

核防—5013

中、低放射性廢水处理 的方法和裝置

中国科学院原子核科学委员会編輯委员会
文 献 編 輯 室 編 輯

內 容 簡 介

本文着重介紹了中、低放射性廢水的处理方法：

中放：衰变貯存——化学凝結沉淀（在快速沉降器中）——過濾——蒸发——（离子交換）。

低放：化学凝結沉淀——過濾——无机离子交換。

此外，文中还介紹了日本 EBARA（荏原）公司* 制造放射性廢液处理設備的一些情况，并列举了設備的性能曲綫图、流程图、裝置簡图和照片等。因此，对于从事工艺設計和实际操作的人員具有一定参考价值。

本文译自 “CATALOGUE OF RADIOACTIVE WASTE TREATMENT PLANTS” (EBARA MANUFACTURING CO., LTD TOKYO, JAPAN)。

* 日本 EBARA 公司是日本承包廢物处理工程的主要公司，并領有美国 Infilco 公司快速沉降器的制造執照。

表1 EBARA 制造公司設計与建造的放射性液体 废物处理装置
低放浓度: 10^{-5} — 10^{-8} 微居/毫升, 設計达到的 净化系数: 100

至1961年底

單 位	容 量	設 备	特 征	备 注
国立放射学 研究所	2 米 ³ /时	2 个絮凝器(快速沉降器), 3 个砂濾器, 3 个无机离子 交换器, 3 个貯存槽, 3 个 存留槽, 7 个泵, 1 个淤泥 接受槽和輔助設備。	2 級凝結系統(平行的和單 独地操作), 离子交換材 料: 蛭石(循环再处理)。	完 工
大阪府辐射 中心	5 米 ³ /时	2 个絮凝器(快速沉降器), 2 个砂濾器, 2 个无机离子 交换器, 2 个貯存槽, 1 个 淤泥接受槽, 2 个存留槽, 8 个泵, 1 个离子交换树脂 塔, 4 个輔助設備。	2 級凝結系統(平行地和單 独地操作), 离子交換材料: 蛭石(循环再处理——远距 离控制系统——凝結实验装 备)。	完工、离子交 換器在下一会 計年度完工
立教大学原 子能研究所	0.3 米 ³ /时	2 个絮凝器(快速沉降器), 3 个砂濾器, 1 个淤泥接受 槽、5 个貯存槽, 2 个存留 槽, 4 个泵和輔助設備。	2 級凝結系統(平行和單独 操作), 手工控制系统。	反应堆完工
武藏大学工 艺研究实验 室, 原子能 研究实验 室。	2 米 ³ /时	2 个絮凝器(快速沉降器), 2 个砂濾器, 2 个预处 理 槽, 2 个砂濾器, 1 个淤泥 接受槽, 4 个貯存槽, 2 个 存留槽, 5 个泵和輔助設備。	2 級凝結系統(平行和單独 地操作), 远距 离控制系统 ——循环再处理。	正在施工、反 应堆正在施工
东京工艺研 究所原子能 研究实验室	10 米 ³ /时	2 个接受槽, 2 个貯存槽, 排放混合槽和 4 个泵。	放射性衰变和排放用的貯存 設備。	完工、离子交 換裝置在下一 會計年度完工
FAPIG 辐 射研究实验 室	0.5 米 ³ /时	2 个絮凝器(快速沉降器), 4 个貯存槽, 3 个砂濾器, 3 个无机离子交换器, 1 个 淤泥接受槽, 2 个存留槽, 4 个泵和輔助設備。	2 級凝結系統(平行和單独 操作), 循环再处理, 手工 控制系统。	完工, 离子交 換器在下一会 計年度装設
日本原子能 动力公司, 东京动力站	5.5 米 ³ /时 (間歇式的)	3 个接受槽, 2 个砂濾器, 1 个离子交换树脂塔, 2 个 生物过濾器, 3 个延迟槽, 4 个其它槽子, 11 个泵和輔 助設備。	在接受槽内分批凝結, 处理 动力站的各种廢物, 其它商 号供应的測量仪器。	签订了合同— 正在設計
日本原子能 研究所	3 米 ³ /时	2 个急驟混合器, 2 个絮凝 器(快速沉降器), 1 个砂 濾器和若干槽。	由EBARA供应設備。 日本原子能研究所完成工厂 建造。	正在施工

表2 EBARA 制造公司設計与建造的放射性液体废物处理装置

中放浓度： 10^{-2} — 10^{-5} 微居/毫升，設計达到的净化系数： 10^6 — 10^7

至1961年底

單 位	容 量	設 备	特 征	备 注
国立放射 学研究所	500升/小时	1个絮凝器（快速沉降器）、真空过滤器、真空脱气器、預热器、蒸发器、旋风分离器、湿气分离器、2个冷凝器、空气分离器、蒸汽压缩器、3个贮存槽、2个泵和輔助槽。	蒸汽压缩蒸发系统。为了进一步净化，用凝結和离子交换塔作預处理。半远距离控制，用循环再处理和轉移至所裝設的低放凝結裝置里。	完工
东京都同 位素中心	25升/小时	蒸发器、湿气分离器、冷凝器、空气分离器、3个贮存槽、2个存留槽、2个泵和輔助备用槽。	單效蒸发系统。由中心热系统供給蒸汽。在蒸发器上裝設有除霧器——半远距离控制。	完工
立教大学 原子能研 究所	25升/小时	預处理槽、蒸发器、旋风分离器、湿气分离器、冷凝器、空气分离器、3个贮存槽、2小存留槽、离子交换树脂塔、5个泵和輔助設備。	單效蒸发系统。离子交换树脂塔。由工厂区的鍋爐供給蒸汽。对pH控制——手工控制分批預处理。	完工
日本原子 能动力公 司ToKai 动力站	550升/小时	絮凝器（快速沉降器）、CO ₂ 气体注入器、2个砂濾器、蛭石塔、离子交换树脂塔、14个泵、2个鼓风机、3个淤泥存留槽、2个存留槽、9个輔助槽。	燃料元件冷却水池廢水处理的凝結和离子交换系统。設計的净化系统达到24000。无机离子交换器、蛭石。离子交换树脂——自动远距离控制。	簽訂了合同 ——正在設計
东京工艺所		3个存留槽、1个离子交换树脂塔和2个泵。	离子交换处理。	簽訂了合同

目 录

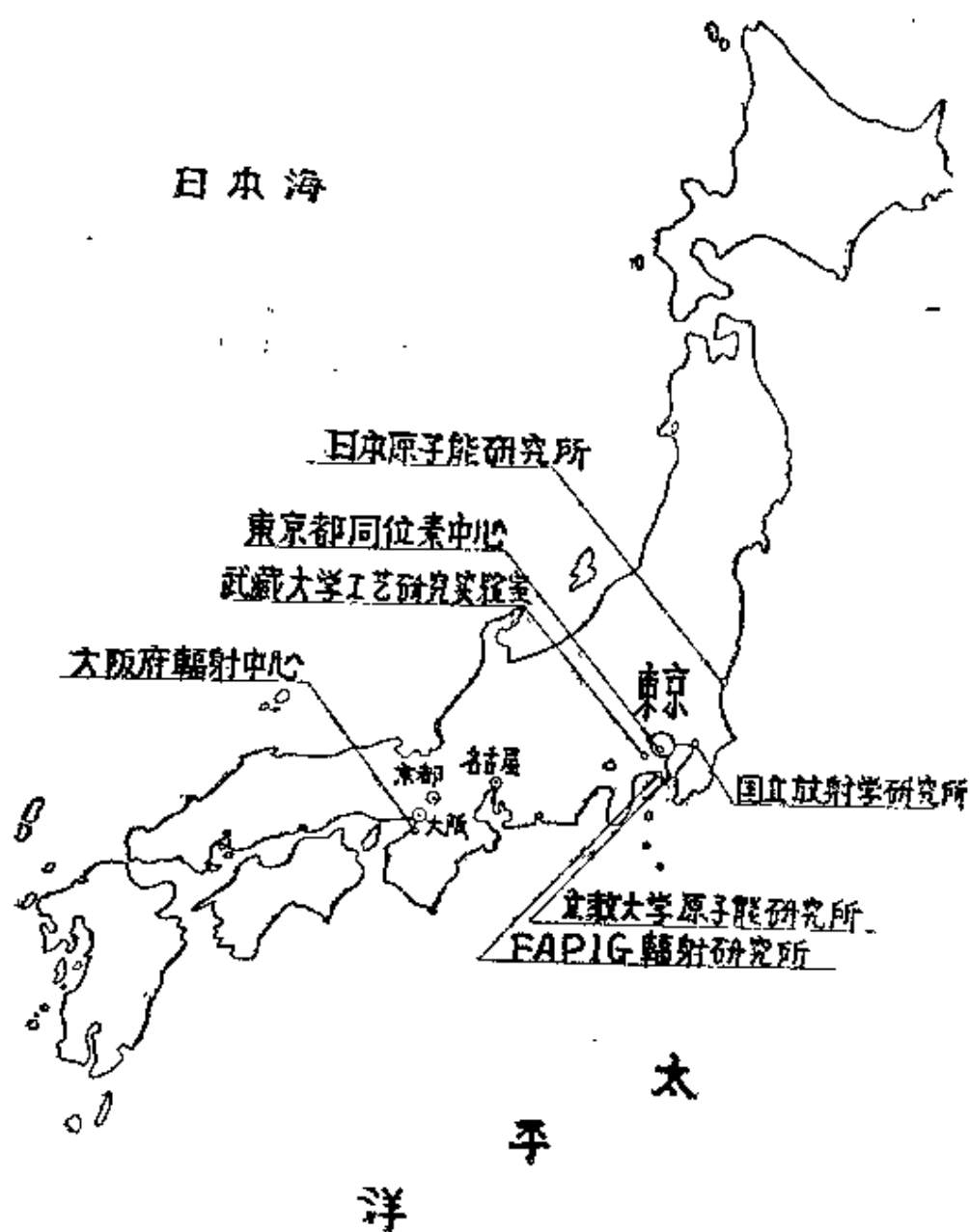
一、設計依据·····	1
二、放射性液体的净化工艺·····	3
三、JAERI(日本原子能研究所)放射性废物处理工厂的 快速沉降器的净化性能·····	7
四、东京都放射性同位素中心的仪器·····	36
五、国立放射性研究所中放液体废物处理装置·····	41

編者注：本室将原文中一些不必要的段落作了删节。

一、設計依据

放射性废物处理厂房的设计要求的依据如下：

- 1、研究或发展的种类。
- 2、在一个月內或一年內所用的或将要用的放射性核素的种类、性質和数量。
- 3、污水的放射性水平范围和数量（微居里/毫升和米³/天），或者分別以月作基础。如果水平和总量的具体数据沒有，則列举使用放射性同位素的人数。
- 4、規定放射性同位素处理和辐照危险的防护的法律和条例，尤其是水流中的放射性核素的最大允許浓度的說明。
- 5、規定放射性物質排放到自然环境里的条款或条例。
- 6、位置：处置厂房的場所和区域。
- 7、所要求的自动化程度：全部远距离控制；半远距离控制；手工控制。
- 8、所預計的废物处理厂房的类型。
- 9、动力的单位价格和放射性衰变热度，諸如电、城市瓦斯气、天然气、液化石油气、城市水和蒸汽。
- 10、在指定期間內的运轉时数。
- 11、在你們区域內的或国家內的各种放射性废物最終处置成本，諸如貯存，海洋傾倒，埋藏或其它方法。
- 12、在你們区域內或国家內的消耗物質供应情况，諸如蛭石无机离子交换材料、綠砂以及过滤介質。
- 13、預算方案。
- 14、装置的各种零件或組件的交貨允許時間。



EBARA公司制造的放射性废物处理装置在日本各地的分布位置

二、放射性液体的净化工艺

放射性液体废物来源于放射性同位素实验、原子反应堆、核燃料生产以及核燃料后处理。我们主张把收集到的废物分为三个种类，即：

1、高放废物： $>10^{-2}$ 微居里/毫升

2、中放废物： $<10^{-2}$ 微居里/毫升， $>10^{-5}$ 微居里/毫升

3、低放废物： $<10^{-5}$ 微居里/毫升

依据放射性水平，废物净化处理有所差别。方法分别描述如下。

1、高放：此种放射性水平废物最有效的处理是密封，然后贮存或抛入海洋，因为体积小。高放液体应当贮存，而且分为三类：（1）有机溶液。（2）无机酸液体。（3）无机碱液体，以便容易处置。每一种类的液体废物分别取出放入特制的瓶子里，并且贮存在指定的区域内。标出数量的瓶装的废物累积起来，经固化或不经固化，移交給日本放射性同位素协会，该协会的中央废物处置机关受日本政府委托，担负高放废物处置的责任。

2、中放：蒸发处理这类放射性水平的废物在日本是流行的方法。有时废物液体分为非挥发性的、挥发性的和起泡沫的。这些废物存在贮存槽里，使短半衰期的放射性同位素衰变。在一定的贮存期间和放射性剂量监测之后，液体废物可以由监测器确定是否需要预处理，然后蒸发处理。

通过化学凝結和在快速沉降器的沉淀（见图2）来完成预处理，在预处理过程中，为了制止蒸发器的結垢，所以要控制 pH 值和减少溶解的固体。沉淀的凝結泥浆在一定的时

間間隔內自動地排出，並且作為放射性固體廢物處理。凝結過的放射性上層清液通過過濾器，以便分離從沉淀器轉入的絮凝物，否則載帶的絮凝物能夠引起結垢和妨害預計的體積減小比率。在自動蒸汽壓縮系統中，在過濾之後可以完成脫氣作用，以防止空氣溶解在蒸發後進入設備的液體中。

在小規模的蒸發器中沒有預熱。蒸發器通常裝有去霧沫裝置、除泡沫劑的噴射器和液位控制器。通過旋風分離器和填裝有玻璃毛絮的濕氣分離器使蒸汽除去霧沫。然後乾淨的蒸汽在冷凝器內或在排管式冷凝器內冷凝。

冷凝液聚集在存留槽里，並且進行監測。假如監測結果表明，為了安全排放需要進一步的處理，那麼冷凝液就要經過離子交換處理，然後同非放射性液體污水混合，可以排放到自然環境里。在離子交換處理中獲得大於 10^6 的淨化系數。

這個工廠裝備有用稀硝酸去垢和用水清洗的管綫。濃縮過的液體廢物，作為高放廢物處理。

3、低放廢物：化學凝結、過濾以及與無機材料混合的離子交換的聯合處理被認為是大量低放液體廢物處理的典型方法。在 EBARA 的快速沉降器內進行凝結，快速沉降器是一種高速水處理設備，凝結和沉淀在同一槽內進行。聚集並存留在槽內的液體廢物直接導入快速沉降器內，在沉降器內加入適當的化學藥品，進行化學凝結。借助 pH 電極監測凝結作用。

為了使化學藥品能充分化合以及由於所用的藥品量與將要除去的各种核素的量有差別，所以經常使用兩個快速沉降器逐次進行二段凝結，以達到有效的淨化。這兩個快速沉降器也可以平行操作使用，以使沾污較輕的廢液的處理能力提高一倍。由於上層清液中夾有轉入的絮凝物，所以上層清液

用砂濾器或者通过燒結金屬過濾器過濾以消除絮凝物。从放射性观点来看，如果需要的话，那么濾出液然后再通过无机离子交換塔。之后为了監測，濾出液聚集在存留槽里。

“中放”和“低放”液体废物净化系统有管线相互连接，以便当污染程度允许时，中放废物可以转移到低放系统里。相反，当发现污染程度高于“低放”时，低放系统应当转移到中放净化系统里去。

处理工厂典型的装置以及流程图见本文的各图。图中所表示的有国立放射学研究所，东京都放射性同位素中心，大阪府辐射中心，立教大学和 FAPIG 辐射研究实验室中所使用的装置。

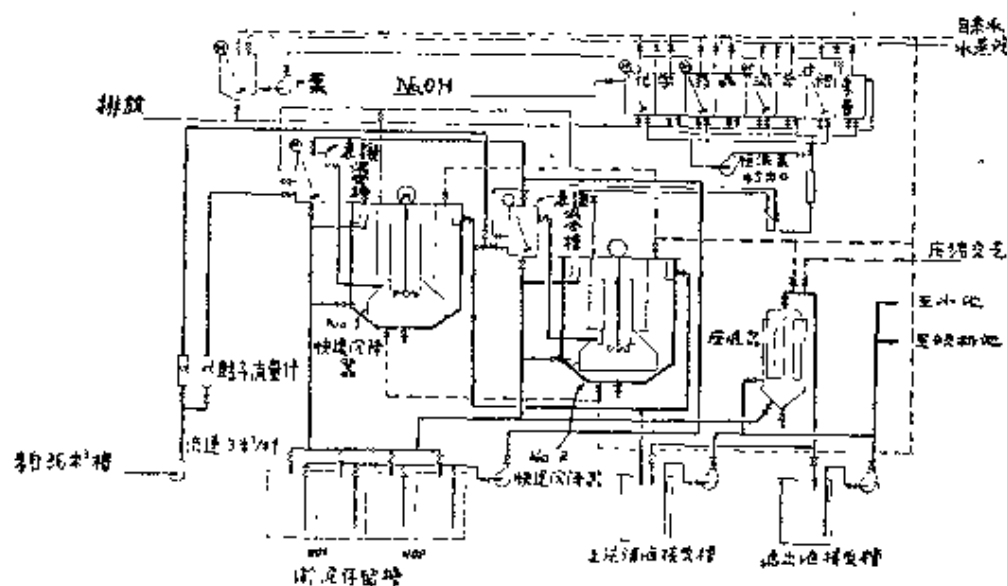


图 1 快速沉降器流程示意图

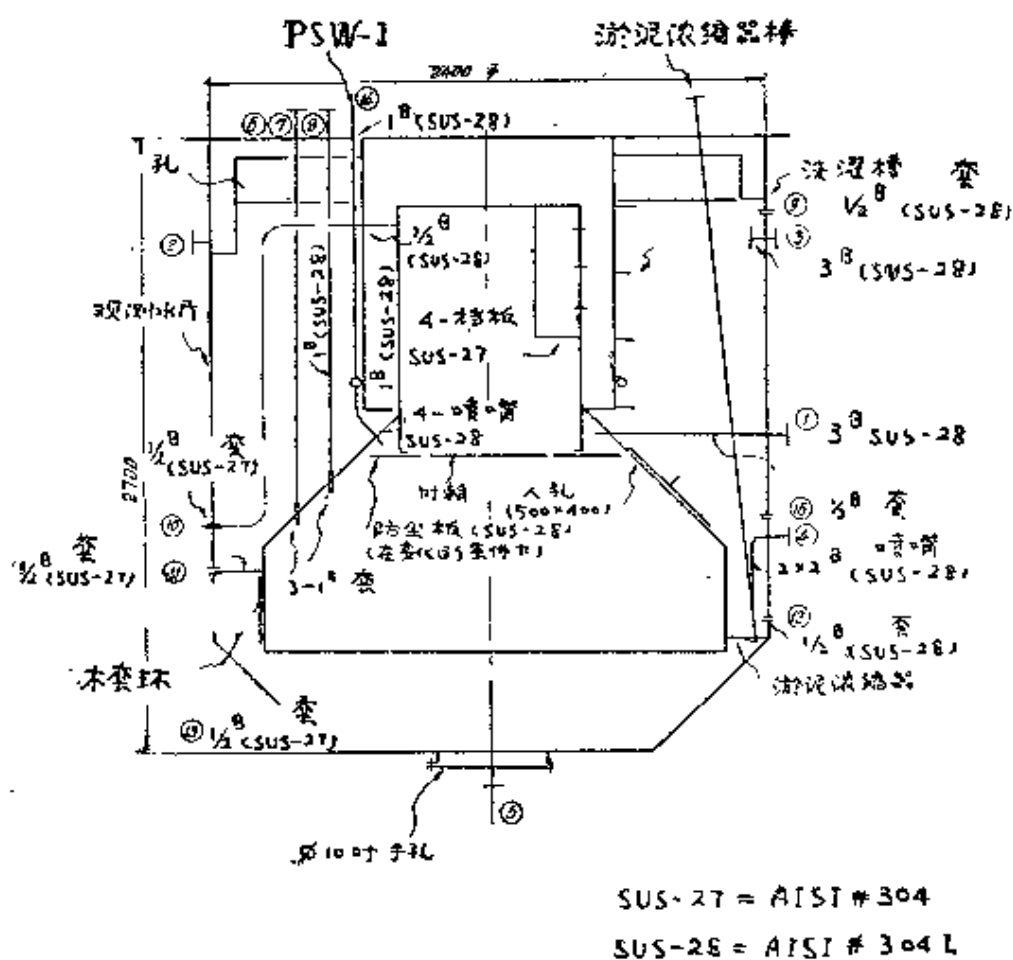


图2 快速沉降器容器剖面图

三、JAERI(日本原子能研究所)放射性废物 处理工厂的快速沉降器的净化性能

1、設備：

在1961年，JAERI建造了另外一个高速化学凝結裝置，以应付低放废水的增加。以前的凝結裝置是在同一容器中的泥浆层型的，目前建造了二个快速沉降器，因此可能进行两級化学凝結。

迄今所得的証据表明，由于废水成分的差別（也就是所含核素的差別），所以用凝聚剂組合所获得的淨化系数范围是大的，即1.3—100。对一种核素凝結剂的組合是有效的，对另外一种核素可能是无效的。因此，当有多种核素存在时和要求高的淨化系数值时，必須規定，用特殊凝結剂在第一阶段的凝結設備里，用化学方法把特殊的核素从水中分离出来。然后用其它化学藥品組合繼續在第二阶段凝結設備里把其它核素从水中有效地消除。

为了保証有較高效率的处理，日本原子能研究所采用了EBARA的二級化学凝結处理。这个是在JAERI的新裝置的显著的特点，而另一特点是燒結金属多孔隔膜片元件的压濾器（图3）。

常用的砂濾器会遇到处理放射性污染的过滤介質的問題。从所遇到的廢棄污染的过滤介質、运输和固体貯藏問題的困难考虑，JAERI决定采用隔膜片元件类型的过滤器。

隔膜片元件过滤器由30个燒結金属多孔圓筒（罐）元件組成，孔的大小是20微米，圓筒直径55毫米，长300毫米。当

过滤器被从快速沉降器带入的絮凝物堵塞时，用压缩空气再生过滤器，并使滤餅离开元件。用水力方法把累积的滤餅排除到过滤器底部，落入泥浆接受器。

快速沉降器。快速沉降器是一个高速的固体接触泥浆再循环凝結的单元，它由預混合区、輔助混合区、用作下水管的通风管、泥浆池子、上层清液分离区、淤泥浓缩器、驅動攪拌器的馬达所組成。快速沉降器的外形示于图 2。

本文所論述的每一个快速沉降器具有处理容量 8 米³/小时，并且設計为在兩級凝結系列中操作。快速沉降器可以平行操作，在处理低放污染废水时，其能力可提高一倍。

快速沉降器的額定容量的上流速度是 19 毫米/分，以防止絮凝物的轉入。必須指出的是：这个速度比之对公用水工厂的高速水处理装置和工业废水装置所考虑的标准（70—80 毫米/分）要小的多。如果有絮凝物轉入，通常的水处理装置不会遇到困难，但是污染的絮凝物会使放射性废物处理装置在操作和运轉当中带来困难。假若不考虑快速沉降器的尺寸和建造成本的增加，采用較低的上流速度是适当的，这样就可使得放射性絮凝物的轉入减至最小。

如流程图 1 所示，急驟混合器与每一个快速沉降器相組合，以保証凝結剂与液流迅速地、均匀地混合。

为了获得受控的化学葯品剂量，采用了四个手操縱的恒流速按比例定量配合的伸縮筒式的泵，流速的精密 度 是 $\pm 1\%$ 。所有的泵都运轉得非常良好，但是也許有一天一个操作員碰巧使用氯化銅作为凝結剂。不銹鋼易被氯化物腐蝕。泵的伸縮筒是不銹鋼的，以致在同氯化物接触几个小时之后，伸縮筒出現了針孔。在有了使用氯化銅的經驗之后，通知操作員使用硫酸銅，硫酸銅是非常滿意的。

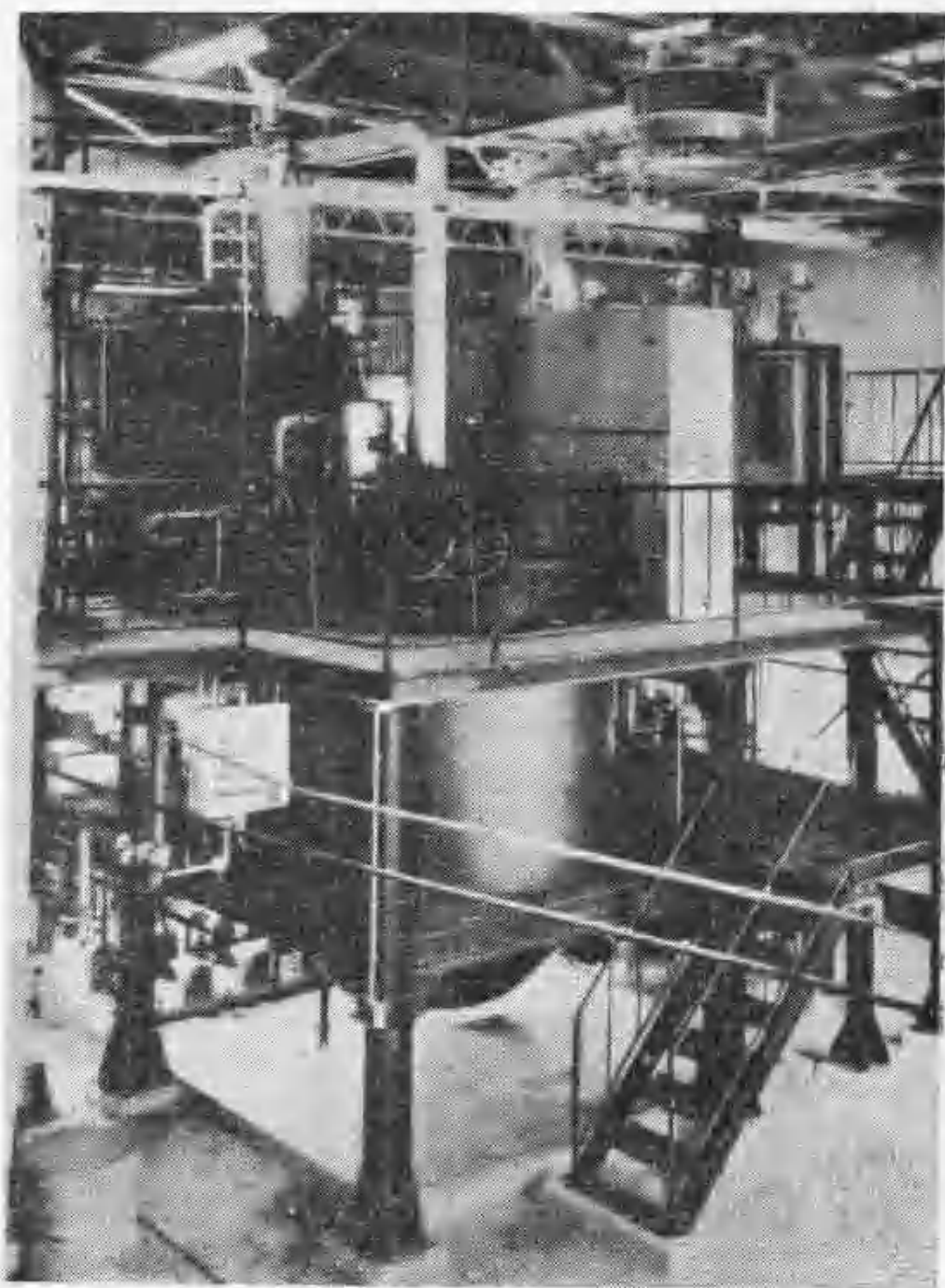
2、性能:

用核素 P^{32} , Sr^{90} 和 Y^{90} , Zr^{95} 和 Nb^{95} , Ru^{106} 和 Rh^{106} , Ce^{137} 和 Ba^{137} , Ce^{144} 和 Pr^{144} , 以及其它裂变产物检验了快速沉降器装置的性能。JAERI 水处理装置的非氟化的水混杂有若干种核素, 混杂水通过快速沉降器。

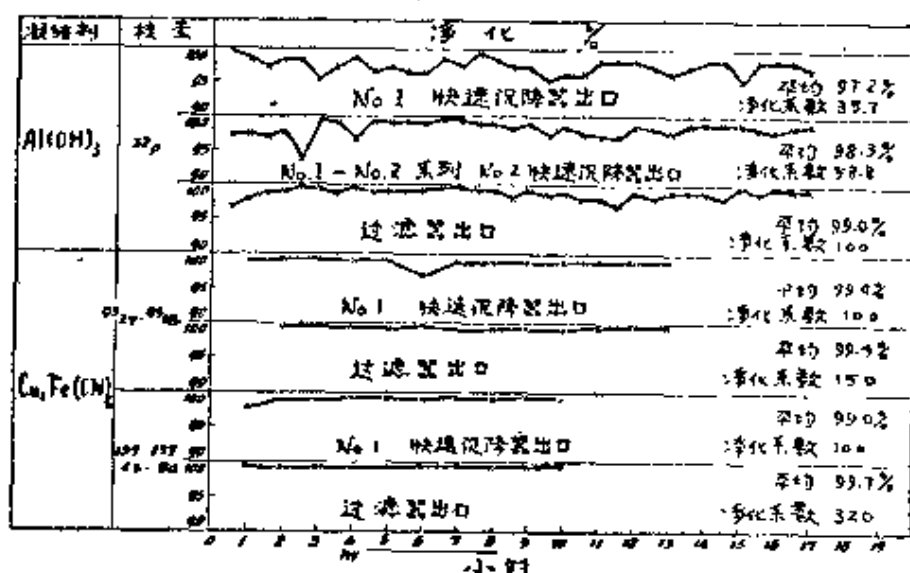
表 1 和表 2 表示用多种核素污染过的水所作的几个试验的结果。

3、各种各样的试验:

对快速沉降器和有关设备作了一系列广泛的试验, 以测定在各种条件下的效率。试验结果列于表 1 至表 6 和图 4 至图 13。每一个表和图本身就是说明。



日本原子能研究所兩級化学凝結裝置（2-快速沉降器和過濾器）



EBARA 制造公司 N. Mishio 先生于 1962.6-10 月在 JRR-1 所作的一系列实验

图 1 日本原子能研究所快速沉降器的净化性能
(该装置由 EBARA 公司制造)

放射性浓度: $1 - 5 \times 10^{-4}$ 微居/毫升

液体温度: 20—28°C

急骤混合器: 200 转/分

流速: 3 米³/时

快速沉降器搅拌器: 11 转/分

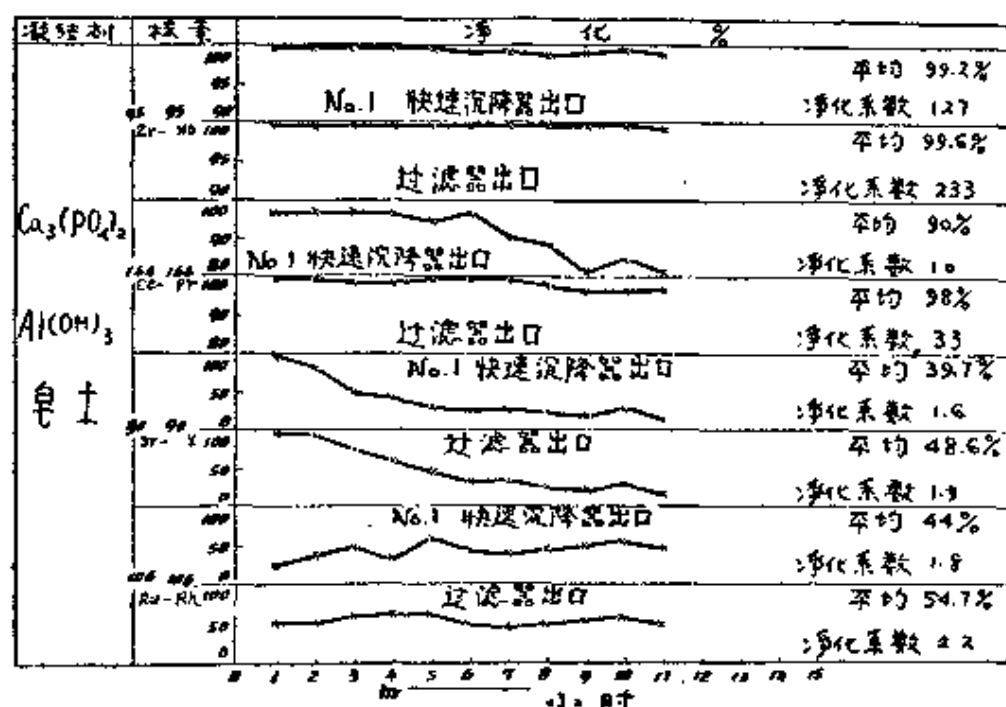


图2 日本原子能研究所快速沉降器的净化性能
(该装置由EBARA公司制造)

放射性浓度: $1-5 \times 10^{-4}$ 微居/毫升

液体温度: $20-23^\circ\text{C}$

流速: $3 \text{ 米}^3/\text{时}$

急骤混合器: 200 转/分

快速沉降器搅拌器: 11 转/分