

公開資料に基づく再処理設備内核物質保有量の推算

岩 本 多 實*

Estimation of Nuclear Material Inventory in Process Equipment of the Commercial Reprocessing Plant Based on the Open Documents

Kazumi Iwamoto

The construction of the large commercial reprocessing plant is under way by Japan Nuclear Fuel Co., and the documents submitted to the Government in order to obtain the reprocessing business permission are made open to the public. It is interesting to calculate the amounts of nuclear materials in the process equipment based upon the documents from view points of safeguards and physical protection for the materials. Since all the necessary data were not given in the documents, estimation of dimension and average concentration was done in many cases. The results are given for 43 process equipment and 67 storage tanks in the table including the details of calculation.

1. はじめに

本格的原子力発電時代を迎え、原子力発電の供給安定性を高め、我が国のエネルギーセキュリティを確保していくためには、使用済み燃料を再処理し、プルトニウム及び回収ウランの利用を図る原子燃料サイクルの確立が必要不可欠である。このため日本原燃（株）は再処理工場を青森県の六ヶ所村に建設中であり、事業許可取得のための「六ヶ所事業所再処理事業指定申請書（平成元年3月）」及び「同変更許可申請書（平成8年4月）」を提出し、公開されている¹⁾ほか、設備概要を報告している²⁾。

この工場では年間 800 t のウランが処理され、プルトニウムは P u/U 比を 11/1000 として約 8.8 t 生産されることから、操業では、我が国の法律に基づき、核物質の計量管理を実施し核物質防護対策を講じることのほか、国際原子力機関の保障措置を受けねばならない。このため設備内の核物質在庫量を正確にリアルタイムに把握する必要があるが、操業後でないと特定できない操業態様などのため、事前の把握は不可能である。しかしながら、公開資料から核物質在庫量がどの程度まで推算できるかを検討することは保障措置や核物質防護対策上の関心事である。このため

* 応用理化学科

本研究では、この公開資料を基に、処理工程を構成する装置類や貯槽類など各種の機器が保有し得る最大の核物質質量（以下、保有量と言う）を推算することとした。

2. 再処理工程

使用済み燃料はピュレックス法によって再処理される。すなわち、貯蔵プールから取出され、せん断、硝酸溶解の後、溶媒抽出によりUとPuに分離、精製され、最終的に脱硝して酸化物にしてから保管される。なお、高レベル廃棄物は、ガラス化された後保管される。

使用済み燃料は容量 3000 t Uの貯蔵プールで貯蔵の後、せん断機で1日当たりBWR燃料体で最大4.2 t U、PWR燃料体で5.25 t Uの燃料を切断し、回転形連続溶解槽で溶解、よう素迫出し、清澄の後、計量・調整槽で濃度を調整し、U、Puが計量される。

溶解液は環状形パルスカラムで溶媒（n-ドデカンで希釈したりん酸三ブチル（TBP））で核分裂生成物を除去した後、UとPuに分離される。溶媒側のUはミキサセトラで洗浄、逆抽出され、ウラン濃縮缶で濃縮され、水相側のPuは円筒形パルスカラムやミキサセトラで洗浄される。

分離されたUとPuの溶液は1日当たり最大処理能力4.8 t Uのウラン精製設備と54 kg Puのプルトニウム精製設備で、それぞれ別々に精製される。精製工程は当初、2段階であったが、平成4年の変更申請で1段階に変更された。U溶液はミキサセトラで溶媒抽出、洗浄、逆抽出し、ウラン濃縮缶で濃縮して精製される。Pu溶液は酸化、脱ガス、溶媒抽出、硝酸洗浄、さらに逆抽出、洗浄の後、プルトニウム濃縮缶で濃縮される。この精製にはTBP洗浄のミキサセトラを除いて、すべて円筒形パルスカラムが用いられ、濃縮には熱サイフォン式自然循環型の連続蒸発缶が用いられる。Pu濃縮液は受け槽を経て計量の後、脱硝施設に移送される。Puを多量含む液の貯留には、臨界管理の観点から環状形貯槽が用いられる。

受け入れた硝酸ウラン溶液は脱硝塔で UO_2 とした後、貯蔵される。また硝酸プルトニウムは硝酸ウラン液と1対1の割合で混合し、脱硝して混合酸化物とした後、貯蔵される。

3. 機器内の核物質保有量の計算方法

(1) 対象機器

再処理工程の装置や貯槽など各種の機器内の核物質保有量は、液状の場合、機器の容積と核物質濃度の積によって、また固体の場合、その重量によって与えられる。対象とした機器は装置43基、貯槽類67基、計110基である。精製系の1段階化により装置10基、貯槽5基が減少している。各機器名は後に示す結果一覧表の中に記されている。なお、貯蔵プール内、配管内並びに核物質防護上非開示の箇所（脱硝設備の一部と製品貯蔵）の核物質質量は計算の対象外とした。貯槽の場合、容積は申請書記載の値を用い、濃度は記載されている給液濃度の値を用いた。

(2) 装置の容積と濃度

溶液を扱う装置の核物質質量はその有効容積と平均濃度の積として求められるが、申請書に記載されていない場合が多いので以下の方法を採用した。

① 容積：申請書に装置の図が記載されている場合には、各部の寸法を図から読み取り、既知

の寸法を基に比例関係で求める。

② 平均濃度：抽出・分配装置の棚段部のように1相から他相への成分移動が起こる場合は濃度分布を求め、平均濃度を算出する。分配、洗浄装置や塔頂部、塔底部の濃度は一定とする。

(3) パルスカラムの場合

塔頂部、棚段部、塔底部からなるパルスカラムでは、棚段部の上と下とから溶液や溶媒が供給され、物質移動が起こる。塔頂部は溶媒のみ、塔底部は溶液のみ存在する。

① 容積：申請書記載の直径、高さなどを基に、他の箇所を図から読み取り寸法を求め、容積を算出する。環状形の塔頂部、塔底部の内径は記されている臨界管理制限値から推測する。なお、塔頂部の溶媒出口は高さの3/4の位置にあり、塔底部の溶液出口は塔底にあるものとする。

② 平均濃度：棚段部の抽出操作の場合の濃度分布と平均濃度は以下の方法で求めた。下降する水相中の抽質はその時の濃度に比例して上昇する有機相に抽出されるものと仮定すれば、水相中濃度は塔の軸方向に上から下へ指数関数的に減少し、抽出された分だけが有機相中であって濃度分布を形成する。溶質の給液濃度を C_{A0} 、高さ方向の距離を x とすれば、水相中濃度 C_A は $C_A = C_{A0} \exp(-k x)$ で表される。定数 k は、塔高を1とすると抽質の回収率 η は $\eta = \int C_A dx / \int C_A dx = 1 - \exp(-k x)$ であるから、 $k = -\ln(1 - \eta)$ となる。したがって $C_A = C_{A0} \exp[(x/1) \ln(1 - \eta)]$ で表され、塔内の平均濃度 $\overline{C_A}$ として、 C_A を0から1まで積分して $\overline{C_A} = \int C_A dx / 1 = C_{A0} \eta / \{-\ln(1 - \eta)\} = C_{A0} f_c$ を得る。ここに $f_c = \eta / \{-\ln(1 - \eta)\}$ を平均濃度化因子と定義し、平均濃度は供給液濃度 C_{A0} に f_c を乗じて得られる。

実プラントの回収率は不明であるが、 $\eta = 0.995$ と見なして $f_c = 0.1878$ を用いた。なお、塔内の有機相中の濃度は有機相(V_o)/水相(V_A)の比に支配されるが、抽質量は両相同一であるから、塔内の全抽質量は水相中の量の2倍となる。

(4) その他の機器の濃度

ミキサセトラでは有機相(V_o)/水相(V_A)比は不明なので1として濃度を求める。蒸発濃縮缶は熱サイホン式自然循環型であり、缶内液は循環を繰り返しながら蒸発濃縮されるので、缶内液濃度は取り出す濃縮液と同じとする。充填塔では塔内の充填物をラシヒリングと仮定し、空間充填率0.4、液相と気相の割合を1対1と見なし、液相の占有率を塔内全体の0.3として、申請書記載の給液濃度を用いる。

4. 核物質保有量の計算結果

(1) 全体概要

再処理工程全体で110基の各機器に対し、利用率を工程内貯槽100%、一時貯槽0%、装置100%として核物質保有量の計算を行った。計算の経緯を含めた各機器に対する結果を表1に示す。この表は製品貯蔵及び配管内の核物質量を除外しており、再処理工程の主要機器毎、設備毎、建屋毎並びに施設全体について核物質量がわかるようにしている。主な知見は以下の通りである。

(2) 主要装置の核物質量

表 1 大型再処理施設工程内

建家	設備名	No	主要機器		基数	機器寸法			容積 (cm ³) 段数 (-)	有機/ 水比 Vo/Va ()	機器 有効容積 (m ³)
			名 称	種 類		外径 /縦 (cm)	内径 /横 (cm)	高さ /奥行 (m)			
前 処 理 建 屋	せん断 処理設備	1	せん断機	横型	1						
	溶解設備 BWR:4.2 PWR:5.25 (t/d)	1	溶解槽	回転連続式	1						3.00
		2	第1よう素迫出し槽	縦置板状形	1						1.20
		3	第2よう素迫出し槽	縦置板状形	1						1.20
		4	中間ボット	縦置円筒形	1						0.14
	清澄・計量 設備	1	中継槽	縦置円筒形	1						7.00
		2	清澄機	遠心式	1						?
		3	リサイクル槽	縦置円筒形	1						2.00
		4	計量前中間貯槽	縦置円筒形	1						25.00
		5	計量調整槽	縦置円筒形	1						25.00
		6	計量後中間貯槽	縦置円筒形	1						25.00
分 離 建 屋	分離設備 最大処理 能力: 4.8tU/d, 54kgPu/d	1	溶解液中間貯槽	縦置円筒形	1						25.00
		2	溶解液供給槽	縦置円筒形	1						6.00
		3	抽出塔*2)	環状形バルブ法	1	49.0	31.0	10.1	1.14	1.0	1.62
				塔頂環状部		163.0	145.0	1.5	0.48		
				塔底環状部		122.0	104.0	1.5	0.47		
		4	第1洗浄塔*3)	環状形バルブ法	1	49.0	31.0	10.1	1.14	1.5	1.62
				塔頂環状部		163.0	145.0	1.47	0.48		
				塔底環状部		122.0	104.0	1.5	0.47		
		5	第2洗浄塔	環状形バルブ法	1	49.0	31.0	13.0		1.5	1.62
				抽出塔と同じ							
	分配設備 最大処理 能力: 4.8tU/d, 54kgPu/d	1	Pu分配塔*4)	環状形バルブ法	1	65.0	47.0	10.0	1.58	6.7	2.31
				塔頂環状部		180.0	162.0	1.5	0.72	6.7	2.18
				塔底環状部		150.0	132.0	1.5	0.60		
		2	Pu洗浄器*5)	ミキサセトラ	1	60.0	50.0	2.5	6	1.0	4.50
		3	U逆抽出器	ミキサセトラ	1	60.0	50.0	2.5	8	1.0	6.00
		4	U溶液TBP洗浄器	ミキサセトラ	1	60.0	50.0	2.5	3	1.0	2.25
		5	U濃縮液供給槽	縦置円筒形	1						25.00
		6	U濃縮缶	熱サイホン式	1						5.30
		7	U濃縮液受槽	縦置円筒形	1						10.00
		8	U洗浄塔	円筒形バルブ法	1		20.0	11.0	0.35	1.0	0.43
				塔頂環状部		40.0	22.0	1.0	0.09		
				塔底環状部		40.0	22.0	1.0	0.09		
		9	Pu溶液TBP洗浄器	ミキサセトラ	1	20.0	16.7	0.8	3	1.0	0.25
		10	Pu溶液受槽	環状形	1						3.00
		11	Pu溶液中間貯槽	環状形	1						3.00
	分離建屋 一時貯留 設備	1	第1一時貯留処理槽	環状形*6)	1						3.00
		2	第2一時貯留処理槽	環状形*7)	1						3.00
		3	第3一時貯留処理槽	縦置円筒形*8)	1						20.00
		4	第4一時貯留処理槽	縦置円筒形*9)	1						20.00
		5	第5一時貯留処理槽	環状形*10)	1						3.00
		6	第6一時貯留処理槽	縦置円筒形*6)	1						1.00
		7	第7一時貯留処理槽	環状形*6)	1						3.00
		8	第8一時貯留処理槽	環状形*6)	1						4.00
		9	第9一時貯留処理槽	縦置円筒形*11)	1						10.00
		10	第10一時貯留処理槽	縦置円筒形*12)	1						12.00
精 製 建 屋	ウラン 精製設備 1系列で 最大処理 能力: 4.8tU/d	1	U溶液供給槽	縦置円筒形	1						15.00
		2	抽出器	ミキサセトラ	1	60.0	50.0	2.5	7	1.0	5.25
		3	核分裂生成物洗浄器	ミキサセトラ	1	60.0	50.0	2.5	7	1.0	5.25
		4	逆抽出器	ミキサセトラ	1	60.0	50.0	2.5	8	1.0	6.00
		5	溶液TBP洗浄器	ミキサセトラ	1	60.0	50.0	2.5	3	1.0	2.25
		6	U濃縮液供給槽	縦置円筒形	1						15.00
		7	U濃縮缶	熱サイホン式	1						4.00
		8	U濃縮液第1受槽	縦置円筒形	1						15.00
		9	濃縮液第1中間貯槽	縦置円筒形	1						10.00
		10	U濃縮液第2受槽	縦置円筒形	1						50.00
		11	U濃縮液第2中間貯槽	縦置円筒形	1						40.00
		12	U濃縮液第3中間貯槽	縦置円筒形	1						2.00
		13	リサイクル槽		1						10.00
		14	ウラナス製造器他		1						?
	プルト ニウム 精製設備	1	溶液供給槽	環状形	1						4.00
		2	第1酸化塔	充てん塔*13)	1		15.0	7.6		0.3	0.13
		3	第1脱ガス塔	充てん塔	1		17.0	9.0		0.3	0.20
		4	抽出塔	円筒形バルブ法	1		21.0	9.0	0.31	1.0	0.39
				塔頂環状部		40.0	24.0	1.0	0.08		
				塔底環状部		40.0	24.0	1.0	0.08		

核物質保有量の推算(変更申請後)*1)

(その1/2)

工程内液濃度、運転情報等 及び 設備、建屋毎保有量合計表示	機器内濃度		平均 濃度 化因 子(-)	機器内 平均濃度		利 用 率	全核物質保有量					
	U (g/l)	Pu (g/l)		U (g/l)	Pu (g/l)		装置内		貯槽内		建屋、設備別	
							全U量 (kg)	全Pu量 (kg)	全U量 (kg)	全Pu量 (kg)	全U量 (kg)	全Pu量 (kg)
処理量: BWR:4.2, PWR:5.25t/d	-	-	-	-	-	1	460.0	5.1	-	-	460.0	5.1
せん断設備小計							460.0	5.1	-	-	460.0	5.1
給液6N-HNO ₃ , 0.8m ³ /h	250.0	3.0	1.00	250.0	3.0	1	750.0	9.0	-	-	-	-
溶解後3N-HNO ₃ , 250(U+Pu)g/l	250.0	3.0	1.00	250.0	3.0	1	300.0	3.6	-	-	-	-
3N-HNO ₃ , 250(U+Pu)g/l	250.0	3.0	1.00	250.0	3.0	1	300.0	3.6	-	-	-	-
3N-HNO ₃ , 250(U+Pu)g/l	250.0	3.0	1.00	250.0	3.0	1	-	-	35.0	0.4	-	-
溶解設備小計							1350.0	16.2	35.0	0.4	1385.0	16.6
3N-HNO ₃ , 250(U+Pu)g/l	250.0	3.0	1.00	250.0	3.0	1	-	-	1750.0	21.0	-	-
3N-HNO ₃ , 250(U+Pu)g/l	250.0	3.0	1.00	250.0	3.0	1	?	?	-	-	-	-
3N-HNO ₃ , 250(U+Pu)g/l	250.0	3.0	1.00	250.0	3.0	1	-	-	500.0	6.0	-	-
3N-HNO ₃ , 250(U+Pu)g/l	250.0	3.0	1.00	250.0	3.0	1	-	-	6250.0	75.0	-	-
3N-HNO ₃ , 250(U+Pu)g/l	250.0	3.0	1.00	250.0	3.0	1	-	-	6250.0	75.0	-	-
3N-HNO ₃ , 250(U+Pu)g/l	250.0	3.0	1.00	250.0	3.0	1	-	-	6250.0	75.0	-	-
清浄・計量設備小計							0.0	0.0	21000.0	252.0	21000.0	252.0
前処理建屋保有量合計							1810.0	21.3	21035.0	252.4	22845.0	273.7
	250.0	3.0	1.00	250.0	3.0	1	-	-	6250.0	75.0	-	-
	250.0	3.0	1.00	250.0	3.0	1	-	-	1500.0	18.0	-	-
Vo/Va=2.3/(0.8+X水), 両相の核物質同量、塔頂濃度=250x0.8/2.3-87	80.0	0.9	0.188	44.9	0.5	1	72.6	0.8	0.0	0.0	-	-
Vo/Va=2.3/1.5, 核物質は有機相のみ、寸法は抽出塔と同一、塔底部U, Pu無し	80.0	0.9	1.00	63.6	0.7	1	102.8	1.1	0.0	0.0	-	-
Vo/Va=2.3/1.5, 出口2.3m ³ /h, 80gU/l, 0.9gPu/l、第1塔に同じ	80.0	0.9	1.00	63.6	0.7	1	102.8	1.1	0.0	0.0	-	-
分離設備小計							278.1	3.1	7750.0	93.0	8028.1	96.1
供給溶媒80gU/l, 0.9gPu/l⇒U溶媒側、Pu出口水相側0.3m ³ /h, 6gPu/l	80.0	-	1.00	69.6	-	1	160.5	-	-	-	-	-
	-	6.0	0.188	-	2.5	1	-	5.7	-	-	-	-
	80.0	0.0	1.00	40.0	0.0	1	180.0	0.0	-	-	-	-
	80.0	0.0	1.00	40.0	0.0	1	240.0	0.0	-	-	-	-
	80.0	0.0	1.00	40.0	0.0	1	90.0	0.0	-	-	-	-
0.1N-HNO ₃ , 60gU/l	60.0	0.0	1.00	60.0	0.0	1	-	-	1500.0	0.0	-	-
給液3.4m ³ /h, 缶液0.8N-HNO ₃ 濃縮液0.6m ³ /h, 350gU/l	330.0	0.0	1.00	330.0	0.0	1	1749.0	0.0	-	-	-	-
0.8N-HNO ₃ , 330gU/l	330.0	0.0	1.00	330.0	0.0	1	-	-	3300.0	0.0	-	-
Puは水相側, 1.8N-HNO ₃ , 0.3m ³ /h, 6gPu/l	0.0	6.0	1.00	0.0	3.0	1	0.0	1.3	-	-	-	-
1.8N-HNO ₃ , 0.3m ³ /h, 6gPu/l	0.0	6.0	1.00	0.0	3.0	1	0.0	0.8	-	-	-	-
1.8N-HNO ₃ , 6gPu/l	0.0	6.0	1.00	0.0	6.0	1	-	-	0.0	18.0	-	-
1.8N-HNO ₃ , 6gPu/l	0.0	6.0	1.00	0.0	6.0	1	-	-	0.0	18.0	-	-
分配設備小計							2419.5	7.7	4800.0	36.0	7219.5	43.7
	?	?	1.00	?	?	0	-	-	0.0	0.0	-	-
1.8N-HNO ₃ , 6gPu/l	?	?	1.00	?	?	0	-	-	0.0	0.0	-	-
	?	?	1.00	?	?	0	-	-	0.0	0.0	-	-
	?	?	1.00	?	?	0	-	-	0.0	0.0	-	-
	?	?	1.00	?	?	0	-	-	0.0	0.0	-	-
	?	?	1.00	?	?	0	-	-	0.0	0.0	-	-
	?	?	1.00	?	?	0	-	-	0.0	0.0	-	-
	?	?	1.00	?	?	0	-	-	0.0	0.0	-	-
	?	?	1.00	?	?	0	-	-	0.0	0.0	-	-
	?	?	1.00	?	?	0	-	-	0.0	0.0	-	-
一時貯蔵設備小計							0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
分離建屋保有量合計							2697.6	10.8	12550.0	129.0	15247.6	139.8
給液1N-HNO ₃ , 340gU/1tドラン入	340.0	-	1.00	340.0	-	1	-	-	5100.0	0.0	-	-
給液1N-HNO ₃ , 0.6m ³ /h, 340gU/l	340.0	-	0.188	127.7	-	1	670.4	0.0	-	-	-	-
給液溶媒側340gU/l	340.0	-	1.00	170.0	-	1	892.5	0.0	-	-	-	-
給液溶媒側340gU/l, 出口水相側	340.0	-	1.00	170.0	-	1	1020.0	0.0	-	-	-	-
給液0.05N-HNO ₃ , 3m ³ /h, 70gU/l	70.0	-	1.00	35.0	-	1	78.8	0.0	-	-	-	-
給液0.04N-HNO ₃ , 3.1m ³ /h, 70gU/l	70.0	-	1.00	70.0	-	1	-	-	1050.0	0.0	-	-
給液:同上, 出口:次受槽	400.0	-	1.00	400.0	-	1	1600.0	0.0	-	0.0	-	-
給液0.2N-HNO ₃ , 0.5m ³ /h, 400gU/l	400.0	-	1.00	400.0	-	1	-	-	6000.0	0.0	-	-
給液0.2N-HNO ₃ , 0.5m ³ /h, 400gU/l	400.0	-	1.00	400.0	-	1	-	-	4000.0	0.0	-	-
給液0.2N-HNO ₃ , 0.5m ³ /h, 400gU/l	400.0	-	1.00	400.0	-	1	-	-	20000.0	0.0	-	-
給液0.2N-HNO ₃ , 0.5m ³ /h, 400gU/l	400.0	-	1.00	400.0	-	1	-	-	16000.0	0.0	-	-
給液0.2N-HNO ₃ , 0.5m ³ /h, 400gU/l	400.0	-	1.00	400.0	-	1	-	-	800.0	0.0	-	-
詳細不明	-	-	-	-	-	-	-	-	?	-	-	-
0.1m ³ /h, 詳細不明	-	-	-	-	-	-	?	-	-	-	-	-
ウラン精製設備小計							4261.7	0.0	52950.0	0.0	57211.7	0.0
1.8N-HNO ₃ , 6gPu/l	-	6.0	1.00	-	6.0	1	-	-	0.0	24.0	-	-
給液0.5m ³ /h, 1.8N-HNO ₃ , 4gPu/l	-	4.0	1.00	-	1.2	1	-	0.2	-	-	-	-
給液0.5m ³ /h, 1.8N-HNO ₃ , 4gPu/l	-	4.0	1.00	-	1.2	1	0.0	0.2	-	-	-	-
給液:0.5m ³ /h, 4.5N-HNO ₃ , 4gPu/l Puを溶媒抽出	-	4.0	0.188	-	1.4	1	0.0	0.6	-	-	-	-

表1 大型再処理施設工程内

建家	設備名	No	主要機器		基 数	機器寸法			容積 (cm^3) 段数	有機/ 水比 V_o/V_a (-)	機器 有効 容積 (m^3)
			名 称	種 類		外径 /縦 (cm)	内径 /横 (cm)	高さ /奥行 (m)			
精製 建 屋	1系列で 最大処理 能力: 54kgPu/d	5	核分裂生成物洗浄塔	円筒形バルク法	1		15.0	10.0	0.18	1.0	0.23
			塔頂環状部			30.0	14.0	1.0	0.06		
			塔底環状部			30.0	14.0	1.0	0.06		
		6	逆抽出塔	円筒形バルク法	1		15.0	9.0	0.16	4.3	0.21
			塔頂環状部			30.0	14.0	1.0	0.06		
			塔底環状部			30.0	14.0	1.0	0.06		
		7	U洗浄塔	円筒形バルク法	1		9.0	9.0	0.06	1.0	0.08
			塔頂環状部			18.0	2.0	1.0	0.03		
			塔底環状部			18.0	2.0	1.0	0.03		
		8	補助油水分離槽	縦置円筒形	1						0.10
		9	TBP洗浄器	ミキサセトラ	1	20.0	16.7	0.8	5	1.0	0.13
		10	第2酸化塔	充てん塔	1		9.0	7.6		0.3	0.05
		11	第2脱ガス塔	充てん塔	1		11.0	9.0		0.3	0.09
		12	Pu溶液受槽	環状形	1						1.00
		13	油水分離槽	環状形	1						1.00
		14	Pu溶液一時貯槽	環状形	1						1.00
		15	Pu濃縮缶供給槽	環状形	1						3.00
		16	Pu濃縮缶	熱対流式	1						0.20
		17	Pu濃縮液受槽	環状形	1						1.00
		18	Pu濃縮液一時貯槽	環状形	1						1.50
		19	Pu濃縮液計量槽	環状形	1						1.00
		20	Pu濃縮液中間貯槽	環状形	1						1.00
		21	リサイクル槽	環状形	1						1.00
		22	希釈槽	環状形	1						2.50
精製建屋 一時貯留 設備		1	第1一時貯留処理槽	環状形*14)	1						1.50
		2	第2一時貯留処理槽	環状形*14)	1						1.50
		3	第3一時貯留処理槽	環状形*15)	1						3.00
		4	第4一時貯留処理槽	環状形*16)	1						2.00
		5	第5一時貯留処理槽	縦置円筒形*17)	1						3.00
		7	第7一時貯留処理槽	縦置円筒形*18)	1						10.00
		8	第8一時貯留処理槽	横置円筒形*19)	1						10.00
		9	第9一時貯留処理槽	縦置円筒形*20)	1						5.00
脱 硝 建 屋	ウラン 脱硝設備 2系列で 最大処理 能力: 4.8tU/d	1	硝酸ウラニル貯槽	縦置円筒形	2						50.00
		2	硝酸ウラニル供給槽	縦置円筒形	1						2.00
		3	濃縮缶	熱対流式	1						0.70
		4	濃縮液受槽	縦置円筒形	1						2.00
		5	脱硝塔	流動槽式	2						?
		6	シール槽	縦置円筒形	2						0.25
		7	UO ₃ 受槽	縦置円筒形	2						0.50
		8	U酸化物貯蔵容器		?						?
		9	規格外製品受槽	縦置円筒形	2						0.15
		10	規格外製品容器	縦置円筒形	2						0.15
		11	UO ₃ 溶解槽	二槽連結形	1						0.40
	ウラン・ プルト ニウム 混合脱硝 設備 2系列で 最大処理 能力: 108kg (Pu-U)/d (Pu/U-1)	1	硝酸ウラニル貯槽	縦置円筒形	1						2.00
		2	硝酸Pu貯槽	環状形	1						1.00
		3	混合槽	環状形	2						1.00
		4	一時貯槽	環状形	1						1.00
		5	定量ボット	縦置円筒形	4						0.01
		6	中間ボット	縦置円筒形	2						0.01
		7	脱硝装置*21)	マイクロ波加熱方式	2		45.0	8.0			0.01
		8	脱硝皿取扱装置	機械搬送方式	2						0.06
		9	焙焼缶*22)	ロケット方式	2						不明
		10	還元缶*23)	ロケット方式	2						不明
		11	粉碎機	縦置円筒形	2						不明
再処理工程全体 (せん断から脱硝まで)		12	保管容器	縦置円筒形	?					*24)	不明
		13	保管ピット	縦置方式	2						不明
		14	混合機	縦置平板形	1						不明
		15	粉末充てん機	縦置円筒形	1						不明
		16	粉末缶								不明
		17	混合酸化物貯蔵容器								不明

- (1) 使用済み燃料貯蔵と製品貯蔵を除いた処理工程(配管内除く)に対する核物質質量(保有量)の計算
- *2) 核物質は棚段部・塔頂部のみに存在すると、平均濃度=(有効塔頂 $\times 3/4 \times$ 機器内濃度+棚段部 \times 機器内濃度 \times 平均化因子 $\times 2/(\text{塔頂}+\text{棚段})$ 容積; 2は水相+有機相で2倍のため、
平均濃度化因子: $-\eta/\ln(1-\eta)$ で $\eta=0.995$ と置き0.1878; 機器内濃度=80を入れて平均濃度を計算。
- *3) 平均濃度=(有効塔頂 $\times 3/4 \times$ 機器内濃度+棚段部 \times 機器内濃度 \times 平均化因子 \times 溶媒分率/(\text{塔頂}+\text{棚段})容積
溶媒分率= $V_o/(V_o+V_a)$ *5) ミキサは $V_o/V_a=1$ で核物質はいずれか一方側にあるとする
- *4) U量: 容量 $\times 6.67/(6.67 \cdot 1) \times 80$ *6) 分離設備等から
Pu量: 容量 $\times 1/(6.67 \cdot 1) \times 6 \times (1/4 \cdot (3/4) \times 0.1878)$ *7) 分離設備等からPu中間貯槽漏洩液
塔頂底寸法は抽出部の2.5~3倍と推測

核物質保有量の推算(変更申請後)*1)

(その2/2)

工程内液濃度、運転情報等 及び 設備、建屋毎保有量合計表示	機器内濃度		平均 濃度 因子(-)	機器内 平均濃度		利 用 率(-)	全核物質保有量					
	U (g/l)	Pu (g/l)		U (g/l)	Pu (g/l)		装置内		貯槽内		建屋、設備別	
							全U量 (Kg)	全Pu量 (Kg)	全U量 (Kg)	全Pu量 (Kg)	全U量 (Kg)	全Pu量 (Kg)
溶媒4gPu/lを硝酸で洗浄	-	4.0	1.00	-	2.0	1	-	0.5	-	-	-	-
Vo/Va=17/4=4.25, 溶液17gPu/l Puは溶媒から水相へ、26gPu/l 水相	-	17.0	0.188	-	1.8	1	-	0.4	-	-	-	-
Pu水相26gPu/l、溶媒でUを除去	-	24.0	1.00	-	12.0	1	-	1.0	-	-	-	-
	-	24.0	1.00	-	24.0	1	-	-	0.0	2.4	-	-
	-	26.0	1.00	-	22.9	1	-	3.1	-	-	-	-
	-	24.0	1.00	-	7.2	1	-	0.3	-	-	-	-
	-	24.0	1.00	-	7.2	1	-	0.6	-	-	-	-
	-	24.0	1.00	-	24.0	1	-	-	0.0	24.0	-	-
	-	24.0	1.00	-	24.0	1	-	-	0.0	24.0	-	-
	-	24.0	1.00	-	24.0	1	-	-	0.0	24.0	-	-
1.6N HNO ₃ , 24gPu/l	-	24.0	1.00	-	24.0	1	-	-	0.0	72.0	-	-
0.09m ³ /h, 出口250gPu/l, 7N-HNO ₃	-	250.0	1.00	-	250.0	1	-	50.0	-	-	-	-
7N-HNO ₃ , 250gPu/l	-	250.0	1.00	-	250.0	1	-	-	0.0	250.0	-	-
	-	-	-	-	-	?	-	-	?	-	-	-
7N-HNO ₃ , 250gPu/l	-	250.0	1.00	0.0	250.0	1	-	-	-	250.0	-	-
7N HNO ₃ , 250gPu/l	-	250.0	1.00	0.0	250.0	1	-	-	0.0	250.0	-	-
7N HNO ₃ , 250gPu/l	-	250.0	1.00	0.0	250.0	?	-	-	?	-	-	-
	-	?	1.00	0.0	0.0	?	-	-	?	-	-	-
プルトニウム精製設備小計	-	-	-	-	-	-	0.0	56.8	0.0	920.4	0.0	977.2
	-	?	1.00	0.0	0.0	0	-	-	0.0	0.0	-	-
	-	?	1.00	0.0	0.0	0	-	-	0.0	0.0	-	-
	-	?	1.00	0.0	0.0	0	-	-	0.0	0.0	-	-
	-	?	1.00	0.0	0.0	0	-	-	0.0	0.0	-	-
	-	?	1.00	0.0	0.0	0	-	-	0.0	0.0	-	-
	-	?	1.00	0.0	0.0	0	-	-	0.0	0.0	-	-
	-	?	1.00	0.0	0.0	0	-	-	0.0	0.0	-	-
一時貯蔵建屋小計	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
精製建屋保有量合計	-	-	-	-	-	-	4261.7	56.8	52950.0	920.4	57211.7	977.2
0.2N-HNO ₃ , 400gU/l, 2基/系列	400.0	-	1.00	400.0	0.0	1	-	-	40000.0	-	-	-
0.2N-HNO ₃ , 400gU/l	400.0	-	1.00	400.0	0.0	1	-	-	800.0	-	-	-
0.5m ³ /h	1100.0	-	1.00	1100.0	0.0	1	770.0	-	-	-	-	-
0.5N-HNO ₃ , 1100gU/l	1100.0	-	1.00	1100.0	0.0	1	-	-	2200.0	-	-	-
100kg/h/基*2基	-	-	1.00	0.0	0.0	1	0.0	-	-	-	-	-
250kgU/基*2基, 左欄ton表示	-	-	1.00	0.0	0.0	1	-	-	500.0	-	-	-
500kgU/基*2基, 同上	-	-	1.00	0.0	0.0	1	-	-	1000.0	-	-	-
不明	-	-	1.00	0.0	0.0	1	-	-	0.0	-	-	-
150kgU/基*2基, 左欄ton表示	-	-	1.00	0.0	0.0	1	-	-	300.0	-	-	-
150kgU/基*2基, 同上	-	-	1.00	0.0	0.0	1	-	-	300.0	-	-	-
	-	-	1.00	0.0	0.0	1	-	-	0.0	-	-	-
ウラン脱硝建屋小計	-	-	-	-	-	-	770.0	0.0	45100.0	0.0	45870.0	0.0
	400.0	0.0	1.00	400.0	0.0	1	-	-	800.0	0.0	-	-
	0.0	250.0	1.00	0.0	250.0	1	-	-	0.0	250.0	-	-
4.4N-HNO ₃ , U, Puとも154g/l, 2基	154.0	154.0	1.00	154.0	154.0	1	-	-	308.0	308.0	-	-
	154.0	154.0	1.00	154.0	154.0	?	-	-	0.0	0.0	-	-
2基/系列, 以下全部2系列	154.0	154.0	1.00	154.0	154.0	1	-	-	4.3	4.3	-	-
	154.0	154.0	1.00	154.0	154.0	1	-	-	2.2	2.2	-	-
脱硝皿、20Kw×1基×2系列	154.0	154.0	1.00	154.0	154.0	1	3.9	3.9	-	-	-	-
脱硝皿5皿/基、5x1.96KgU, Pu	154.0	154.0	1.00	154.0	154.0	1	19.6	19.6	-	-	-	-
処理量、在庫量は焙焼炉と 還元炉は同じと見なす	-	-	1.00	-	-	1	3.3	3.3	-	-	-	-
内部撹動方式、詳細不明	-	-	1.00	-	-	1	?	?	-	-	-	-
詳細不明	-	-	1.00	-	-	?	-	-	?	?	-	-
詳細不明	-	-	1.00	-	-	1	-	-	?	?	-	-
内部攪拌翼付き、詳細不明	-	-	1.00	-	-	1	?	?	-	-	-	-
詳細不明	-	-	1.00	-	-	1	?	?	-	-	-	-
詳細不明	-	-	1.00	-	-	?	-	-	?	?	-	-
詳細不明	-	-	1.00	-	-	?	-	-	?	?	-	-
混合脱硝建屋小計	-	-	-	-	-	-	30.2	30.2	1114.5	564.5	1144.6	594.6
脱硝建屋保有量合計	-	-	-	-	-	-	800.2	30.2	46214.5	564.5	47014.6	594.6
再処理工程内全核物質保有量	-	-	-	-	-	-	9569.5	119.1	132749.5	1866.3	142318.9	1985.4

*8) 分離設備・分析設備から

*9) 分離設備から

*10) 第1、第8から

*11) 第5、第6、第10から

*12) 分配設備、溶媒回収設備等から

*13) 円筒状、パッキング充填、空隙率0.6、液/ガス比1とする

*14) プルトニウム精製設備等から

*15) プルトニウム精製設備等又は第6、第7から

*16) 第1、2、5から

*17) 酸及び溶媒回収施設の溶媒回収設備から

*18) Pu精製設備、第6、塔槽類廃ガス処理設備から

*19) 酸回収設備又は溶媒回収施設から

*20) 第8、ウラン精製設備から

*21) 皿:臨界制限値45φX81(cm)、V=12.72(1)

*22) 処理量:54Kg(U+Pu)/4; 800℃x2Hr、滞留時間3Hr

*23) 在庫量:(54/24)x3=6.375Kg(U+Pu)/系列

*24) 不明は白抜き記述で非開示であることを示す。
不明、詳細不明は記述されていないことを示す。

ウラン保有量は、濃縮缶(分配：1.75t、精製：1.6t) やミキサセトラ(逆抽出器：1.02t、核分裂生成物洗浄器：0.89t)、溶解槽(0.75 t)が大きく、環状形パルスカラム(分配塔：0.16t) は小さい。プルトニウム保有量は、精製濃縮缶 50kg、脱硝皿取扱装置 19.6kg、溶解槽 9kg が大きく、環状形パルスカラム(分配塔：5.7 kg) も比較的大きく、いずれも保障措置上重要である。脱硝装置、よう素追出し槽、焙焼炉、還元炉、T B P 洗浄器も 3.1kg から 3.9 kg である。

(3) 主要貯槽類の核物質質量

ウラン保有量は、脱硝系の硝酸ウラン貯槽(40t)、ウラン精製系の濃縮液第2受槽(20t)、濃縮液第2中間貯槽(16t)、前処理系の計量調整槽、計量前後中間貯槽、分離系の中間貯槽(いずれも 6.25t)、精製系濃縮液第1受槽(6t)等が大きい。

プルトニウム保有量は、環状形 1 m³ の槽である脱硝用の混合槽 308kg、硝酸プルトニウム貯槽 250kg、精製系のプルトニウム濃縮液受け槽、プルトニウム濃縮液計量槽、プルトニウム濃縮液中間貯槽はいずれも 250kg であり、前処理系の計量前中間貯槽、計量調整槽、計量後中間貯槽はいずれも 25 m³ で 75 kg である。いずれも保障措置上重要である。

(4) 建屋別保有量の比較

ウラン保有量は、装置類では精製建屋に多く、分離、前処理、脱硝の順であり、貯槽類でも精製建屋に多く、脱硝、前処理、分離の順である。プルトニウム保有量は、装置類、貯槽類ともに精製建屋に多く、脱硝、前処理、分離の順である。プール内貯蔵と製品貯蔵を除いた施設全体では、ウラン量は装置類 4.6t、貯槽類 132.7t、プルトニウム量は装置類 119kg、貯槽類 1866kg である。生産されるプルトニウム量は年間 8800kg であるので、製品貯蔵が圧倒的に多い。

5. まとめ

事業許可認可に係わり公開されている申請書資料を基に、再処理施設内の各種の装置や貯槽など 110 基にのぼる機器について、それぞれ容積と平均濃度を求めてから、それらの中に存在する核物質質量を計算し、保有量として表した。この資料は事業認可の安全審査に必要なことのみを記述したもので、核物質防護関連、配管関連及び操業関連のデータは記載されていないため、推定が非常に困難であった。このため、多少の無理は承知で、しかし計算精度を出来るだけ落とさないように推算を試みた。このため、推算した保有値は、操業中の装置類や個々の貯槽類についてはほぼ妥当であろうが、施設全体としては操業態様が不明のため、在庫量は評価できない。しかしながら保障措置上のいわゆる有意量を越す機器が多数あることから、本推算結果が核物質管理や核物質防護対策に多少とも貢献が出来れば幸いである。

引用文献

- 1) 日本原燃(株)「六ヶ所事業所再処理事業指定申請書(平成元年3月)」、及び「六ヶ所事業所再処理事業変更許可申請書請書(平成8年4月)」
- 2) 豊田正敏ほか「六ヶ所再処理工場における施設の概要と安全性」 原子力工業 第35巻 第9号 5～39 頁(1989) (平成10年12月7日受理)