

福島第一原子力発電所 多核種除去設備等処理水の海洋放出に向けた  
海域モニタリングにおける魚試料トリチウム分析値の検証結果について  
(報 告)

**TEPCO**

---

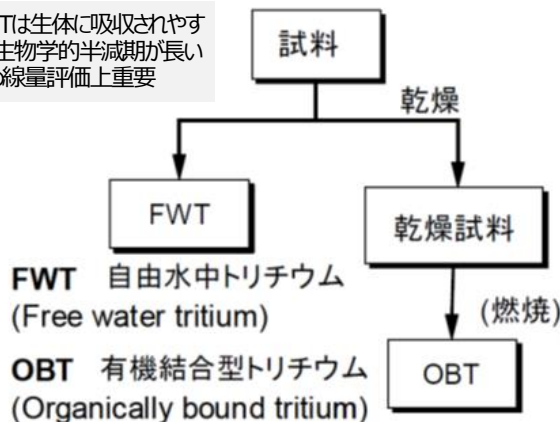
2023年6月8日

東京電力ホールディングス株式会社  
福島第一廃炉推進カンパニー

- ALPS処理水処分に係わる海域モニタリング計画ではモニタリング地点と対象の追加により、魚に含まれるトリチウムの分析を、従来の月1地点に10地点を加え計11地点を対象に実施しております。
- 当社および当社委託先の株式会社化研（以下、化研）では、初めて魚のトリチウムを分析することから、公定法（放射能測定法シリーズ）をベースに分析し、分析結果を十分に実績のある九環協の結果との比較を行いました。
- 昨年5月から11地点の魚の分析に着手した結果、当社分析のFWT※下図、また、当社および化研分析のOBT※下図において、周辺海水のトリチウム濃度より高い濃度で検出されていることを確認しました。当社と化研の分析結果は、従来と同程度の分析値であった九環協の分析結果と異なる傾向でした。
- このため、九環協と当社および化研の当該分析結果を確認した8月以降、当社と化研の分析作業を中断し、3者とは別の専門家に協力いただき、分析方法の相違点をはじめとする原因調査を行ってまいりました。

## 有機物中のトリチウムの測定

OBTは生体に吸収されやすく、生物学的半減期が長い  
ため線量評価上重要



前処理機器

- 魚のトリチウム測定は、FWTと、OBTの2種類を測ります。
- FWTは、魚の体内の水分のトリチウム濃度であり、魚の水分を蒸発させて回収し、測定します。
- OBTは、魚の組織（筋肉等のタンパク質）に含まれる水素原子の一部として含まれるトリチウムであり、組織を燃焼して発生した水を回収し、測定します。燃焼の際に測定に影響をおよぼす不純物が試料へ移行するおそれがあるので回収水の不純物の除去が必要です。
- 魚のトリチウム測定は、対応できる分析機関が限られており難易度が高いです。

- 当社と化研にて測定装置の影響等の調査を実施しました。化研では、調査結果を踏まえて、科学的根拠に照らして合理的であることを確認のうえ、OBTの分析方法（前処理）について、不純物の除去を九環協の方法に見直しました。この方法で、試験的に魚試料を分析し検証した結果、不純物による影響を排除することができ、OBTは検出下限値未満となりました。
- 化研では、九環協の方法をベースとしたあらたな分析手順書に改定し、昨年10月24日から魚のトリチウムの分析を再開しています。
- 化研と同じく分析方法を見直したところ、当社の分析結果は、九環協・化研とは異なる傾向であり、OBTが実際より大きく測定されていると判断しました。
- 魚のトリチウム分析では、非常に微少な量のトリチウムを測定するため、他試料からの汚染混入には十分注意していますが、当社は管理対象区域内で分析を行っていることから、不純物の除去方法の精査を続けるとともに、トリチウムが環境中から混入していることが原因となっている可能性についても検討に加え、調査を継続してまいりました。
- なお、当社の分析対象試料5地点は化研で分析を継続しております。

## 当社での調査および検証が完了したことから、結果について報告

### <調査・検証概要>

- 【アクション1】 九環協の不純物の除去方法・静置時間を適用し、トリチウムの混入の少ないと考えられる構内分析施設のエリアと協力企業の構外施設にて、試験的に分析を実施
- 【アクション2】 分析員の技能の確認も兼ねた、当社とJCACおよび当社と九環協と比較測定の実施

## 2-1. 調査 ～空気中トリチウムの混入～

【アクション1】



- 1F構内の分析室の空気中トリチウム濃度は3～5Bq/L※1と高い環境です。
- 空気中トリチウムの影響調査として、OBT検出の可能性の低い市場魚を用い、構内分析施設のなかでも環境試料のみを扱うエリアでの分析と、空気中トリチウムの低い協力企業の構外施設（TFTC※2）での分析を実施しました。
- 分析の結果、構内分析施設ではOBTが検出され、一方で構外施設（TFTC）では不検出であり、空気中トリチウムの混入の可能性が高いことを確認しました。

※1 空気中湿分の凝縮回収水中のトリチウム濃度（参考）・九環協：～1.0Bq/L ・TFTC ND(0.3Bq/L)

※2 TFTC：東京パワーテクノロジー福島テクニカルセンター

### <構内分析施設> OBTが3試料のうち2試料で検出を確認

試料	試験方法	試料	トリチウム濃度 (Bq/L)	
			FWT	OBT
市場魚*	九環協	1	ND (0.21)	0.35
		2	ND (0.22)	ND (0.29)
		3	ND (0.21)	0.44

### <TFTC> OBTで不検出を確認

試料	試験方法	試料	トリチウム濃度 (Bq/L)	
			FWT	OBT
市場魚*	九環協	-	ND (0.27)	ND (0.27)

\* 市場魚は漁港で水揚げした試料

### 当社における分析方法（見直し後）

分析機関	当社（見直し後）	九環協
不純物の除去方法		
試薬	過マンガン酸カリウム (約1g添加)	過マンガン酸カリウム (約1g添加)
温度	100℃	100℃
時間	28時間以上	7時間/日を4日繰り返す
不純物の残留状態の確認方法		
吸光度	<0.05(200nm付近)	<0.1(200nm付近)
導電率	<10μS/cm	<10μS/cm
pH	中性	中性
化学反応を排除するための方法		
静置時間	1週間	1週間

分析においては、前回までの知見を基に、十分な有機物分解・静置を実施

## 2-1. 原因 ～空気中トリチウムの混入～

【アクション1】

TEPCO

- OBT分析では、試料を燃焼するための前処理として乾燥した試料を粉末状に加工しており、吸湿しやすい形状であるため、OBT濃度への吸湿の影響を確認しました。
- 確認の結果、OBT濃度が高くなる原因として、空気中トリチウム吸湿によるものと判断しました。

※空気中湿分の凝縮回収水中のトリチウム濃度（参考）・九環協：～1.0Bq/L ・TFTC ND(0.3Bq/L)

<OBT前処理工程（凍結乾燥後～燃焼前）> 乾燥試料が約60分間 分析施設の空気と接触



・凍結乾燥



・乾燥試料粉砕



・粉末状の乾燥試料(200g)



・燃焼装置の受け皿に試料を1回あたり約10gをセット



・燃焼装置の下部を取付、密閉 → 燃焼

20回実施

<吸湿影響の確認試験> 空気中の水分付着量の増加に伴い、OBT濃度が上昇

魚の乾燥試料の静置時間	水分付着量(g)	OBT測定結果 (Bq/L)
18時間静置	22.3	0.57
4時間静置	7.3	0.30
0.5時間静置	0.57	ND (<0.26)





## 2-2. 対策 ～空気中トリチウムの混入～

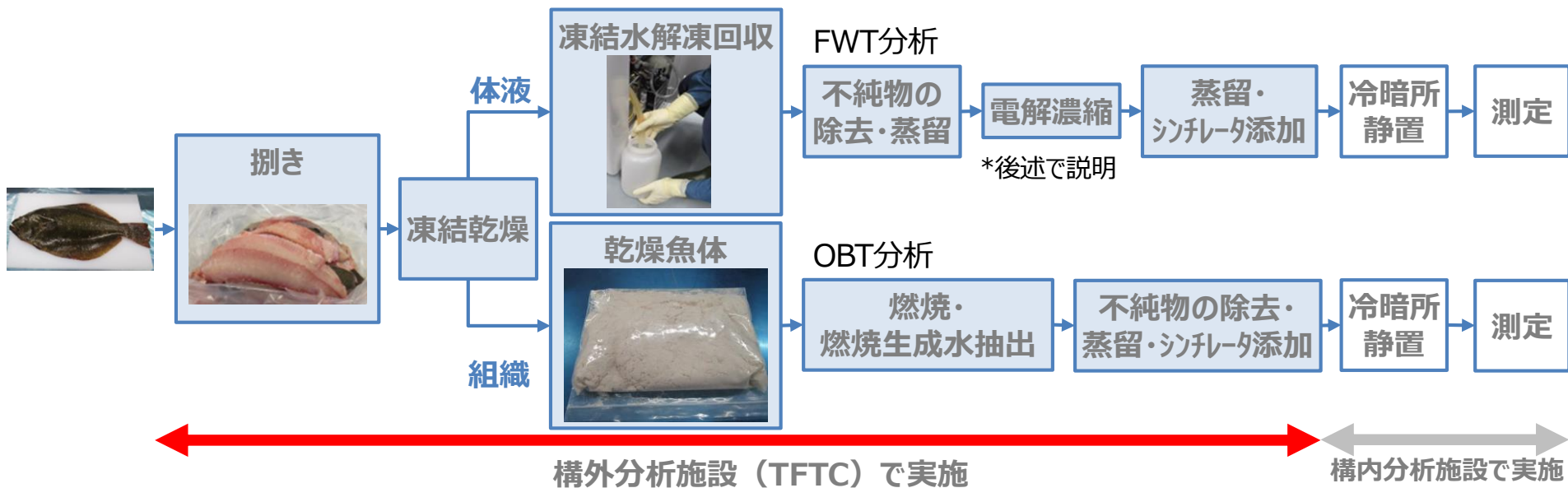
【アクション1】

TEPCO

- 調査項目の精査、調査の進捗を実績のある社外分析機関や魚試料のトリチウム分析の専門家に相談したところ、空気中トリチウム濃度の混入の可能性が高いため「空気中トリチウム濃度が低い構外に分析施設を設けるべき」との意見をいただきました。
- 空気中トリチウムの混入対策として、1F構内分析施設の分析施設を対象に空調設備の改造を設計・施工した結果、十分な効果を得ることができなかつたため、協力企業の構外施設（TFTC：東京パワーテクノロジー福島テクニカルセンター）にて魚トリチウムの前処理作業を実施することによって分析を再開します。

### <魚試料のトリチウム分析の流れ>

- 前処理工程は、空気中のトリチウム濃度が低いTFTCで実施
- 測定は、既存の測定装置を利用するために1F構内の分析施設（化学分析棟）で実施
  - 1F構内の分析施設は、TFTCにて前処理ができない場合のバックアップとして、空気中トリチウム濃度の低減対策を講じる措置を準備する



- 魚試料中のOBTが過大評価となった要因についての多角的な調査の結果、前処理プロセスのうちの**物理的対策**（静置時間、空气中トリチウムの混入による過大計測）と**化学的対策**（不純物による偽計測：還流操作）が不足していると特定しました。
- 物理的対策は作業時間、場所の見直しにより対応が可能です。一方、化学的対策は人的要素により結果が異なるため、作業内容の検証を実施しました。

### OBT過大評価の要因

#### ■ 物理的対策

##### <対策>

- ケミカルルミネッセンスの排除のため、試料測定前の静置時間を延長。
- 空气中トリチウムの混入を抑制するために作業場所を変更。  
⇒**人間系を介さない対策**なので、妥当性評価は不要。

#### ■ 化学的対策

##### <対策>

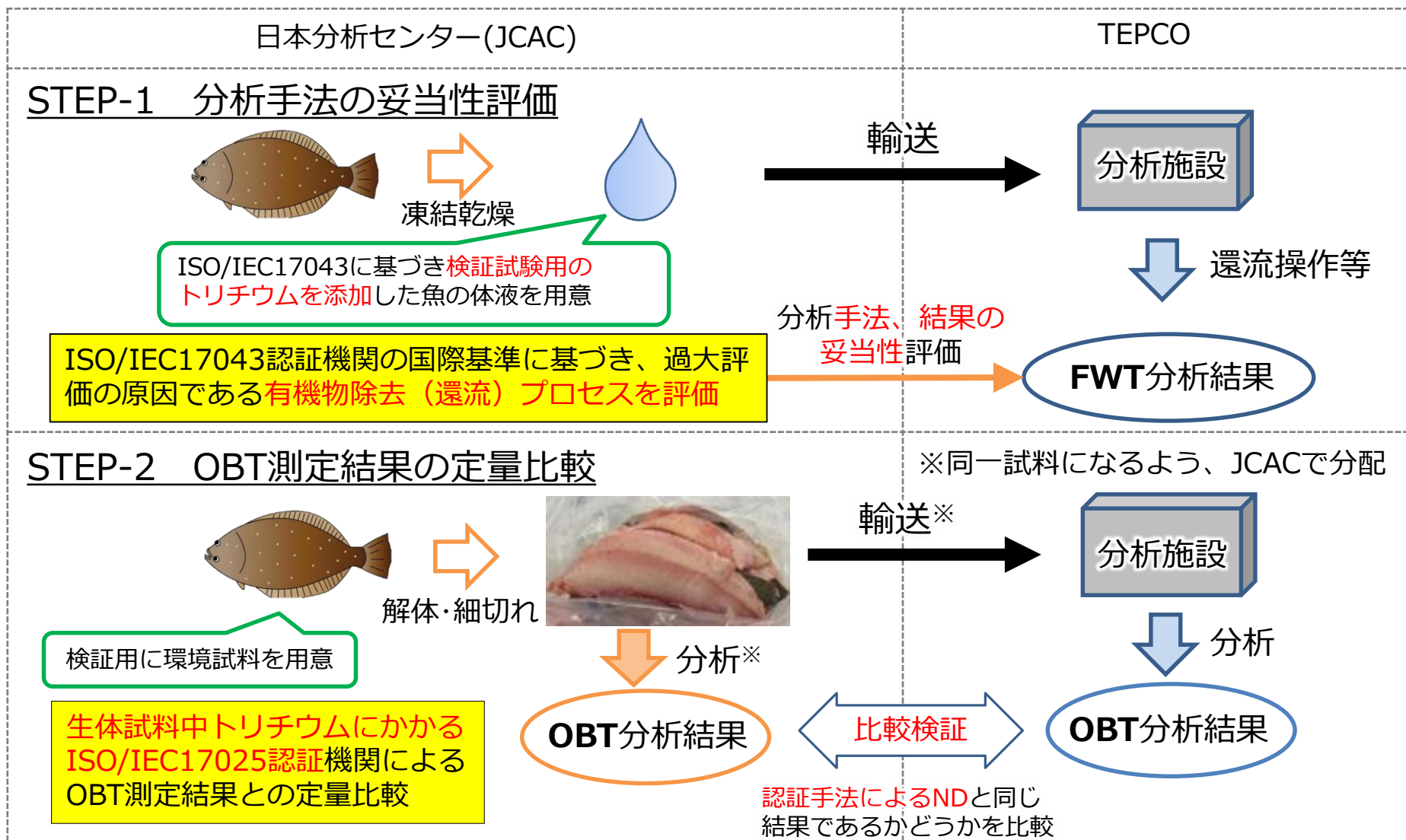
- 還流工程が十分であることを吸光度のスペクトル高さで判断。  
⇒**人間系による判断**があり、各分析室の工夫（ノウハウ）が適切かどうか、技能試験の能力を持つ社外機関に検査いただき、還流操作が適切であることの妥当性検証を実施する。

## 3-2. 妥当性検証の内容

【アクション2】

TEPCO

- 過大評価の原因が排除されていることを、国際基準の評価にて検証：STEP-1
- 魚試料分析の国際基準を満足する機関との比較評価にて、OBT分析の妥当性を検証：STEP-2



\* ISO/IEC 17025：試験所及び構成機関の能力に関する一般要求事項。ISO/IEC 17043：適合性評価-技能試験に対する一般要求事項



### 3-3. 妥当性検証の結果

【アクション2】

TEPCO

- ISO認証機関におけるJCACによる確認の結果、当社の魚トリチウムの分析手法は妥当であると評価されました。

< 評価結果：STEP-1 > ISO/IEC17043認証機関のJCACが評価

試料名	FWT(Bq/L)		En数	JCAC判定
	付与値(JCAC)	報告値(当社)		
分析比較試料*	3.66±0.093	3.57±0.16	-0.2	良

\* JCACが付与値を確定した試料

< 評価結果：STEP-2 > ISO/IEC17025認証機関のJCACと比較

試料名	分析項目	当社	JCAC
環境試料*	OBT(Bq/L)	ND (<0.27)	ND (<0.25)
	OBT(Bq/kg生)	ND (<0.040)	ND (<0.036)

\* JCACにて分割した環境試料

上記2点から、当社における改定した魚試料のトリチウム分析は、妥当であると判断

## 4. 比較測定

【アクション2】

TEPCO

- 当社での分析再開にあたり、実際の海域モニタリング試料を用い、九環協との比較測定を実施しました。
- 当社の分析値は、九環協の分析値と同等であり、当社の分析が妥当であることを確認しました。

<比較測定結果> 当社の改定した分析手法※での分析値が妥当であることを確認

※不純物の除去方法・確認方法および静置時間の見直し、前処理工程をTFTCで実施

試料名	採取日	分析項目	当社	九環協
T-S8 ヒラメ	2022/12/8	FWT(Bq/L)	ND(0.084) *	0.080±0.0094
		OBT(Bq/L)	ND(0.27)	ND(0.28)
T-S8 ヒラメ	2022/12/22	FWT(Bq/L)	ND(0.081) *	0.068±0.011
		OBT(Bq/L)	ND(0.27)	ND(0.27)

\* 電解濃縮装置を導入し、検出下限値を0.4Bq/Lから0.1Bq/Lに下げて分析を実施

今後、再開する当社のFWT分析においても電解濃縮を適用する

OBT分析が過大評価となった要因について対策が完了し、分析の妥当性が確認されたため、  
**当社の魚のトリチウム分析を6月採取試料から再開する**

---

## 參考資料

調査・試験のデータを次ページ以降に掲載

### A. 分析方法の詳細確認

施設レイアウト、分析手順

### 参 考

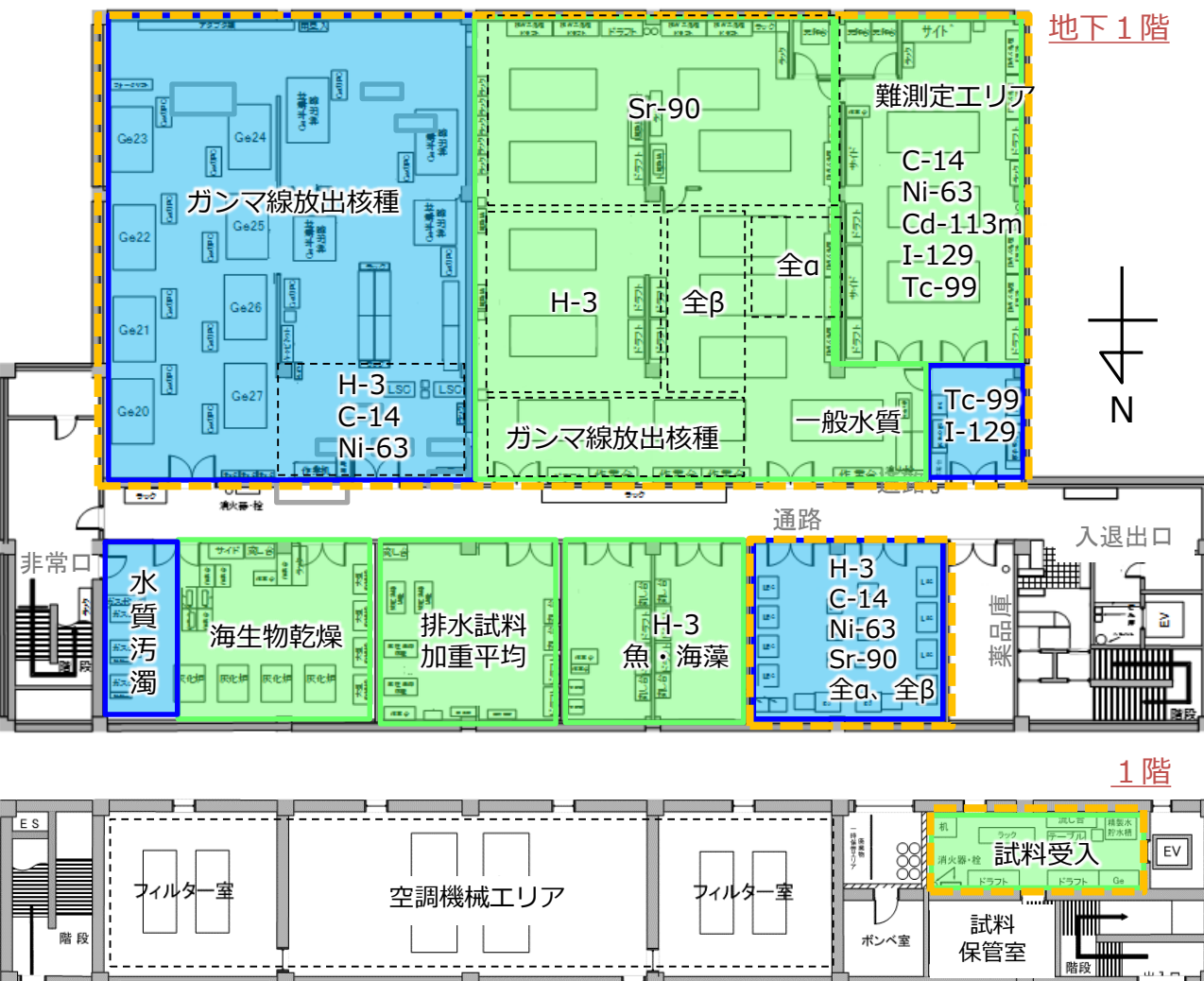
---

- ・ 1F構内分析施設の雰囲気トリチウム濃度
- ・ 電解濃縮装置の導入

# A-1. 1F構内分析施設のレイアウト

<再掲>  
 ・第39回環境モニタリング評価部会(2022年12月6日)資料  
 ・第104回特定原子力施設監視・評価検討会(2022年12月19日)資料

- 低濃度試料を扱うことを前提に設計しているが、サブドレン浄化水、地下水バイパス水、ALPS処理水は $1E+2 \sim 1E+6 Bq/L$ のトリチウムを含む（魚のトリチウム： $1E-2 \sim 1E-1 Bq/L$ ）
- 地下通路北側は、上記試料水の処理は行わない



地下1階 全 域 : 環境試料取扱エリア  
 海域試料を含む  
 (黄色点線枠) : ALPS処理水取扱エリア  
 (緑色) : 前処理エリア  
 (青色) : 測定エリア

- 低放射能濃度試料を扱うための措置
- 計測室を地下に設置、環境線量による影響を低減（50cm厚コンクリート等）
  - 試料持込は、海水等あらかじめ低放射能濃度であることが明確な試料に限定  
 ※ 濃度不明試料は構内他分析室へ持込
  - 入室時には、身体・物品サーベイを徹底
  - 室内の定期的な汚染確認を行い、出入口の床面など必要に応じて清掃を実施

	面積 (m <sup>2</sup> )
分析エリア	936
試料保管エリア	24
空調機械エリア	207
通路他	333
建屋延床面積	1,500

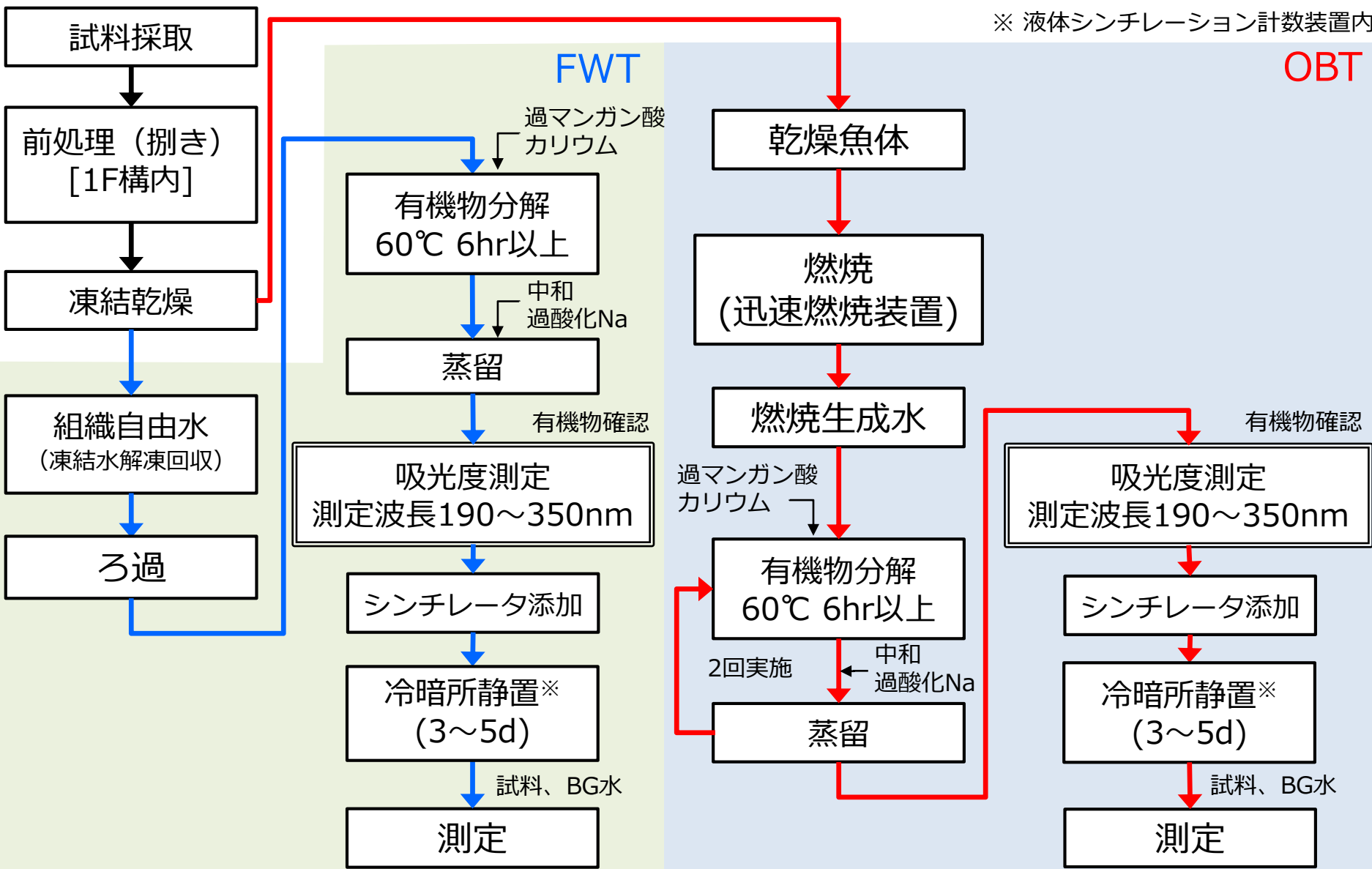


# A-2. 1F構内分析施設の分析手順

<再掲>  
 ・第39回環境モニタリング評価部会(2022年12月6日)資料  
 ・第104回特定原子力施設監視・評価検討会(2022年12月19日)資料

※ 液体シンチレーション計数装置内

OBT

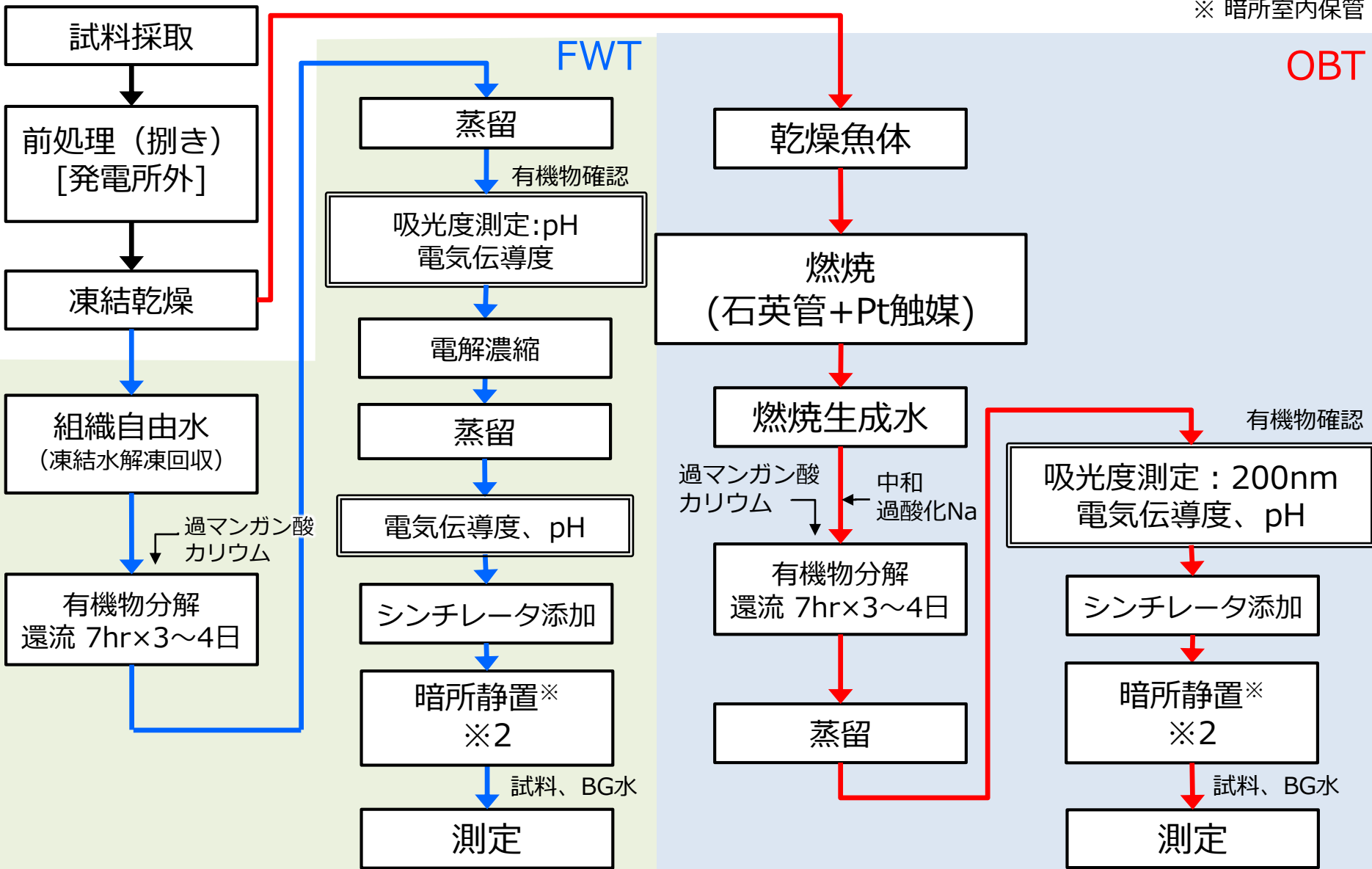


# A-3. 九州環境管理協会の分析手順

<再掲>  
 ・第39回環境モニタリング評価部会(2022年12月6日)資料  
 ・第104回特定原子力施設監視・評価検討会(2022年12月19日)資料

※ 暗所室内保管

OBT



※2 電解濃縮を実施する場合は20mL低拡散ポリエチレンバイアルを使用し、6hr以上静置。電解濃縮を実施しない場合は100mLテフロンバイアルを使用し、7d以上静置。

## A-4. 有機物分解の条件

<再掲>

・第39回環境モニタリング評価部会(2022年12月6日)資料

・第104回特定原子力施設監視・評価検討会(2022年12月19日)資料

- 九州環境管理協会：還流冷却器を使用：KMnO<sub>4</sub> 1g添加、100℃\_7時間/日×4日
  - 1F構内分析施設：ナス型フラスコを密栓して使用：KMnO<sub>4</sub> 0.3g添加、60℃\_6時間以上
  - 化研：還流冷却器を使用：KMnO<sub>4</sub> 1g添加、100℃\_8時間
- (参考) 公定法※：KMnO<sub>4</sub> 試料70mLに対し0.5g添加、100℃\_4h以上



九州環境管理協会



1F構内分析施設

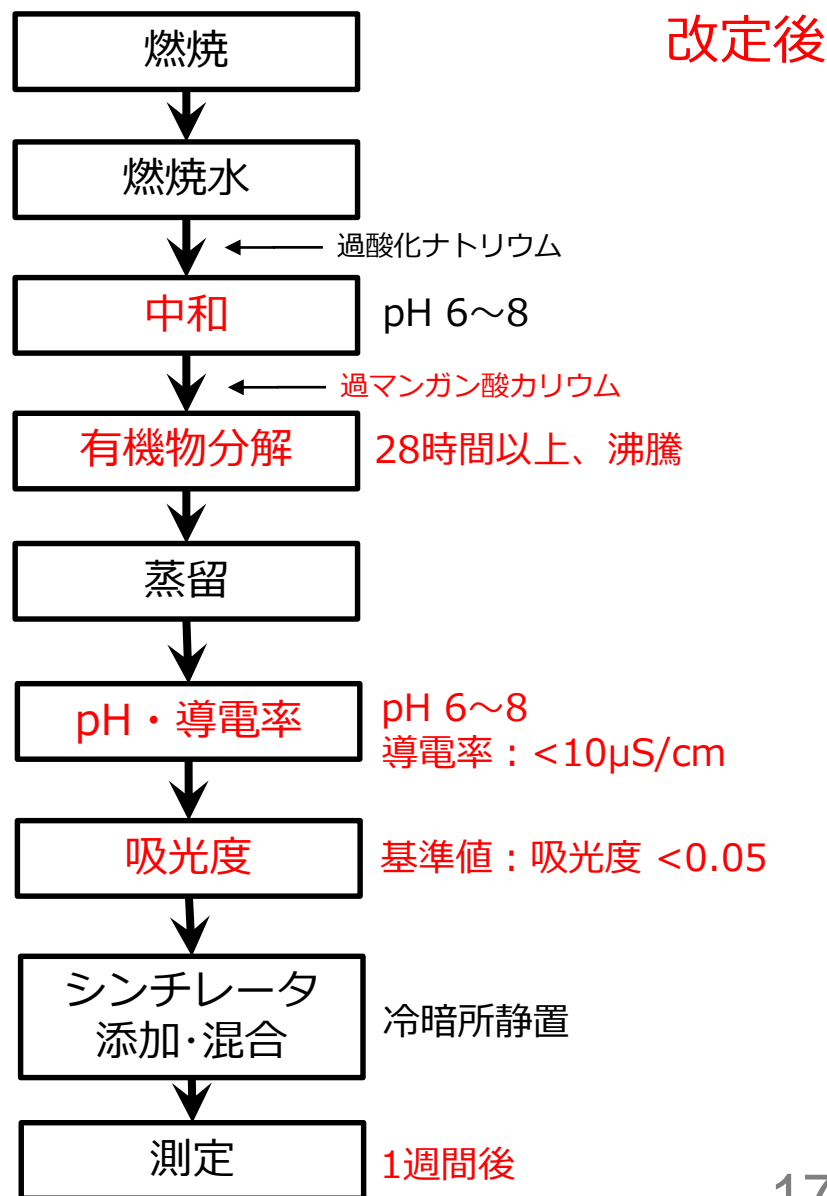
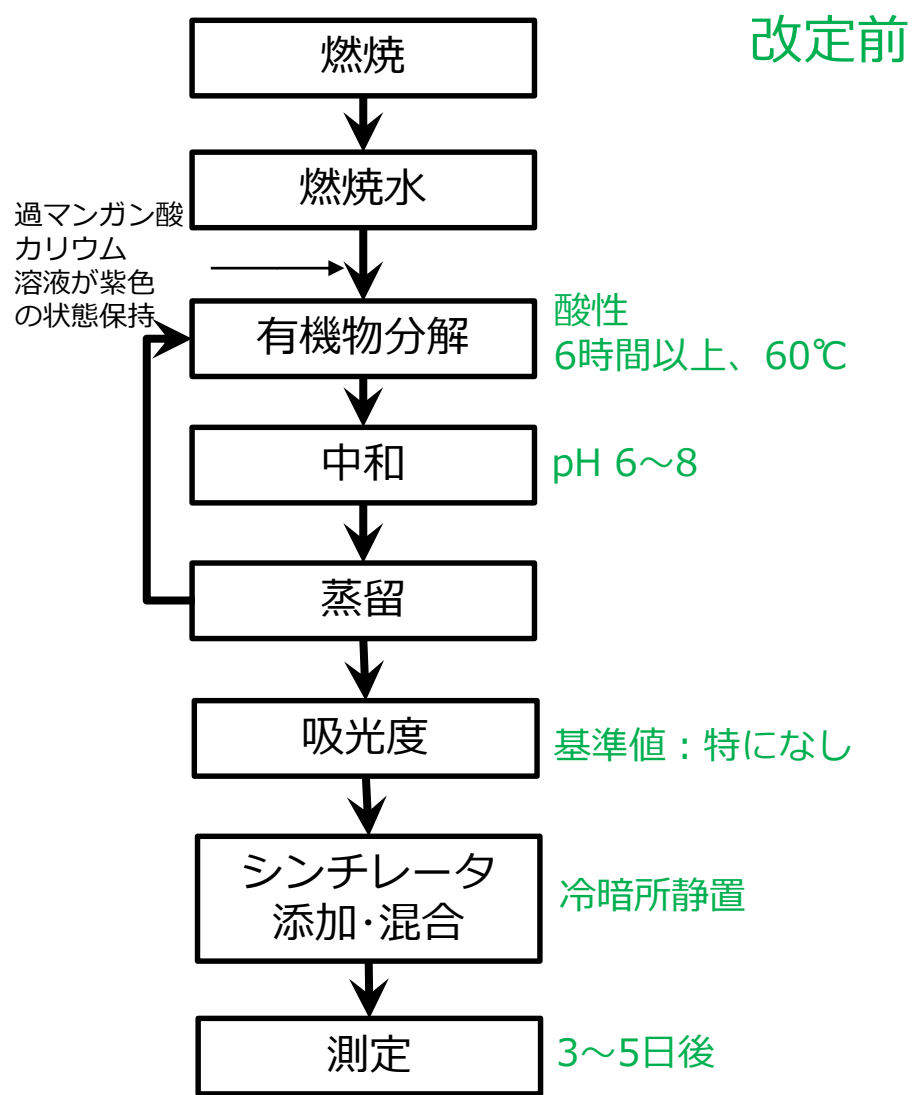


化研

※ 放射能測定法シリーズ9 トリチウム分析法（平成14年改訂）文部科学省

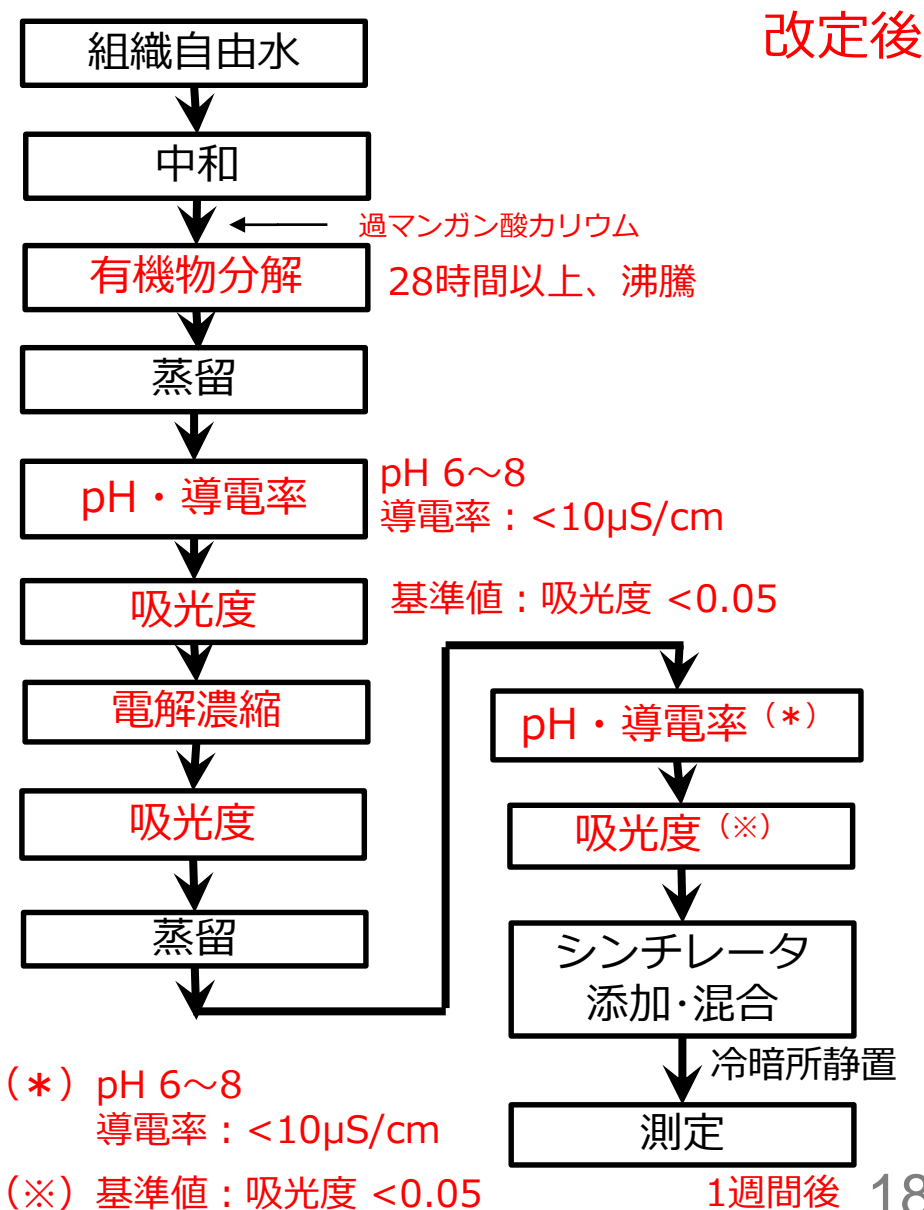
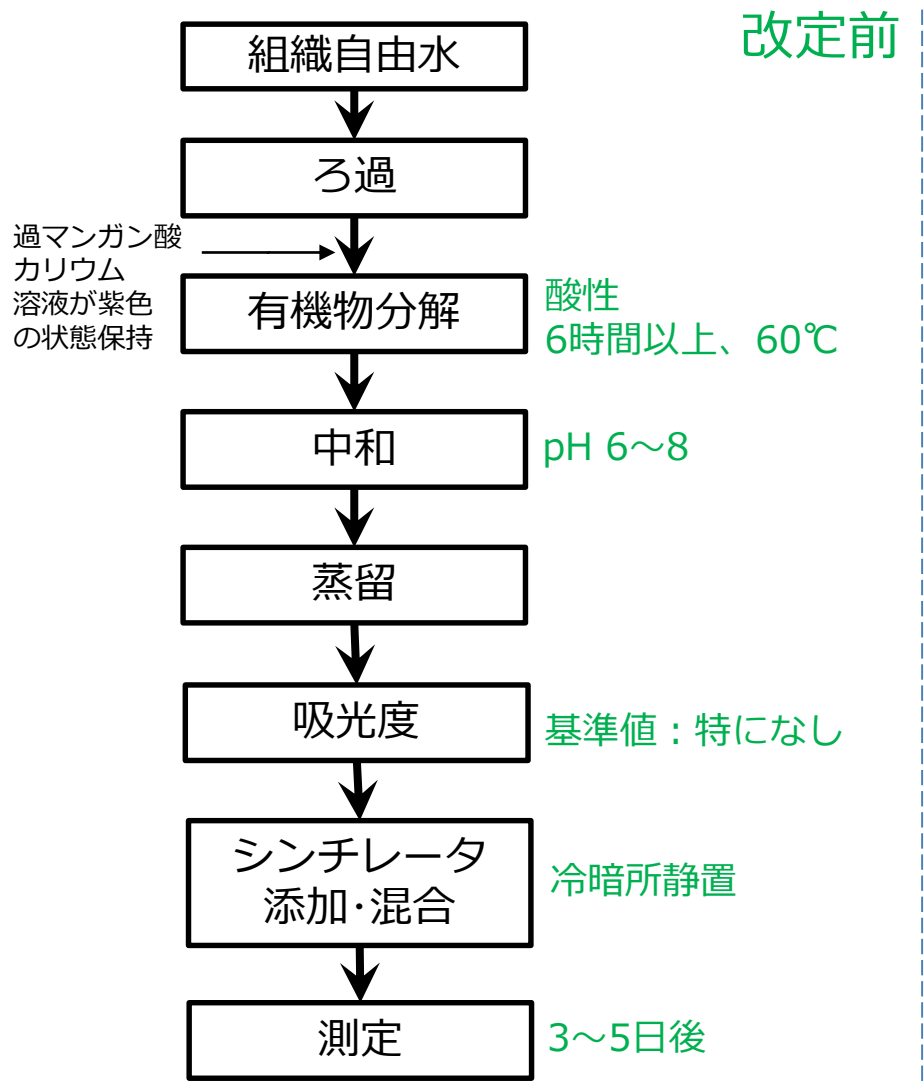
# A-5. 当社（協力企業の構外施設：TFTC）でのOBTの分析手順の概要

## ■ 九環協の方法をベースとした分析手法へ改定



# A-5. 当社（協力企業の構外施設：TFTC）でのFWTの分析手順の概要

## ■ 九環協の方法をベースとした分析手法へ改定





## 【参考】1F構内分析施設及びTFTCの雰囲気トリチウム濃度

- 各作業場所にて除湿器を用いて凝縮水中のトリチウムを測定
- 九環協：ND(0.4Bq/L)～1Bq/L、化研：0.7Bq/L程度に比べると1F構内分析施設は高め

No.	採取エリア		魚のトリチウム分析 作業内容	測定結果 (Bq/L)	備考
①	前処理 エリア	農・畜・海産物 前処理室	<ul style="list-style-type: none"> <li>・魚捌き作業</li> <li>・凍結乾燥</li> <li>・有機物分解</li> </ul>	3.6	採取日：10/8～10/9 前処理：10/11 測定：10/12
②		土試料前処理室	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃焼</li> </ul>	3.3	採取日：10/7～10/8 前処理：10/8 測定：10/9
③		試料分析室1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・蒸留（FWT及びOBT）</li> <li>・吸光度測定</li> </ul>	2.9	採取日：10/9～10/10 前処理：10/11 測定：10/12
④		試料分析室2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ろ過</li> </ul>	4.3	採取日：10/5～10/7 前処理：10/8 測定：10/9
⑤	測定 エリア	計測室1	(作業なし)	5.3	採取日：10/10～10/11 前処理：10/11 測定：10/12
⑥		計測室2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冷暗所静置</li> <li>・LSC測定</li> </ul>	2.8	採取日：10/11～10/12 前処理：10/12 測定：10/13
⑦	TFTC	化学分析訓練室	<ul style="list-style-type: none"> <li>・魚捌き作業</li> <li>・凍結乾燥</li> <li>・燃焼</li> <li>・ろ過</li> <li>・有機物分解</li> <li>・蒸留（FWT及びOBT）</li> <li>・吸光度測定</li> </ul>	ND(0.33)	採取日：12/22 前処理：12/23 測定：12/30

# 【参考】1F構内分析施設の雰囲気トリチウム濃度（採取エリア）

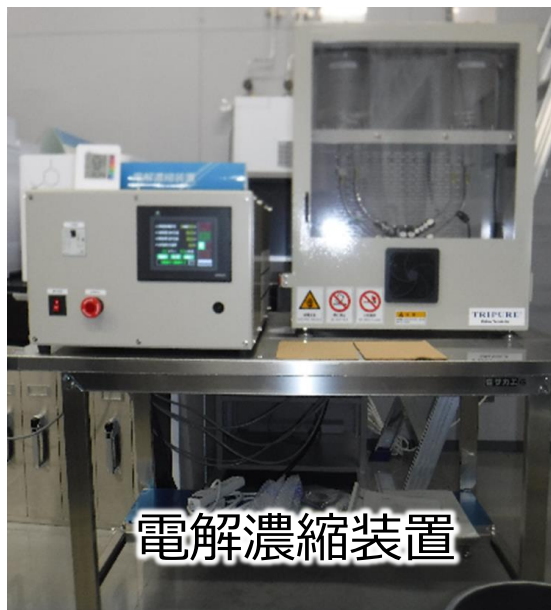
<再掲>

- ・第39回環境モニタリング評価部会(2022年12月6日)資料
- ・第104回特定原子力施設監視・評価検討会(2022年12月19日)資料



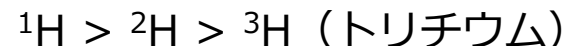
: ALPS処理水取扱エリア
  : 前処理エリア
  : 測定エリア

- 当社のFWT分析にも電解濃縮装置を導入して分析を再開します（九環協および化研の分析では適用済）。
- 電解濃縮装置を導入することで、検出下限値を0.4Bq/Lから0.1Bq/Lに下げて分析が可能になります。



## 電気分解による濃縮について

試料水を電気分解すると、水素ガスと酸素ガスが発生しますが、水素ガスになる際の反応速度は



であり、**トリチウム水は電気分解されにくい**という性質があります。この性質を利用し電気分解によってトリチウムを濃縮します。

- 約3日間をかけて500mLの蒸留した試料水を60mLに電解濃縮を実施
- トリチウム濃度は約5倍に濃縮