

2021.03.01 成果報告会

文部科学省 国家課題対応型研究開発推進事業
英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業

**マルチフェーズ型研究教育による分析技術者人材育成と
廃炉措置を支援加速する難分析核種の即応的計測法の実用化
に関する研究開発（2015後半～2019：5カ年） 2014半年(FS)**

（代表）福島大学

（再委託）福島高専、福島県環境創造センター、日本原子力研究開発機構、
海洋研究開発機構、(株)パーキンエルマージャパン、(株)化研

1. 研究目標、全体計画
2. 得られた成果と目標との関係性（当初想定通りの成果か目標を上回る成果か）
3. 成果の新規性、革新性
4. 研究の効果（プログラムに応じて、東電1F廃炉への効果、原子力の基礎基盤の強化への効果、人材育成等を記載）
5. 今後の発展の方向性

1

1-1. 実施項目

教育

（エフォート67%）

（1）基盤教育

- ①分析技術者養成（福島大学、JAEA、環境センター、福島高専、パーキンエルマー、JAMSTEC、化研）
- ②共通教育（福島大学、福島高専）
- ③現職専門家講習（福島大学）

研究

（エフォート33%）

（2）質量分析に関する研究 （20%）

- ①ICP-MSに関する開発（福島大学、パーキンエルマー、福島高専）
- ②TIMSに関する開発と人材育成（福島大学、JAMSTEC、化研）
- ③放射性同位元素を用いる実証試験（JAEA、化研）

（3）放射能計測に関する研究 （3%）

- ①公定法試験（環境センター、化研）
- ②迅速化開発（環境センター）

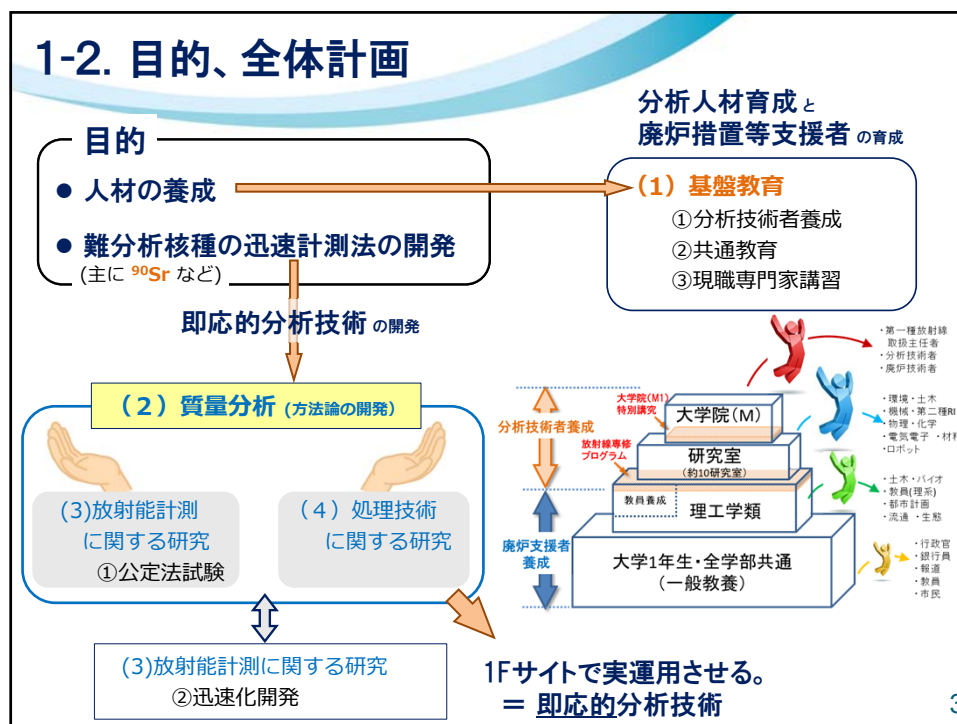
（4）処理技術に関する研究 （10%）

- ①前処理技術の開発（福島高専）
- ②吸着剤の開発（化研）

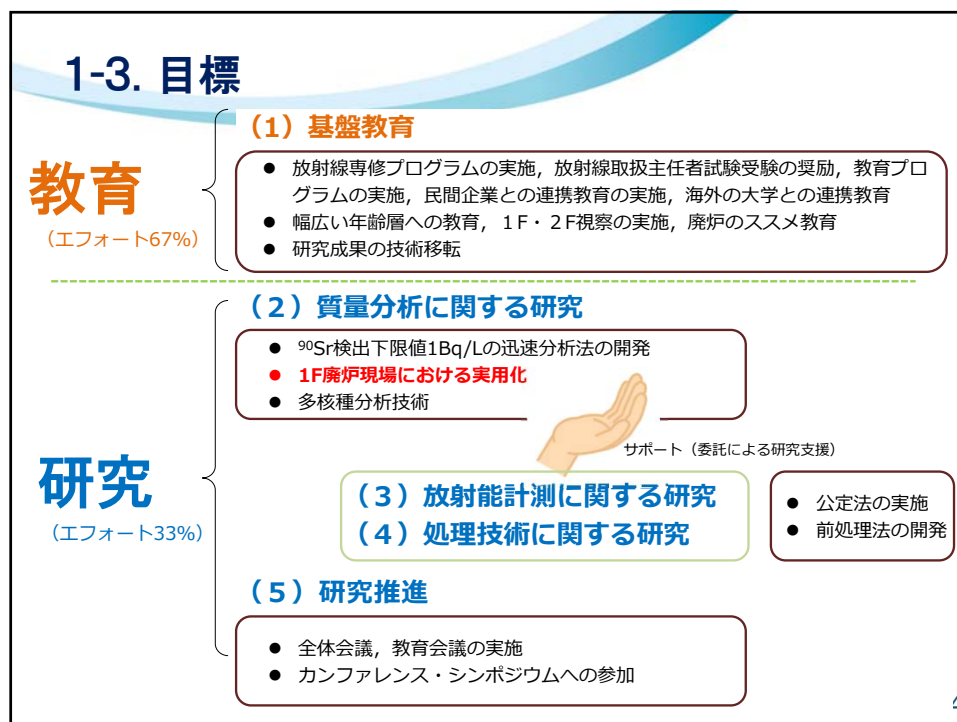
（5）研究推進

2

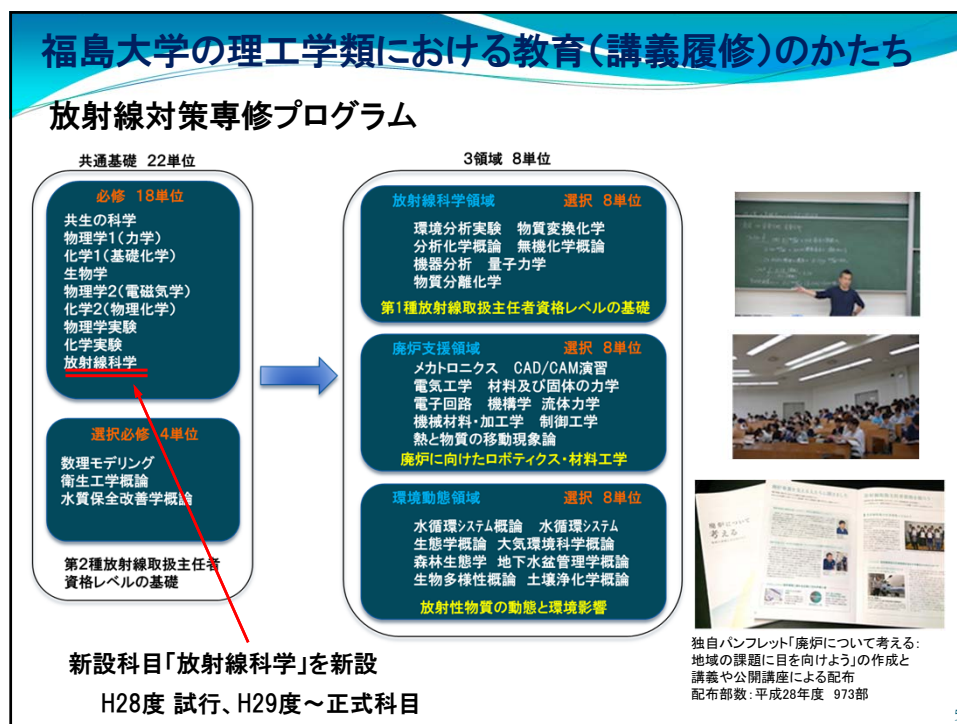
2



3

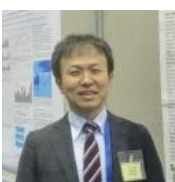


4



5

教員スタッフの体制強化 ～客員教員(H27～)の拡充～

客員教授	客員教授	客員教授	客員准教授
			
Prof. T. Johnson (コロラド州立大学環境放射 線保健科学部) 専門：放射線保健物理学	Prof. T. Kato (コロラド州立大学環境放射 線保健科学部) 専門：放射線生物学	植頭 康裕 先生 (日本原子力研究開発機構) 専門：放射線防護 核種モニタリング 内部被ばく手法の開発	古川 真 氏 (パーキンエルマー・ジャパン・ シニア研究員) 専門：ICP質量分析 プラズマ発光
↓			
			

6

教育

2. 得られた成果と目標との関係性

(当初想定通りの成果か目標を上回る成果か)

(1) 基盤教育

◆放射線対策科学専修プログラム (37科目からなるパッケージ)

	受講者数 (延べ人数)	放射線科学 (2017新設科目) 受講者数
2016	2894	—
2017	2933	23
2018	2802	29
2019	1726	12
合 計	10355	64

※2019年度からカリキュラム変更

※理工学類(学部)1学年 180名×4学年

※数理情報, 経営工学, 生物環境, 社会計画, 心理・
生理, 機械, 電気電子, 物質科学, 教員養成

目標を上回る成果

◆放射線取扱主任者試験 (国家資格)合格者

	第1種	第2種	合計
2016	1	8	9
2017	1	7	8
2018	1(修)	10	11
2019	0	1	1
合 計	3	26	29

想定通りの成果

7

7

マルチフェーズ型人材育成と教育プログラムの実施(代表/再委託先)



専門教育(写真: ダメージ
DNA分析の実験指導)



基礎教育・共通教育
(写真: 共生システム論)



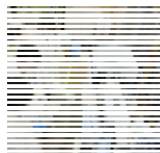
講演会
(写真: 特別シンポジウム)



実務者教育(写真: 東京電
力・東京パワーテクノロジー)



学生への管理区域内での講習
(写真: JAEA・原科研)



放射線障害防止法の講義
(写真: 放射対策: JAEA)



放射線科学の講義
(写真: 管理測定: JAEA)



学生に対する前処理の講習(写真: 化研)



学生へのクリーンルーム実習と同位体比分析の講習
(写真: JAMSTEC・横須賀本部)



8

8

マルチフェーズ型人材育成と教育プログラムの実施(代表/再委託先)



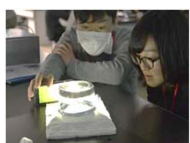
福島高専



高専生との分析技術の合同セミナー
(写真: 福島大-福島高専-富山高専-民間企業)



高専-福島大との共同教育
プログラムのための事前学習
(写真: 放射線計測とは)



高専-福島大との共同教育
プログラムの実施
(写真: 演示実験、放射線を見る)



学生に対する緊急時分析に関する考え方・コンタミ防止の実習(写真: 福島県環境監視センター・オフサイトセンター/相馬)



パーキンエルマー



学生に対する質量分析装置の講習会・解体実習
(写真: パーキンエルマー)



福島県環境創造センター



学生に対するサンプリング講習(写真: 福島県環境創造センター・三春)



9



福島県教育委員会



教育現場での放射線教育についての講演・研修会
(写真: 福島県教育庁)



福島県立医科大学



サイクロトロンと医療における
RI製薬製造の現場視察・説明
(写真: 福島県立医科大学)



東北大学



サイクロトロンでの学術利用
(写真: 東北大学)

海外の大学との教育の連携



(英)



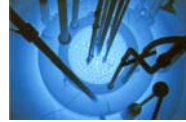
海外研究機関での同位体比分析の研修・AMS実習
(写真: SNERC・福島大)



(米)



海外研究機関での実習と実験用原子炉体験
(写真: コロラド州立大学・福島大)



UNIV (米)



海外研究機関での吸着実験と α 核種の取り扱い実習
(写真: ネバダ州立大学・福島大)



(独)



海外研究機関での学生受入
(写真: ハノーバー大学・福島大)



University of Glasgow (英)



海外研究機関での教員・学生交流
MOU締結 (写真: グラスゴー大学・福島大)

10

民間企業による実践的人材育成 / 他のPJとの連携

基礎講座：計測の基礎の基礎～皆さんは何をはかっていますか？その値は本当に大丈夫ですか？～

sartorius



(ザルトリウス社)
マイクロピペッターの
原理と構成、使用方法
に関する講習

METTLER TOLEDO



(メトラートレド社)
電子天秤の原理と構成、
使用方法に関する講習

HORIBA



(堀場製作所社)
pHメータの原理と構成、
使用方法に関する講習

ジーエルサイエンス株式会社



(ジーエルサイエンス社)
分析カラム製造方法、評価、
ならびにガラスの製造方法に
関する講習・見学

廃止措置に関する講義：



(東京電力)
1F廃止措置の現状と分析における
技術的困難に関する講演



福島高専



(福島高専・全国高専)
ハンフォードサイト視察・UCバークレー見学の
共同実施(低学年 B3以下)



京都大学 原子炉実験所



(京都大学原子炉実験所)
Sr-90 TIMS共同研究の締結
定期的情報共有



東京大学 平田先生・松崎先生→質量分析

11

11

◆(単発の)教育プログラム 企画数および参加人数

	教育プログラム 企画数	参加人数 (高専生の数)
2015	11	195 (49)
2016	33	501 (34)
2017	35	490 (33)
2018	28	424 (18)
2019	27	438 (17)
合 計	134	2048 (151)

※(単発の)教育プログラムは、複数日にわたるものも
1回として数え、参加者もプログラムごとに数える。

※学類(学部)の学生全員が参加(履修)する必須行事は除く。

※1年間の祝休日数 126日、労働日数(目安) 240日

◆1F視察の参加人数

	実施回数	参加人数
2015	—	—
2016	2	35
2017	2	40
2018	3	47
2019	2	29
合 計	9	151

※学生、職員を含む

目標を上回る成果

当初想定通りの成果

12

12

◆卒論・修論で実施したテーマ数

廃炉人材育成プログラムに関連する研究室(9研究室)で実際に学生が関連するテーマを実施した件数

	テーマ数
2016	25
2017	26
2018	31
2019	32
合 計	114

※学年の年次進行により重複あり。

※卒論・修論・博士の教務課提出のものを含む。

◆学会発表実績

廃炉人材育成プログラムに関連する研究室における発表数

	学会等での発表	学会誌・雑誌等での論文掲載
2016	47	9
2017	55	11
2018	63	10
2019	64	8
合 計	229	38

当初想定通りの成果

目標を上回る成果

13

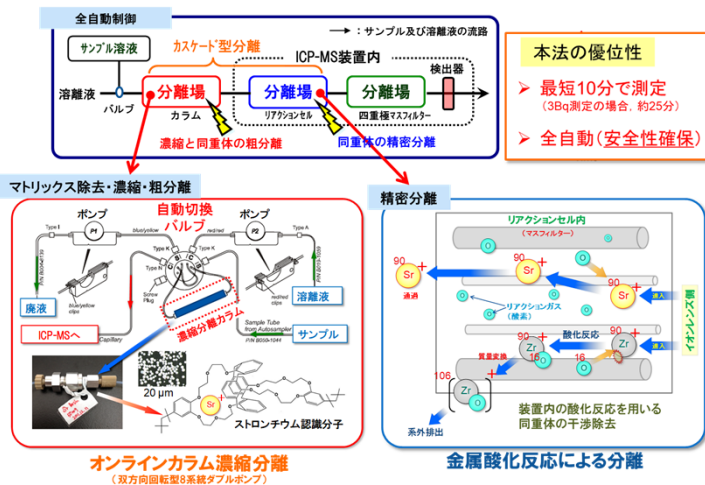
13

研究

2. 得られた成果と目標との関係性

(当初想定通りの成果が目標を上回る成果か)

(2)-①高周波誘導結合プラズマ質量分析 (ICP-MS) に関する開発



14

14

1. 添加ガスによる増感効果

M. Furukawa, Y. Takagai, *Anal. Sci.*, 34, 471-476 (2018)

2. オンライン内標準補正法

古川真, 松枝誠, 高良慶隆, *分析化学*, 66, 181-187 (2017)

3. スプリット流路を利用した定量と回収率の同時測定法

M. Furukawa, Y. Takagai, *Anal. Chem.*, 88, 9397 (2016)

4. 自動計算ソフトウェアの開発ならびに付帯装置の開発

**30分以内に
安定した高感度分析
DL<1Bq/L (0.2ppq)
を自動分析。
どのような作業者が分
析しても、安定した分
析結果が出せること。**

目標を上回る成果

15

純β線放出核種の多核種同時分析法の開発

目標を上回る成果

3. フローシステムデザイン

開発① ガス流路自動切換バルブ

- ICP-MSから供給されるネブライザーガス (Ar+N₂) の流路を、超音波ネブライザー側または同軸ネブライザー側に自動で切り換える。
- ガス流路切り換えに伴うガス圧の変動を抑え、ICP-MSのプラズマの消灯を防ぐ。

開発② ハイブリッドチャンバー

- サイクロンチャンバーのヘッド部分に取り付けたT字インジェクターにより、超音波ネブライザーと同軸ネブライザーの併用が可能。
- 径が合うのであれば、その他の導入系にも応用が可能であり、多核種分析への拡張性が期待される。

**⁹⁰Sr, ¹²⁹I を実証。
³⁶Cl, ⁹⁹Tc も同時分析の
可能性大。**

16

16

◆研究に対する受賞

- ・ 2016.6 福島大学 「学長学術研究奨励賞」
- ・ 2018.6 新化学技術推進協会「新化学技術研究奨励賞ステップアップ賞」
- ・ 2018.12 日本分析化学会東北支部 「平成30年度東北分析化学賞」
- ・ 2019.7 東京電力ホールディングス(株) 感謝状
- 2019.9 日本分析化学会・(一社)日本分析機器工業会
「日本分析化学会先端分析技術賞・JAIMA機器開発賞」
- ・ 2020.4 文部科学省, 文部科学大臣表彰 科学技術賞 (開発部門)

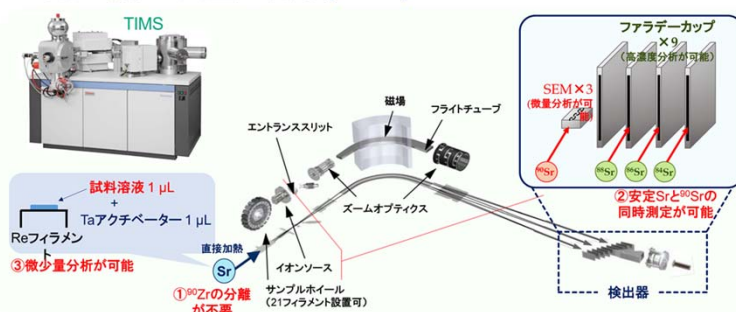
17

17

(2)-②表面電離型質量分析(TIMS)に関する開発

1 表面電離型質量分析計 (TIMS)

当初の想定通り



2 同位体希釈 (ID) 法

3 トータルエバポレーション (TE) 法



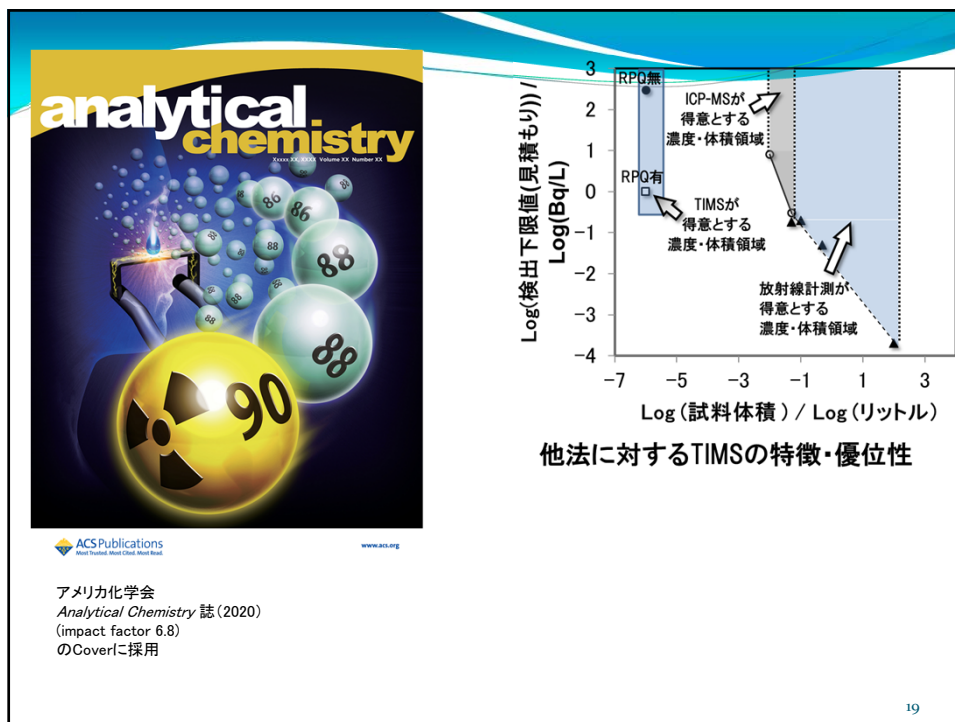
4 微量生体サンプルの測定 (Srの単離)

【添】唾液、まつげに安定Sr総量10 ng及び ^{87}Sr 標準溶液を添加し、添加回収実験 (n = 3) を行った。
(まつげは過塩素酸と硝酸によって完全に溶解したものを使用した。)

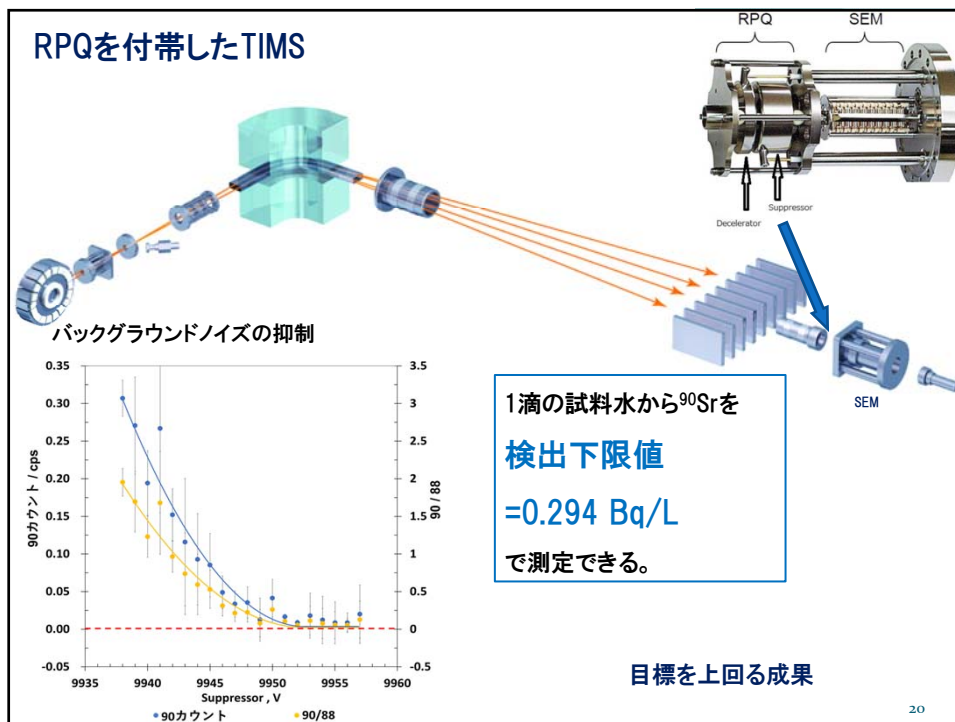
	添加量 / mBq (fg)	定量値 / mBq (fg)
涙	20.8 (4.08)	22.8 $\pm$ 0.2 (4.46 $\pm$ 0.03)
唾液	20.7 (4.07)	22.6 $\pm$ 0.69 (4.42 $\pm$ 0.14)
まつげ	21.1 (4.14)	23.4 $\pm$ 0.3 (4.59 $\pm$ 0.05)

微量生体サンプルの測定が可能であった。 18

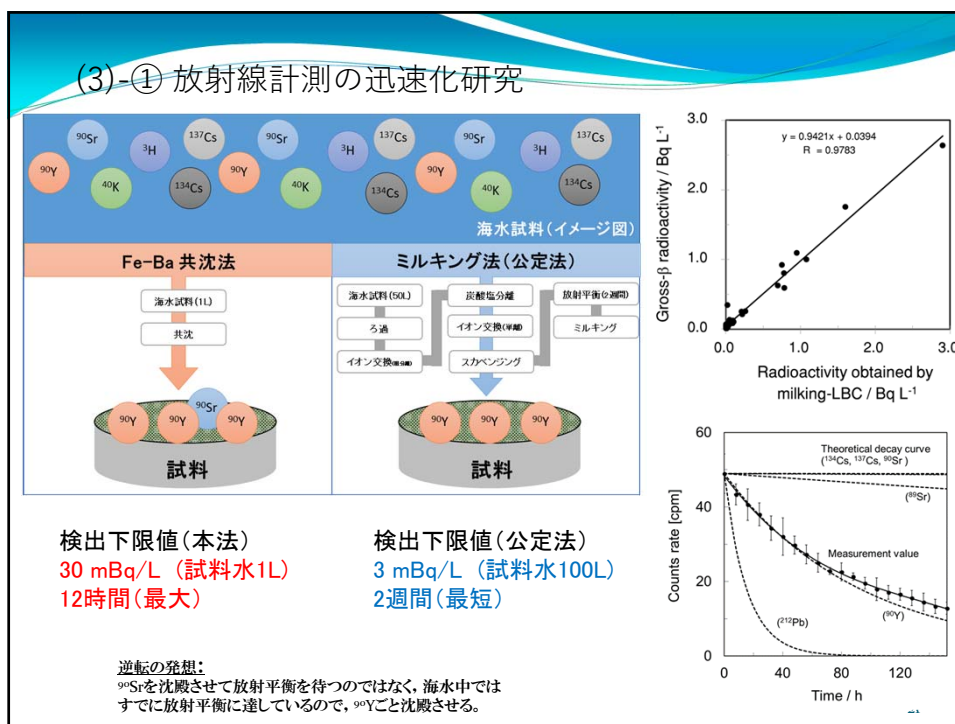
18



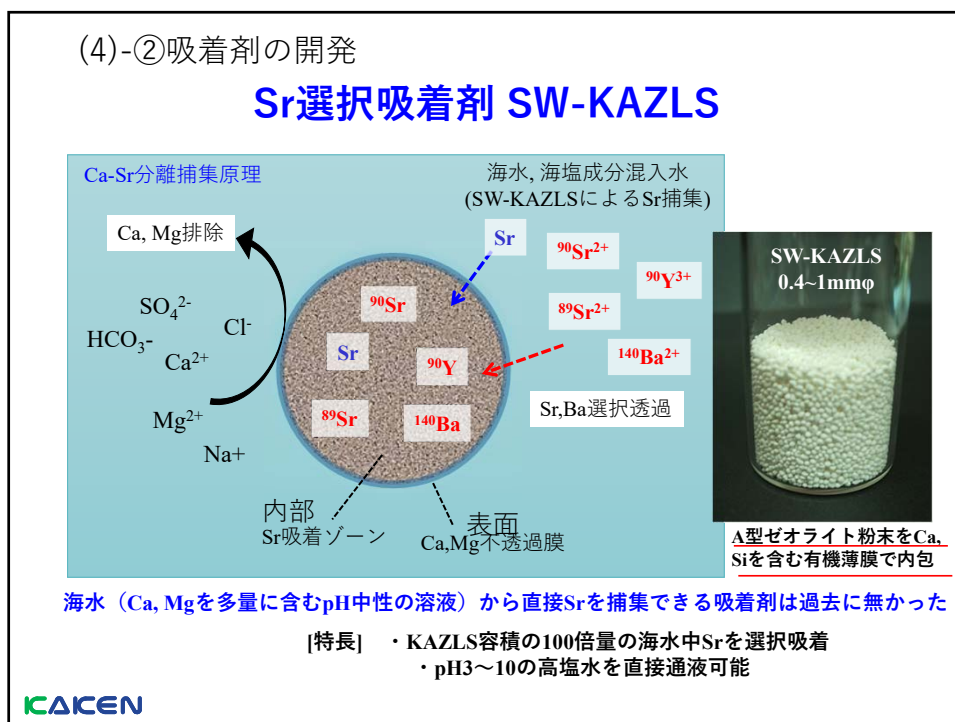
19



20



21



22

3-1. 成果の新規性、革新性

教育

- 本課題で始めた企画を **学部の常設科目**とした。
 - ➡ 放射線専修プログラム, 専門科目「放射線科学」, 放射線取扱主任者資格取得のバックアップ体制
- **民間企業6社**による講義（ボランティア）を**恒例化（年間行事）**とした。
 - ➡ メトラートレド, 堀場製作所, オルガノ, ザルトリウス, パーキンエルマー, 東京電力
- 放射線に関する国内外の専門家（4名：海外3名, 国内2名）を**客員教授として委嘱し, 実質的に講義を担当**している。
- 海外の大学との連携講義（**海外演習**）を**常設化**した。
 - ➡ コロラド州立大学保健物理学科（無償・バーターによる）
- プログラム体験者の**キャリアアップ** 福島高専 ⇒ 福島大（編入・大学院）

23

23

3-2. 成果の新規性、革新性

研究

- これまで公定法では2週間要していた⁹⁰Sr分析を**30分以内でICP-MS分析法を開発**した。
- 開発した要素技術を組み合わせたICP-MS法は, 人の手を介しない**全自動分析**で わずか50mLの試料水で **検出下限値0.3Bq/L**で分析できる革新的な方法である。
- 専門知識を有しない技術者でも, 計算結果など**人為的ミス**を**少なく**するため専用のソフトウェアを開発した。
- **福島第一原子力発電所の複数の試料の分析へ実運用に移行**できた。
- 従来, 測定できなかった**β線放出核種の多核種同時分析**を実現した。
- **1滴**の試料水から⁹⁰Sr分析を検出下限値1Bq/Lで分析できるTIMS法は, 従来にない革新的な手法である。
- このTIMS法は, 公定法やICP-MS法ならびにその他の方法とは異なる特徴を有する新しい分析法である。
- 緊急時のための新しい放射線測定法（共沈グロスベータ法）を開発した。
- ICP-MSに適用できる新しい前処理法を開発した。

24

24

4. 研究の効果

(東電1F廃炉への効果、原子力の基礎基盤の強化への効果、人材育成等を記載)

教育 ◆学生の活躍・受賞(研究を通じた人材育成)

- ・ H28年度 次世代イニシアティブ廃炉技術カンファレンス(NDEC-2)最優秀ポスター賞
- ・ H29年度 日本分析化学会東北支部若手交流会 優秀ポスター賞 (19件中4件)
- ・ H29年度 みちのく分析科学シンポジウム 最優秀ポスター賞
- ・ H29年度同位体比部会 ポスター発表賞
- ・ 7th Asia-Pacific Winter Conference on Plasma Spectrochemistry (APWC)
Analytical Sciences Young Scientist Presentation Award受賞
- ・ H30年度第4回次世代イニシアティブ廃炉技術カンファレンス (NDEC4) 研究奨励賞
- ・ 令和元年度 福島研究開発部門成果報告会 ポスター発表 部門長賞



25

25

4. 研究の効果 つづき

(東電1F廃炉への効果、原子力の基礎基盤の強化への効果、人材育成等を記載)

◆廃炉関係研究室における主な就職先(大学院修了生)

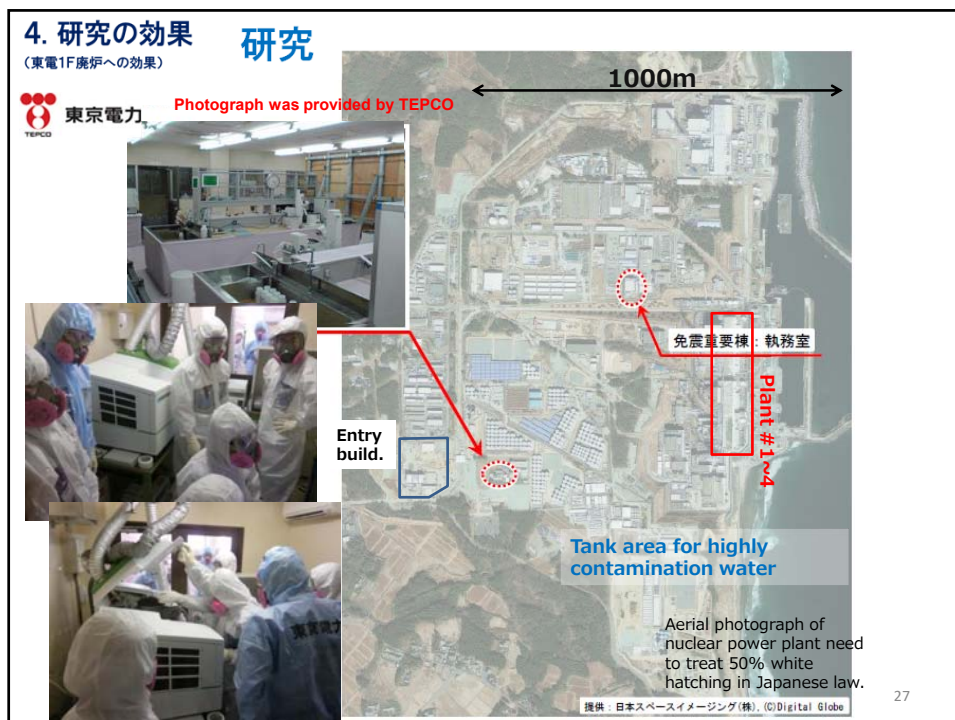
	就職先
H28年度	アサカ理研(2)、天栄村職員、明電舎、 北芝電機 、テクノプロ、ラピスセミコンダクタ宮城
H29年度	東京電力 、昭和電線ホールディングス、 日本原子力研究開発機構 、 福島県
H30年度	福島再生可能エネルギー研究所 、 日立パワーソリューションズ 、住友重機械ファインデック、旭ダイヤモンド工業、重松製作所、庄建技術、NECプラットフォームズ、 東京電力 、 アジレント・テクノロジー 、 日立ハイテクサイエンス 、 日東紡績 、 日本非破壊検査 、 東芝エネルギーシステムズ
H31年度	アドバンテック 、宮城県仙台市、 日本原子力研究開発機構(2) 、 三菱マテリアル 、伊勢半、 福島県 、高砂熱学工業

赤:エネルギー, 原子力関係

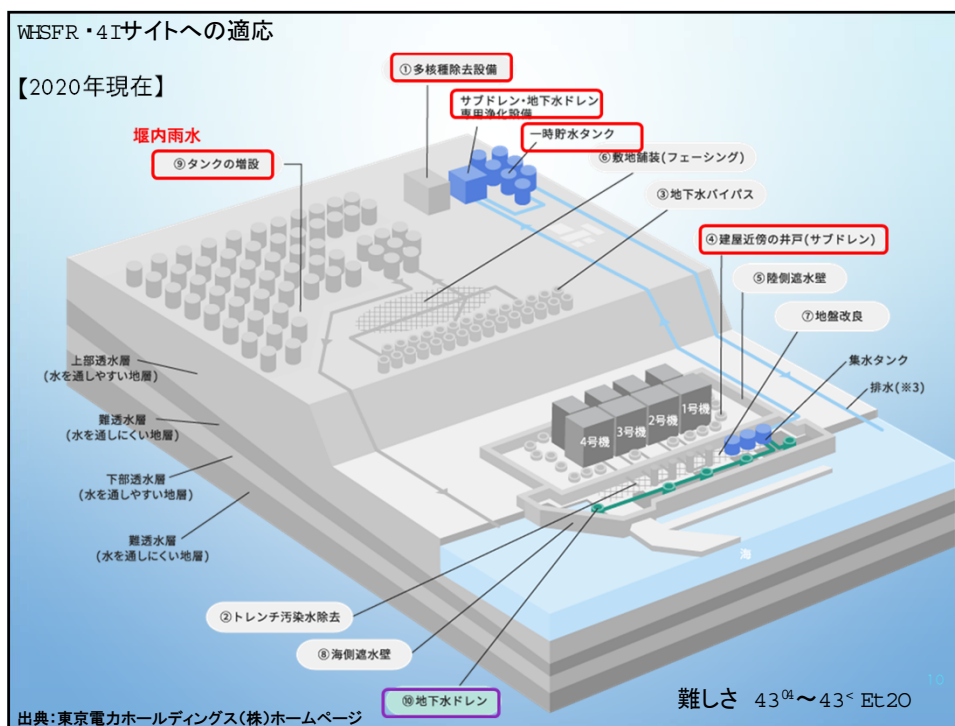
緑:分析・化学関係

26

26



27



28

4. 研究の効果 つづき

(東電1F廃炉への効果)

① タンク周り堰内の水

- 多検体
- 突発的事象
- 低濃度、稀に高濃度



運用開始



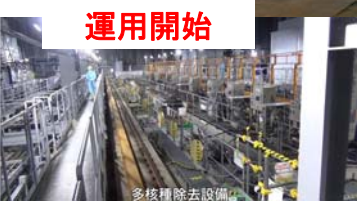
溶接型タンク

② 高濃度汚染水 (滞留水)

- 高線量
- 常時高濃度



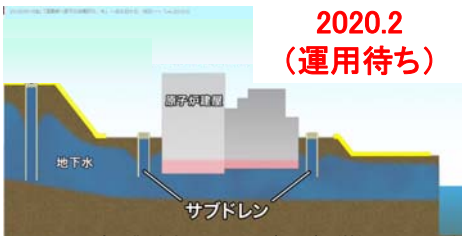
運用開始



多核種除去設備

③ サブドレン水(浄化前)

2020.2 (運用待ち)



地下水
サブドレン

写真出典: 東京電力ホールディングス(株)ホームページ



TEPCO 感謝状

国立大学法人 福岡大学 殿

件名 多核種分析計測法の開発による
福島第一原子力発電所廃炉作業効率化への貢献

貴学は、多核種分析計測法である放射能ストロメトリーを迅速かつ確実に計測する手法を開発されました。この技術により、福島第一原子力発電所における汚染水分析の作業を効率化し、計画通りに行うことが可能となりました。本技術開発にあたり、事故後早い時期から貴学の現場に参画して貴校と貴校と密に連携いただき、分析業務に携わる貴校教員の技術力向上にもご尽力いただきました。そのご尽力・ご的確にに対し、ここに感謝の意を表します。

2019年 7月 5日
東京電力ホールディングス株式会社
常務執行役員 福島第一原子力発電所廃炉対策推進本部長 小野 明

29

5. 今後の発展

教育

- 放射線教育の常設科目の実施
- 民間企業6社によるボランティア講義の実施
- 海外の大学との連携講義 (海外演習) の継続。
コロラド州立大学, グラスゴー大学, ハノバー大学(独)
- 高専からのキャリアアップ (編入・大学院) の継続
- 東京電力 (包括協定), JAEA連携協定 ⇒ 研究教育連携

研究

- ICP-MS分析法による1F試料の分析へ実運用の拡大 (<77%)
最大で1F分析総数の77%をICP-MS法に置き換えることができる見込み。今後、検証すると出来るようになりそうな試料 (集水タンク試料【9%】・サブドレン浄化設備試料【4%】・SARRY II 試料【2%】) : 計15%。現在の分析処理能力62%
- 出来なさそうな試料 (サブドレン浄化設備サンプリング試料, 地下水バイパス一時貯留タンク試料, 放出評価をしているフィルタ試料, 安全協定に基づいた陸土・海水・海底土・海底沈積物, 汚染水処理設備出口試料, 調査試料【排水路試料等】)
- ICP-MSによるβ線放出核種の代替分析としての活用。
- 他の通常炉の廃炉分析への展開。
- TIMS法は, 作業員の緊急被ばく調査。
- TIMS法は, 地下水への浸透 (動的予測) に活用できる。

30