

JAERI - M

5 4 4 0

塩化白金酸を用いる放射性セシウム
の分離法
(主としてBWR プラントの破損燃料検出に
適用するための検討)

1973年10月

石渡 名澄

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

塩化白金酸を用いる放射性セシウムの分離法
(主としてBWRプラントの破損燃料検出に適用するための検討)

日本原子力研究所東海研究所安全工学部

石 渡 名 澄

(1973年10月17日受理)

BWR型の原子力プラントにおいては、使用中の燃料体からFPが漏洩していることを確認するために検出確度が最も高い方法として、プール水中で検査対象の燃料体を封入容器内に一定時間密封し、その封入容器内の水相に放出されたFP(主として放射性ヨウ素)を測定する方法が採用されている。筆者は、測定対象のFPとして放射性セシウムを併せてとり上げるならばFP漏洩の判定の確度をより向上できると考え、このような試料系中の放射性セシウムの分離のために塩化白金酸を適用する方法を検討した。確立し得た方法の概要をつぎに記す。

採取した試水を濾過処理し、塩酸およびセシウム担体を加えてから蒸発操作によりその体積を縮小する。試料溶液中に10ppm以上のウランを含む場合には、TBP-クロロホルム抽出によりウランを除去する。鉄、セリウム、ジルコニウムの水酸化物によりスカベンジングしたのちに塩化白金酸を加え、pH約10において塩化白金酸セシウムの沈殿を生成させる。塩化白金酸セシウムから調製した試料の γ スペクトルにより放射性セシウムを測定する。

A Method for Separation of Radiocesium by Using H_2PtCl_6
(Application of the proposed method to the detection of
a leaker fuel assembly in BWR plant)

Nasumi ISHIWATARI

Division of Reactor Safety, Tokai, JAERI

(Received October 17, 1973)

In BWR plants, the canning method is generally used to detect a leaker fuel assembly. Radioiodine in the sample water from the can is thus measured by radiochemical analysis. By measuring also radiocesium in the water, this detection becomes more effective. A procedure of separation of the cesium is described ; in the case of a fuel rod artificially made holes through clad.

The sample water is first filtrated. Cesium carrier-solution and HCl are then added to the filtrate, which is then reduced to 20~30 ml in volume by evaporation. Uranium in excess of 10 mg in the solution must be eliminated. Other radioactive substances in the solution are scavenged with $Fe(OH)_3$, $Ce(OH)_4$ and $ZrO(OH)_2$. After filtering, H_2PtCl_6 solution is added. The pH of the solution is adjusted to 10 by adding NaOH solution. Precipitate is filtered off with a weighed filter paper. After measuring this chemical yield, the activity is measured by gamma ray spectrometry, to determine the radiocesium content.

目次なし

1 ま え が き

放射性セシウム分離法としては、塩化白金酸などを用いる沈殿法、テトラフェニルホウ酸を用いる抽出法、そしてイオン交換樹脂を用いる方法など数多く知られている。特に塩化白金酸を用いる方法は、セシウムの沈殿分離法として比較的によく用いられているようである。筆者は、軽水型原子力発電所（主として沸騰水型のを対象とする）の破損燃料検出における判定的方法の一つとして、放射性セシウムの測定による方法の適用に着目し、JPDR原子炉内で中性子照射を受けた破損燃料棒より周囲水相中に放出された放射性セシウムを測定するため、塩化白金酸セシウム沈殿法の適用を試みた。しかし、これらの試料系の中の放射性セシウムを塩化白金酸セシウムとして分離する場合、共存物質の影響に対するその適用限界が明確では無いように思われた。上に記したような系に対する塩化白金酸セシウム沈殿法の適用限界を明確にし、放射性セシウムの測定による方法を軽水型原子力発電所の破損燃料検出における判定的方法の一つとして確立するため、以下に記すような実験検討を行なった。(1)

2 実 験 検 討

2.1 装置および試薬

2.1.1 装 置

TMC 256 チャンネル波高分析器 (Model 220 出力ユニット, Model 210 パルスハイトロジックユニット, Model CN-110 256チャンネル デジタルコンピュータユニット)

Harshaw 5" ϕ \times 4" NaI (Tl) 結晶検出器

Fluke 高電圧電源 Model 412B

日立・堀場 ガラス電極 pH計 M5型

標準比較線源 (IAEA, ^{137}Cs 10.28 μCi on 1, Jan. 1970

New England Nuclear Corporation, ^{137}Cs 2.43×10^3 0.662 MeV

photons/sec on 2. Sept. 1964 日本放射性同位元素協会, ^{137}Cs 0.50 μCi on 10. Jan. 1964)

2.1.2 試 薬

塩化セシウム溶液, 2.17×10^{-3} M, 2.96×10^{-3} M

塩化白金酸溶液, 4% (w/v)

水酸化ナトリウム溶液, 1 N

塩酸溶液, 1 N

エタノール

TBP-クロロホルム (3:2) 溶液

塩化リチウム溶液, 2×10^{-3} M

塩化ナトリウム溶液, 2×10^{-3} M

- 塩化マグネシウム溶液, 2×10^{-3} M
 塩化カリウム溶液, 2×10^{-3} M
 塩化カルシウム溶液, 2×10^{-3} M
 塩化ルビジウム溶液, 3×10^{-3} M
 塩化ストロンチウム溶液, 2×10^{-3} M
 塩化バリウム溶液, 2.24×10^{-3} M
 塩化アンモニウム溶液, 2×10^{-3} M
 塩化第2鉄溶液, 4.6 mg as Fe (II) / ml
 塩化第2銅溶液, 1 mg as Cu (II) / ml
 硫酸ジルコニウム溶液, 0.6 mg as Zr (IV) / ml
 硝酸第1セリウム溶液, 10 mg as Ce (III) / ml
 硝酸ウラニル溶液, 0.50 g as U / ml
 マンガン54 — 1 N塩酸溶液, $0.1 \mu\text{Ci as }^{54}\text{Mn}$ / ml
 コバルト60 — 1 N塩酸溶液, $0.2 \mu\text{Ci as }^{60}\text{Co}$ / ml
 ジルコニウム95 (一ニオブ95) — 1 M過硫酸アンモニウム + 2 N硫酸溶液, $0.21 \mu\text{Ci as }^{95}\text{Zr}$ / ml
 セシウム137 — 1 N塩酸溶液, $0.36 \mu\text{Ci as }^{137}\text{Cs}$ / ml
 ユウロピウム155 — 1 N塩酸溶液, $10^{-2} \mu\text{Ci as }^{155}\text{Eu}$ / ml

2.2 実験

2.2.1 沈殿生成に対するPHの影響

塩化セシウム (2.17×10^{-3} M) 溶液 50 ml をビーカーに正しく取り, 塩化白金酸溶液 1.0 ml を加え, 水酸化ナトリウム溶液を用いて溶液の pH を予定の値に調節した。ガラス棒で十分に攪き混ぜたのち 30 分間放置した。塩化白金酸セシウムの沈殿を含む約 50 ml の溶液を Whatman NO. 540 (径 24 mm) 濾紙で減圧濾過した。さらにビーカーに水 10 ml を加えて沈殿物を集めながら濾過し, ついでエタノール 10 ml を加えて沈殿物を集めながら濾過した。濾過した沈殿物を赤外線ランプで加熱して乾燥したのちに秤量した。塩化白金酸セシウムの沈殿生成のために最適な pH 範囲として 9 ~ 11 を得た (Fig 1)。

2.2.2 塩化白金酸添加量の影響

塩化セシウム (2.17×10^{-3} M) 溶液 50 ml を取り, これに添加する塩化白金酸溶液の量をそれぞれ変え, 水酸化ナトリウム溶液で pH を 10 ~ 11 に調節したのち, 以下 2.2.1 に記した操作により, Fig 2 に示す結果を得た。この操作条件において 1.3 倍のモル濃度比に相当する塩化白金酸を添加すれば, 塩化白金酸セシウムの沈殿として 80 % 以上の収率を得ることができる。

2.2.3 沈殿熟成の所要時間

塩化セシウム溶液として担体セシウム 19.7 mg を取り, 塩化白金酸溶液 2.0 ml を加え, pH を約 10 ~ 11 に調節したのち, 15 ~ 20 分間に 1 回の割合で攪き混ぜながら所定の時間放置した。以下 2.2.1 の操作にしたがって, Fig 3 に示す結果を得た。30 分以上放

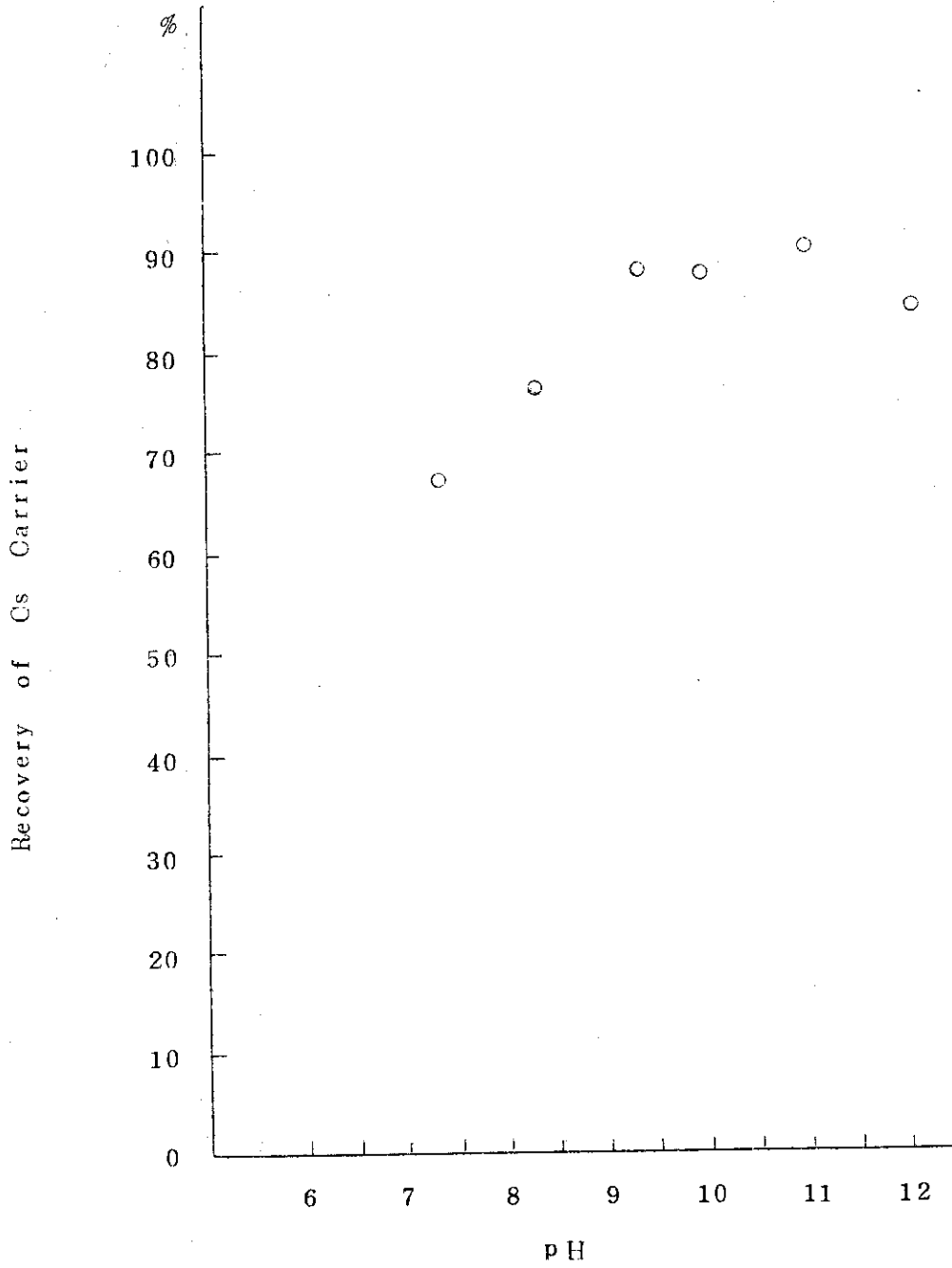


Fig 1 Effect of pH

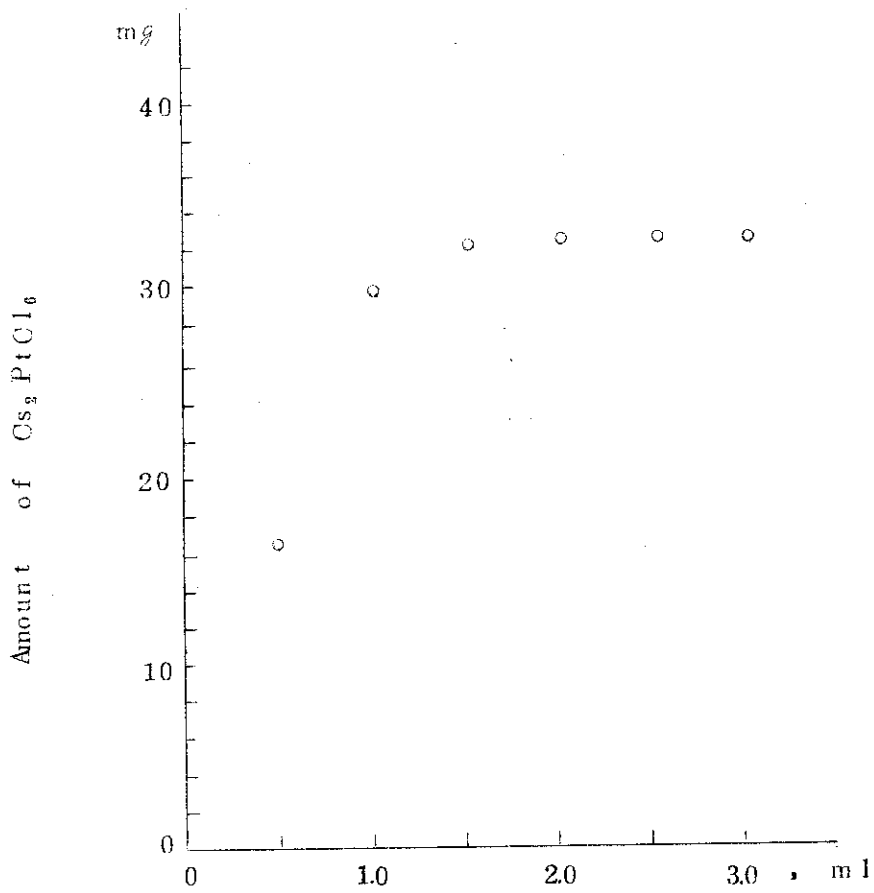


Fig 2 Effect of amount of H_2PtCl_6 (4% w/v)

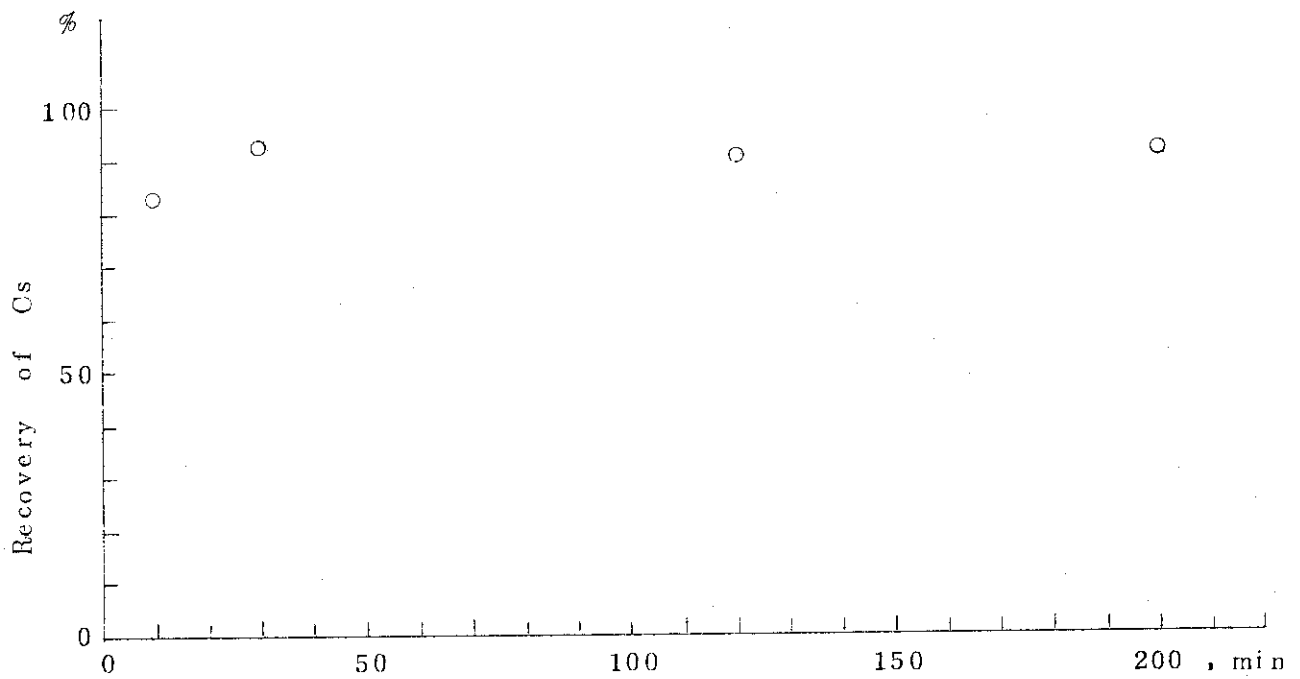


Fig 3 Effect of standing time for precipitation

置すれば、操作条件下において、沈殿生成量は見かけ上ほぼ一定値に到達している。

2.2.4 アルカリおよびアルカリ土類金属などの塩化白金酸塩

アルカリ金属およびアルカリ土類金属の主なる元素の塩化物そして塩化アンモニウムの溶液を用いて、各溶液に塩化白金酸溶液 2.0 ml を加え、水酸化ナトリウム溶液で pH を 10~11 に調節したのち、10 分間に 1 回の割合で攪き混ぜながら 30 分間放置した。以下 2.2.1 と同様に操作し、沈殿生成反応の有無を調べた。Table 1. に示すように、操作条件下においては、バリウム、ルビジウムそしてストロンチウムの 3 元素について沈殿の生成が認められた。

2.2.5 スカベンジングの影響

塩化セシウム溶液として担体セシウム 19.7 mg を含む溶液（体積、50 ml）に、鉄およびセリウムのスカベンジャを Table 2. に示すような組合わせで添加してから、水酸化ナトリウム溶液で溶液の pH を 10 に調節し、溶液が沸騰するまで加熱した。放冷してからスカベンジャの沈殿生成物を濾過して除去し、濾過液に塩化白金酸溶液 2.0 ml を加え、水酸化ナトリウム溶液で pH を 10~11 に調節したのち、10 分間に 1 回の割合で攪き混ぜながら 30 分間放置した。以下 2.2.1 と同様に操作し、塩化白金酸セシウムの回収量からセシウムの収率を求めた（Table 2.）。なおスカベンジャとして、鉄 1 mg、セリウム 5 mg、ジルコニウム 0.5 mg を添加した場合でも、セシウムの収率は 79.5% であった。

2.2.6 他の放射性核種の共存の影響

担体セシウム（塩化セシウムとして）19.7 mg およびウラン 10 mg を含む溶液に、スカベンジャとして鉄 0.5 mg およびセリウム 5 mg を加え、水酸化ナトリウム溶液で pH を約 10 にした。溶液が沸騰するまで加熱したのち、放冷して濾過した。濾過液に塩化白金酸溶液 2.0 ml を加えて塩化白金酸セシウムの沈殿を生成させた。ウランのみを用いて作製した試料の γ スペクトルと塩化白金酸セシウム沈殿から作製した試料の γ スペクトルを測定し、これらの γ スペクトルのピーク比から液相と固相間のウランの存在比を求めた。ユウロビウム 155、ジルコニウム 95（ニオブ 95）、コバルト 60 についても、それぞれ $10^{-2} \mu\text{Ci}$ 、 $0.5 \mu\text{Ci}$ 、 $0.1 \mu\text{Ci}$ を用いて、各々ウランの場合と同様に存在比を求めた。結果を Table 3. に示す。

2.2.7 多量のウランの共存の影響

ウラン 1 g と担体セシウム（塩化セシウムとして）19.7 mg を含む 6 N 塩酸溶液 25 ml を分液漏斗（円錐型 150 ml 容量）に取り、TBP-クロロホルム溶液 25 ml を加えて 1 分間振り混ぜた。TBP-クロロホルム溶液を除いてから、クロロホルム 5 ml を加えて 1 分間振り混ぜる洗浄操作を 2 回くり返した。クロロホルムを除いてからベンゼン 10 ml を加えて 1 分間振り混ぜて洗浄した。水相をビーカーに移し、徐々に加熱してほとんど蒸発乾固した。蒸発残分を 1 N 塩酸 1 ml と約 30 ml の水に溶かし、塩化白金酸溶液 2.0 ml を加え、水酸化ナトリウム溶液で pH を約 10 に調節した。以下 2.2.1 と同様に操作して担体セシウムの回収率を求めた。結果を Table 4. に示す。

2.2.8 合成試料中のセシウム 137 の分離

Table 5. に示すような組成の合成試料を作り、2.2.7 と同様に操作して、塩化白金酸セシウムの沈殿物から成る γ 放射能測定用の試料を作製した。2 個の合成試料について同時にセシウム分離の操作を行ない、これらの担体セシウムの回収率として、それぞれ 72.5% およ

Table 1 Reaction between Alkali or Alkali Earth Metal (and NH_4^+) and H_2PtCl_6

Added		Precipitate	
Salt	Amount, mg	Color	Amount, mg
NH_4Cl	5.35	—————	none
LiCl	4.24	—————	"
NaCl	5.85	—————	"
KCl	7.46	—————	"
RbCl	9.07	Yellow	12.8
BaCl_2	11.66	White	4.5
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10.16	—————	none
$\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	13.33	White	1.5
CaCl_2	5.56	—————	none

Table 2 Effect of Scavenger

Amount of Scavenger		Recovery of Cesium, %
Fe, mg	Ce, mg	(As Cs_2PtCl_6)
0.5	—————	98.2
1	—————	96.8
—————	5	99.4
—————	10	95.6
0.5	5	95.2
0.5	10	91.8
1	5	80.1
1	10	78.1

Table 3 Decontamination Factor

Nuclide	Decontamination Factor
^{60}Co	2.5×10^{-3}
^{155}Eu	5.1×10^{-4}
U (natural)	8.5×10^{-2}
$^{95}\text{Zr} - ^{95}\text{Nb}$	2.0×10^{-3}

Table 4 Effect of Removal of Uranium
by TBP- CHCl_3 Extraction

Run	Recovery of Cesium	
	Cs_2PtCl_6 , mg	%
Theor.	49.8	100
1	41.7	83.7
2	38.8	77.9
3	41.8	83.9
4	41.6	83.5
5	36.1	72.5
6	36.9	74.1

び74.1%を得た。この収率は、 γ スペクトルの0.662 MeVのピーク比についても、相対誤差1%以内で一致した。

Table 5 Synthetic Sample

Element	or Nuclide	mg	μCi
U	as UO_2 (NO_3) ₂	1000	—
Cs	as CsCl	19.7	—
Ce	as $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$	20	—
Fe	in HCl	4.6	—
Cu	in HCl	1	—
Ni	in HCl	1	—
Zr	in H_2SO_4	0.6	—
¹³⁷ Cs	in HCl	—	0.36
⁹⁵ Zr— ⁹⁵ Nb	in H_2SO_4	—	0.21
¹⁵⁵ Eu	in HCl	—	0.02
⁵⁴ Mn	in HCl	—	0.1
⁶⁰ Co	in HCl	—	0.2

3 分離操作

以上の実験検討により、つぎに記すような放射性セシウムの分離操作を確立した。

3.1 試料の調製

ミリポアフィルタHA(孔径0.45 μm)を用いて、試料水を減圧濾過する。濾過水($\leq 2\text{l}$)に濃塩酸10mlとセシウム担体溶液(塩化セシウム、Csとして20mg)を加え、蒸発操作によりその体積を20~30mlに縮小し、試料溶液とする。

3.2 分離操作

1. 分液漏斗に試料溶液を移し、等体積のTBP-クロロホルム溶液を加えてから1分間振り混ぜ、ウラン等を抽出する。クロロホルム相を除いてからクロロホルム5mlを加えて振り混ぜて水相を洗浄する。この洗浄操作をくり返す。つぎにベンゼン10mlを加えて振り混ぜ、残留するTBPを抽出し去り、ベンゼン相は捨てる(ウランの共存量が10mg以下であれば、

TBP-クロホルム抽出による分離操作を省略し、2の操作から直接に行なってよい)。ピッカーに試料溶液を移し、ほとんど蒸発乾固し、水20 mlを加え、蒸発残留物を溶解する。

2. 試料溶液に鉄担体溶液(1 mg Fe/ml)、セリウム担体溶液(5 mg Ce/ml)およびジルコニウム担体溶液(0.5 mg Zr/ml)各1 mlを加え、十分に攪き混ぜてから水酸化ナトリウム溶液を用いて溶液のpHを約10に調節し、これらの金属の水酸化物を沈殿する。溶液が沸騰するまで加熱し、放冷したのちに沈殿を濾過して除く。濾液に対してもう1回このスカベンジングの操作をくり返す。濾液に塩化白金酸溶液2.0 mlを加え、水酸化ナトリウム溶液を用いて溶液のpHを約10に調節する。十分に攪き混ぜたのち30分間放置し、塩化白金酸セシウムの沈殿を熟成する。

3. 沈殿は秤量済みの濾紙(Whatman NO. 540相当)を用いて濾過したのち、水10 mlついでエタノール10 mlで洗浄する。赤外線ランプで沈殿を濾紙とともに乾燥したのち秤量し、その化学収率を決定する。

4 適用例

1968年4月3日から5月11日までの期間に、JPDR炉心において人工欠損孔付燃料棒(以下、燃料棒とする)を約24 EFPD(Equivalent to Full Power Day)照射した。照射に使用した燃料照射装置の外部構造は、JPDR炉心に装荷してある燃料要素集合体とほぼ同一形状である。この燃料照射装置の内部には、炉心装荷状態において重力線に対して平行に4本の導水管が設けてある。導水管は、3.404 mm内径のものが2本と2.302 mm内径のものが2本である。燃料棒は照射装置の細径導水管2本の中の1本の導水管内に装着した。残り3本の導水管は上端部分を閉塞した。この燃料棒に充填したUO₂ペレットは、概略的に(7本×7本)型燃料要素集合体用の燃料棒の仕様に準ずるもので、燃料棒はZry-2製被覆管を使用したセグメント2本から構成されている。上側セグメントのみにブレナム(燃料棒中の端部分にある空隙、ペレットから放出されたFPガスを溜める場所)の端栓に近い部分に、直径方向に相対して2個の欠損孔(直径0.5 mm)がつけてある。照射終了後、原子炉を停止してから2週間経過したのち、燃料棒は照射装置とともに使用済燃料貯蔵プール底部に置いた鉄製函(燃料要素集合体を収容するために十分でほぼ最小限の容積を有する。仕様の概要をTable 6. に示す)内に移し、フタをしてほぼ完全に密封した。

Table 6 Description of Fuel Assembly Container

Part of Fuel Assembly Container	made from Stainless Steel
Inner Volume of Rectangular Prism-Part	37 liter
Total Length	206 cm
Area of Cross Section	13.4 cm×13.4 cm
Part of Conductor for Sampling Pipe	made from Stainless Steel
Total Length	637 cm
Inner Diameter of Conductor Pipe	5 cm

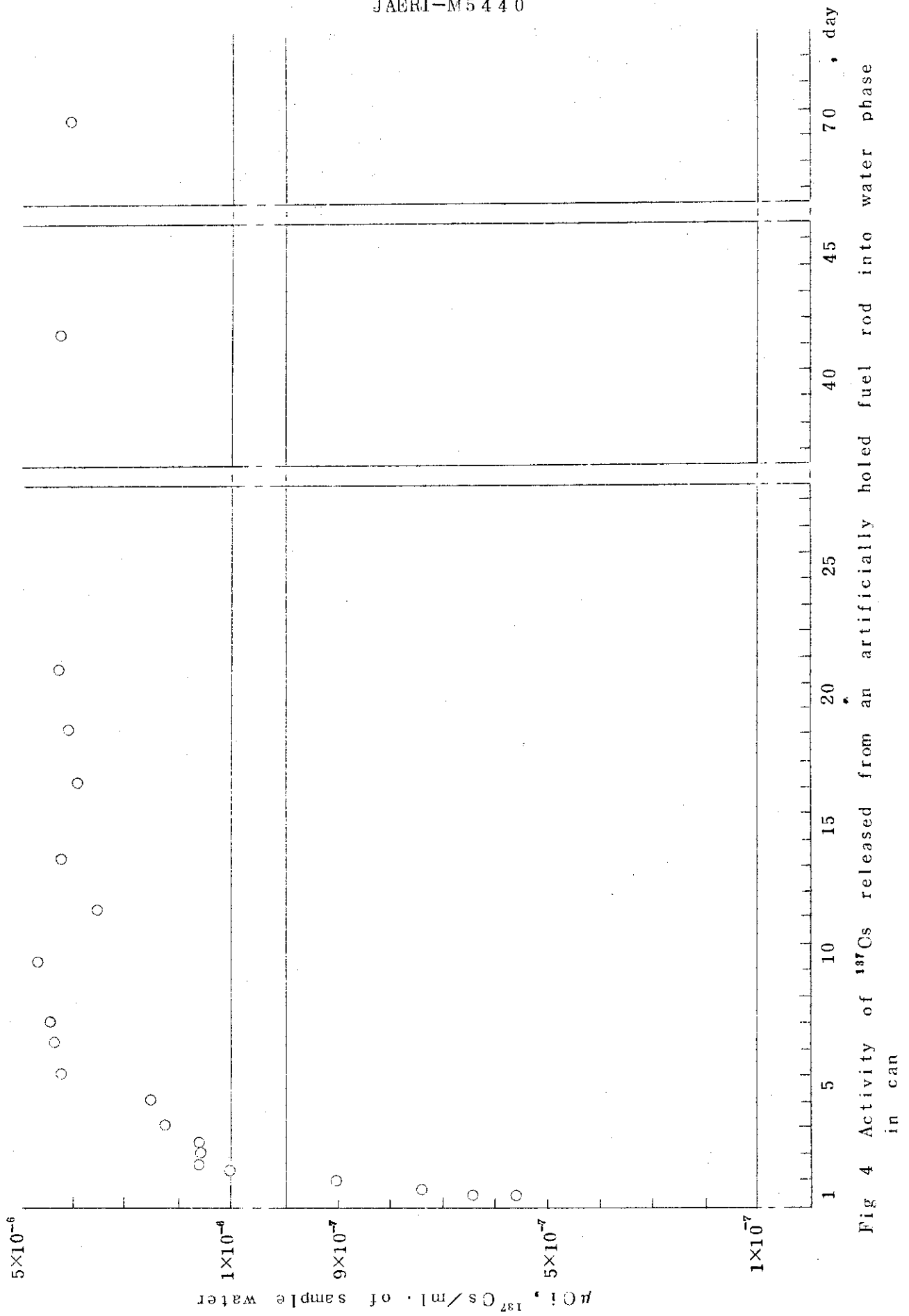


Fig 4 Activity of ^{137}Cs released from an artificially holed fuel rod into water phase in can

密封してから、適時、定量ポンプを用いて管内の水1~2ℓを採取し、試水採取後に採取量に等しいイオン交換-蒸留精製水を補充した。試水の採取は1968年5月25日から8月2日の期間に行なった。試水を0.5~1.5ℓ計り取り、以下3.に記した3.1および3.2(2と3)の操作により、セシウムを分離してセシウム137を測定した。測定結果をFig.4.に示す。図に示した測定値は、試水採取によるセシウム137($\mu\text{Ci}/\text{ml}$)の低下を補正してある。

5 討 論

軽水炉プラントにおける破損燃料検出は、例えばBWRプラントの場合つぎのようにして行なわれる。原子炉のオフガス系に設置したオフガス放射能モニタの放射能指示値(例えば $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ 換算値)の変化、オフガス中FPガスの測定値(測定対象核種の $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ 値)および原子炉冷却水中の放射性ヨウ素($\sum_{n=131}^{135} \text{}^n\text{I}$, net cpm/ml)* 測定値の変化の状態から破損燃料の存在を検知する。原子炉を定出力運転状態に保ちつつ、一定の組合せと順序にしたがって制御棒を操作し、炉心の特定領域の中性子束密度分布を変化させながらオフガス放射能指示値(例えば $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ 換算値)およびオフガス中FPガス測定値(測定対象核種の $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ 値)の変化を調べ、これらの対応状態を調べて破損燃料が存在する領域を推定する。破損燃料が存在すると推定した領域から破損燃料棒を含有している燃料集合体を検出するため、つぎに記すような二つの方法の中の一つを用いるかまたは二つを併せて用いる。(2)

- ①原子炉停止後、原子炉のフタを取り去り、炉心およびその近傍の放射線源から出てくる γ 線を遮蔽するために十分であるように原子炉水面を上昇し、燃料チャンネル内に原子炉水採取用のパイプをさしこむための導入管をつけた鉄板(1本または $2 \times 2 = 4$ 本のチャンネルを閉塞するために適当な大きさのもの)でチャンネル上部を閉塞し、チャンネル内の水の流動をほとんど止めたままの状態を一定時間経過してから、ポンプにより試水採取管を通して試水を吸い上げて採取する。試水採取の操作中には、原子炉圧力容器系内の水の流動はできるだけ小さくする。この操作を破損燃料が存在していると推定した炉心領域内のすべての燃料要素集合体について行なり。試水中の特定の放射性核種(従来は主として放射性ヨウ素)についてその放射能(cpm/ml または $\mu\text{Ci}/\text{ml}$)を測定し、測定結果を比較検討して破損燃料棒含有集合体を判定する。
- ②原子炉格納容器内の核燃料貯蔵プール底部に燃料集合体1本を取容できる程度のステンレススチール(またはアルミニウム)製容器を置いて、これに破損燃料が存在すると推定された炉心領域内の燃料集合体を移し入れ、試水採取に用いる配管のための導管がついているフタをして密封し、容器の内と外を隔離する。そのままの状態を一定時間経過してからポンプを用いて、検査対象の燃料集合体を密封した容器内の試水を採取する。この操作を破損燃料が存在していると推定した炉心領域内のすべての燃料要素集合体一つ一つについて行なり。以下①と同様に操作する。

上に記した破損燃料検出法をJPDRにおいて適用し、特定の放射性核種として放射性ヨウ

* (例えば試料採取してから一定時間経過した後の正味の AgI^* counts/min 値)

素および放射性セシウムを採用した例をつぎに上げる。第1例においては、破損燃料棒の存在が推定された炉心領域内の11体の燃料集合体について、1967年7月に上に記した方法①を適用し、試水中の放射性ヨウ素と放射性セシウムを測定した。その結果3本の燃料集合体がFP漏洩源と推定され、これらの3体について上に記した方法②を適用し、試水中の放射性ヨウ素と放射性セシウムを測定した。測定結果から、これらの3体の中の1体がFP漏洩源として最大の確度を示すものと判定するに至った。第2例においては、第1例においてFP漏洩源として最大の確度を示すものと判定した燃料棒集合体が共存している状態において、さらに別の破損燃料棒の存在が推定された炉心領域内の燃料集合体15体について、1967年10月に上に記した方法①を適用し、試水中の放射性ヨウ素および放射性セシウムを測定した。その結果1体をFP漏洩源と判定し、この1体について方法②を適用したところ、放射性ヨウ素 ($\mu\text{Ci/ml}$) はヨウ素131がバックグラウンドの約100倍そして放射性セシウム ($\mu\text{Ci/ml}$) はセシウム137がバックグラウンドの約200倍を示し、この燃料集合体がFP漏洩源であると判定するに至った。

提出した放射性セシウムの分離法は、 γ 線スペクトロメトリーによるセシウム137の測定に結びつけることを主な目的にしている。提出した方法と従来の放射性ヨウ素の分離法を併せて中性子照射後の核燃料体のFP漏洩検出（破損燃料検出）に適用することにより、そのFP漏洩確認の的中率を高くすることができた。提出した放射性セシウムの分離法を破損燃料検出に適用した事例はまだ数多く無いが、上に討論を加えた事例のみによってもその有効性を十分に期待することができる。

6 結 論

BWRプラントにおける破損燃料検出（canning 法）に塩化白金酸セシウムの沈殿生成による放射性セシウムの分離法を適用する場合、共存物質の影響に関して適用し得る限界を明確にすることができた。そして提出した放射性セシウムの分離法が、破損燃料検出（特にcanning 法による）の測定目的のために十分に有用な方法の一つであることを実証できた。

謝 辞

4. 適用例の照射済人工欠損孔付燃料棒を照射装置とともに鉄製函内に密封したのちの放射性セシウム検出実験においては、中部電力株式会社の大津一省氏の協力を得た。付記して謝意を表する。

文 献

- (1) 石渡名澄：日本分析化学会第19年会講演要旨集，講演番号1D27；October
(1970)
- (2) Osborne, R. N. : Nucleonics, 19, 7, 84 (1961)
- (3) Cohen, P. : "Water Coolant Technology of Power Reactors"
P. P. 203~205 (1969), Gordon and Breach
Sci. Publ., New York