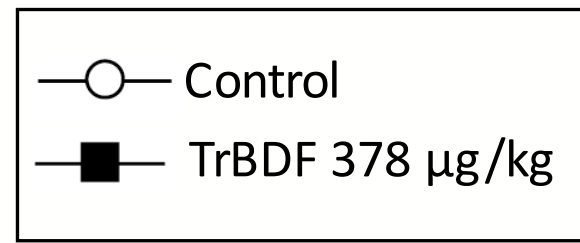
*p<0.05, **p<0.01

成体の肝重量評価

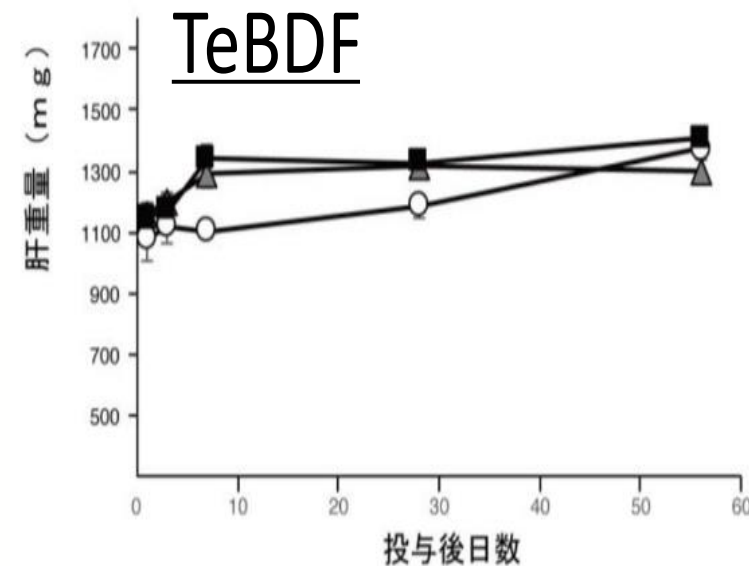
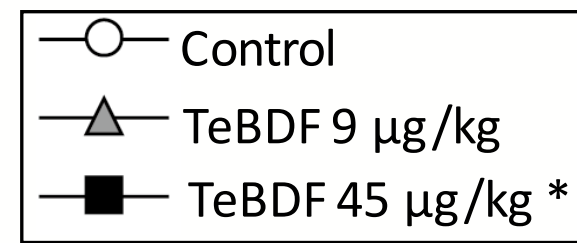
- TCDD、TeBDF、1-PeBDF、TeXDFの高用量曝露群で有意な増加
- TrBDFの曝露群では影響がみられなかった



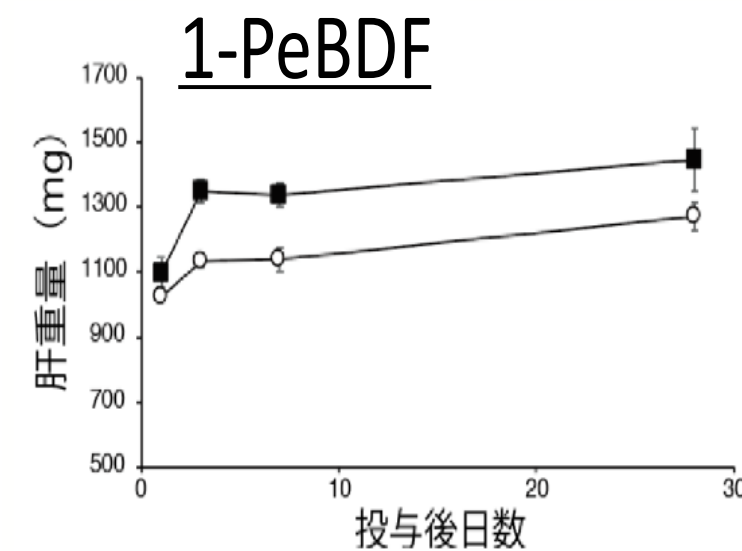
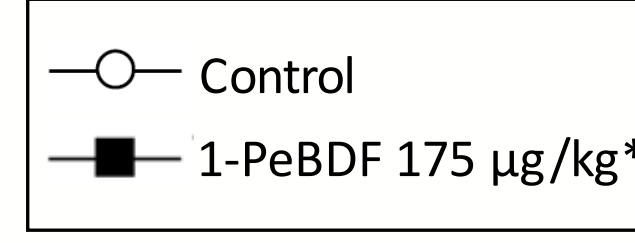
2,3,7,8-TCDD



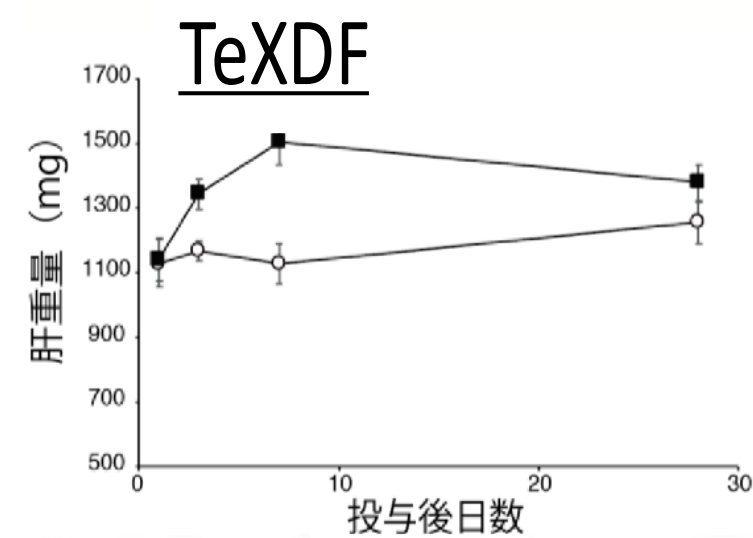
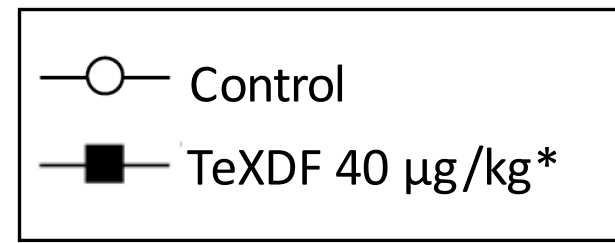
2,3,8-TrBDF



2,3,7,8-TeBDF



1,2,3,7,8-PeBDF

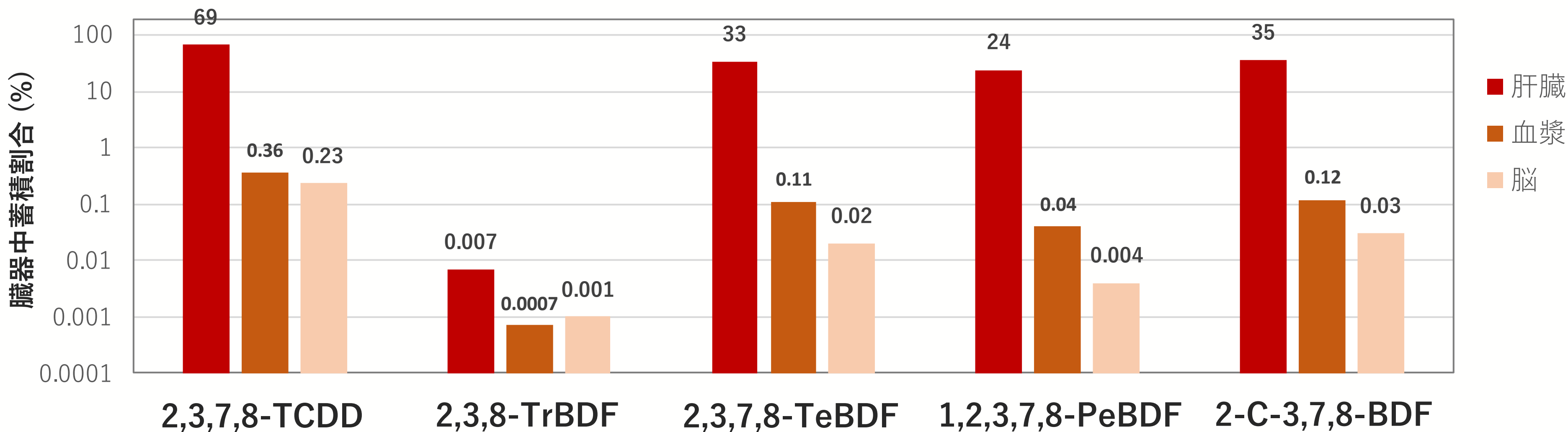


2-C-3,7,8-BDF

*p<0.05

成体における臭素系ダイオキシン類の体内動態

- 臓器中蓄積割合：TCDD>TeBDF≒TeXDF>1-PeBDF>>TrBDF
- 非2,3,7,8位置換体 (TrBDF) は、代謝され、体外排出されている
- 2,3,7,8位置換体は、臓器に蓄積して、毒性影響を及ぼしている



本研究の哺乳類REP

- 臭素化ジベンゾフランのTEF順位：2,3,7,8 > 1,2,3,7,8 > 2,3,8
- 本研究の哺乳類REPは、肝重量変化を指標とするとWHO-TEFとよく一致、行動影響を指標とすると高臭素化体で低い

化学物質名	PCDD/DFs WHO-TEF (2006)*	REP _{CALUX} **	新生仔	成体			
		Mass basis	超音波 発声	新奇探索 行動	肝臓 AhR発現	脳重量 変化	肝重量 変化
2,3,8-TrBDF	-	0.00039***	<0.0079	<0.0079	<0.0079	ND	<0.0079
2,3,7,8-TBDF	0.1	0.14	0.067<0.33	0.067<0.33	>0.067	ND	0.067<0.33
1,2,3,7,8-PBDF	0.03	0.090	<0.017	<0.017	NA	ND	0.017<0.086
2-C-3,7,8-BDF	0.1	0.61***	0.075<0.38	<0.075	NA	ND	0.075<0.38

NA：未評価、ND：不検出

*van den Berg et al. (2006), **Suzuki et al. (2017)、***未発表データ

まとめ

- 臭素化ダイオキシン類の環境排出は、製品ライフサイクルの上流から減少していくものの下流から継続する見込みであり、これらと挙動を共にする粒子状物質の制御が重要である
- 粒子状物質に着目した排出削減やリスク管理を実施するにあたっては、人ではWHO-TEFの応用が妥当であると考えられるが、魚類ではWHO-TEFと共に魚類REPを併用することが望ましい
- 塩素化臭素化ダイオキシン類を例として、臭素化ダイオキシン類以外の臭素系ダイオキシン類の環境排出や哺乳類・魚類毒性が示され、その評価重要度が明らかとなった

環境政策への貢献

－行政が既に活用した成果

環境省・臭素系ダイオキシン類の排出源情報の収集・整理調査検討会への情報提供
H30年度、R1年度検討会における環境省調査施設の選定
家電リサイクル施設における排出実態調査結果の関係業界団体との意見交換

－行政が活用することが見込まれる成果

臭素化ダイオキシン類の排出実態や排出低減に係る実測データは、環境省が検討中の排出抑制対策のとりまとめやストックホルム条約事務局が取り組んでいる「PBDEsに関するBAT/BEPガイダンス」策定に貢献

魚類・哺乳類REPは、WHO-TEFによる臭素化ダイオキシン類のリスク管理をフォロー

国民との科学・技術対話

－講演等

鈴木剛: 国立環境研究所一般公開「春の環境講座」講演会「いらなくなった電気製品はどこに行く？どうなる？」(2018年4月22日、つくば市、参加者749名)

鈴木剛: つくば市立並木小学校つくばスタイル科お仕事先生 特別授業「こわれた電気製品はどこに行く？」(2018年12月17日、つくば市、参加者25名)

G. SUZUKI, H. MATSUKAMI: プラスチックごみ問題に関する国連環境計画シンポジウム 招待講演 (日英同時通訳) 「Heading towards the environmentally sound management of e-waste: Current situation of hazardous chemical emission control in e-waste recycling in Japan」(2019年5月22日、大阪市、参加者200名)

その他 3 件

－ホームページからの発信等

鈴木 剛: 国立環境研究所ニュース38巻4号「電気電子機器の適切な再資源化にむけて: 国内の家電リサイクル施設の調査結果から考える」(2019年10月発行、国立環境研究所ホームページ)

鈴木剛: 資源循環・廃棄物研究センター オンラインマガジン環境, 5月号 循環・廃棄物のけんきゅう「電気電子機器プリント基板の再資源化のあり方～金属資源の回収と臭素化ダイオキシン類の適正処理の両立～」(2020年5月28日発行、国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センターホームページ)