

本資料は 年 月 日付けで登録区分、  
変更する。  
2001. 6. 6

[技術情報室]

# LOTUSプロセス技術開発 (IV)

## —硝酸ウラニル・プルトニウム溶液の低温処理基礎試験—

1991年9月

動力炉・核燃料開発事業団  
東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2001

限 定 資 料

PNC T N8410 91-260

1 9 9 1 年 9 月



変更表示

## LOTUSプロセス技術開発(IV)

—硝酸ウラニル・プルトニウム溶液の低温処理基礎試験—

(核開部転換室) 近藤 熟, 岡田 尚  
根本 剛, 大内 仁

### 要 旨

LOTUSプロセスの一環として、低温処理技術による処理の可能性について技術開発を進める。

低温下での硝酸ウラニル・プルトニウム溶液の挙動観察、凍結真空乾燥法による除染効率及び低温晶析法による晶析分離試験を行う。

硝酸ウラニル溶液は-44°C付近で水-硝酸-硝酸ウラニルの3成分系の共晶点が確認され、-26°C付近で硝酸ウラニルが晶析したが、硝酸プルトニウムは-60°Cまで冷却しても晶析しなかった。

このことから晶析法によるウラン・プルトニウムの相互分離の可能性を見い出した。また、硝酸プルトニウムの除染係数は回収液の $\alpha$ 放射能濃度がバックグラウンドレベルとなり、 $10^4$ ～ $10^6$ の結果が得られた。

核燃料サイクルにおいて取り扱う硝酸ウラニル溶液、硝酸プルトニウム溶液等を凍結真空乾燥法及び低温晶析法で処理する方法は、試薬を添加せずに高除染効率が得られ、相互分離が可能であり、クローズドシステム化が図られる。

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 試験方法 .....	2
2. 1 試験装置 .....	2
2. 2 供試液 .....	3
2. 3 試験方法 .....	3
2. 3. 1 低温下での供試液の挙動観察試験 .....	3
2. 3. 2 凍結真空乾燥試験 .....	3
2. 3. 3 晶析分離試験 .....	3
3. 試験結果及び考察 .....	5
3. 1 低温下での供試液の挙動観察試験 .....	5
3. 2 凍結真空乾燥試験 .....	6
3. 3 晶析分離試験 .....	6
4. おわりに .....	16
5. 参考文献 .....	17
6. 参考 .....	18
6. 1 硝酸-水系固液平衡状態図 .....	18
6. 2 硝酸ウラニル-硝酸の共晶温度 .....	19
6. 3 硝酸ウラニル-硝酸-水の2次元状態図 .....	20

## 1. ま え が き

換技術開発室では、核燃料サイクル施設への低温技術を適用する L O T U S (Low Temperature Utilizing System)プロセス開発の一環として、低温処理技術（凍結真空乾燥法、低温真空蒸留法、低温晶析法）による処理の可能性について技術開発を進めている。L O T U Sの特徴は、(1)放射性物質の環境放出量ゼロ、(2)放射性廃棄物発生量の大幅な削減、(3)プロセス機器の寿命延長等である。

再処理プロセス及びスクラップ燃料回収プロセスにおいて取り扱う硝酸プルトニウム溶液、硝酸ウラニル溶液等を凍結真空乾燥法、低温真空蒸留法、低温晶析法等で処理する方法は、試薬を添加せずに、大きな除染係数が得られるため、副生放射性廃棄物発生量及び放射性物質環境放出量の大幅低減、溶液のクローズドシステム化が可能となる。

本報告では、低温下での硝酸、硝酸プルトニウム溶液及び硝酸ウラニル溶液の冷却・自然昇温による挙動の観察、硝酸プルトニウム溶液を用いて凍結真空乾燥法による除染効率の確認試験及び硝酸ウラニル溶液及び硝酸プルトニウム・ウラニル混合溶液を用いて低温晶析法による晶析分離試験について得た知見を報告する。

## 2. 試験方法

### 2.1 試験装置

本試験に使用した凍結乾燥装置<sup>1, 2)</sup>は、図1に示すように乾燥槽、凝結槽、冷凍機、真空排気部及びこれらを制御する制御部で構成されており、冷却は2元冷凍方式の冷凍機を使用し、両槽は真空ポンプにより最大  $320 \ell \text{ min}^{-1}$ で排気する装置であり、以下に装置仕様を示す。

#### 装置仕様

(1) 温度条件	棚冷却到達温度 棚加熱範囲温度 トラップ冷却到達温度	-65 °C -40 °C～+60 °C (MAX) -80 °C
(2) 到達真空度		約 0.4Pa (0.003Torr)
(3) 処理量		常用 $2 \ell \text{ Batch}^{-1}$
(4) 操作	運転、操作 棚温度	手動操作が原則 温度調節計による自動調節
(5) 安全対策	インターロック回路、及び各種温度、冷凍機圧力を検出して異常停止・警報を組み込んである。	
(6) ユーティリティ 電気		200V 3相
(7) 重量		1,000kg

## 2.2 供試液

供試液番号	溶液中のU濃度 (g l <sup>-1</sup> )	溶液中のPu濃度 (g l <sup>-1</sup> )	硝酸濃度 (M)
①	—	—	3
②	210	—	3
③	—	160, 210	3, 4
④	—	0.5	3
⑤	—	11.4	3
⑥	—	144	3
⑦	135	118	2.7
⑧	200	9.3	3.1
⑨	—	65	4

## 2.3 試験内容

### 2.3.1 低温下での供試液の挙動

供試液(①②③)の冷却方法は図2に示すような乾燥槽内の棚にエタノールバスを置き、その中に供試液の入ったビーカを置いて-65°Cまでの冷却時及び自然昇温時の温度変化及び供試液の状態を観察する。

### 2.3.2 硝酸プルトニウム溶液の凍結真空乾燥法による除染効率

硝酸プルトニウム溶液(供試液④, ⑤, ⑥) 100 mlを-40°C以下まで冷却・凍結させ、真空度1.5 Paで昇華・乾燥させ、昇華物を-80°Cの凝結槽で回収した。この時凍結体に熱を供給する熱媒体(トリクロロエチレン)温度は、0 °Cに設定した。

### 2.3.3 晶析分離

2種類の硝酸プルトニウム・ウラニル混合溶液(供試液⑦⑧)各50mlを-35°C~-40°Cの範囲で冷却保持した後、溶液及び析出物中のプルトニウム及びウラン濃度を分析し、プルトニウム及びウランの分離効率を求める。

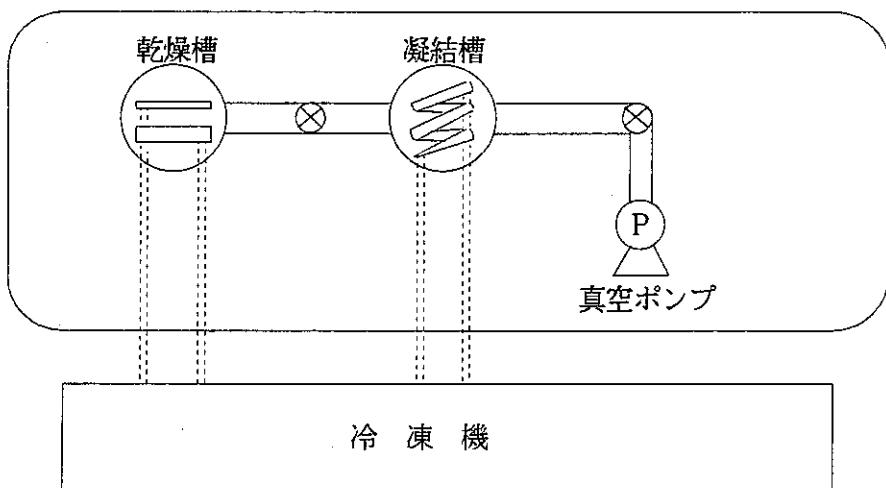


図1　凍結真空乾燥装置の概略図

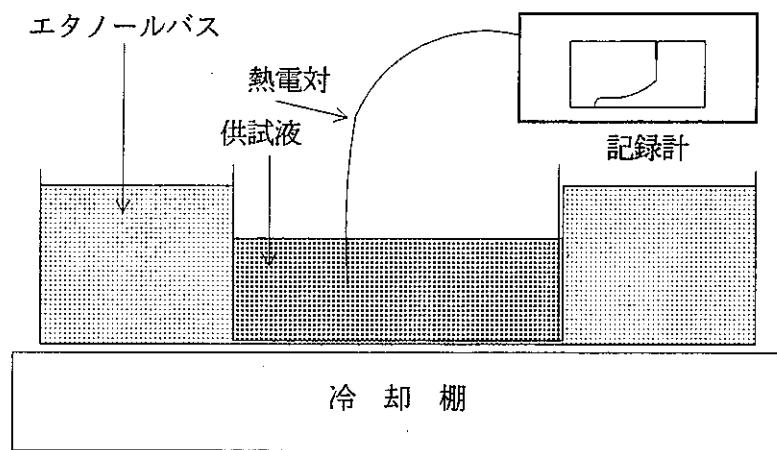


図2　供試液の冷却方法

### 3. 試験結果及び考察

#### 3.1 低温下での供試液の挙動

##### 3.1.1 硝酸（供試液①）

硝酸の冷却・昇温過程の温度変化は図3に示す通り、 $-14^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ で過冷却を伴う温度変化が生じた。更に、 $-65^{\circ}\text{C}$ 付近で過冷却を伴う温度変化が生じた。図-7に示す硝酸-水固液平衡状態図<sup>3)</sup>によれば、 $-14^{\circ}\text{C}$ 及び $-43^{\circ}\text{C}$ にそれぞれ $3\text{M HNO}_3$ 中の水の凍結点、水-硝酸の共晶点が存在する。

自然昇温時には硝酸の共晶点である $-43^{\circ}\text{C}$ 付近で融解が始まり、温度昇温が緩やかになり、 $-20^{\circ}\text{C} \sim -14^{\circ}\text{C}$ 付近で再度緩やかになり、シャーベットが完全に融解するのが観察された。

##### 3.1.2 硝酸ウラニル溶液（供試液②）

硝酸ウラニル溶液の冷却昇温過程の温度変化を図4に示す。硝酸ウラニル溶液（供試液②）は徐冷により、 $-20^{\circ}\text{C} \rightarrow -40^{\circ}\text{C}$ において黄色結晶の析出が観察され、 $-35^{\circ}\text{C}$ 付近で温度変化が生じた。更に $-60^{\circ}\text{C}$ まで冷却すると系全体が凍結した。これは、図-8に示す硝酸ウラニル溶液が $-26^{\circ}\text{C}$ で硝酸ウラニルの析出が生ずるというHars<sup>4)</sup>の報告の通りである。

一方、昇温過程において $-60^{\circ}\text{C} \rightarrow -40^{\circ}\text{C}$ の領域では凍結状態のままであり、図-9に示す水-硝酸-硝酸ウラニル3成分系の共晶点（ $-44.7^{\circ}\text{C}$ ）<sup>5)</sup>付近の $-44^{\circ}\text{C}$ で温度平衡が観察された。 $-40^{\circ}\text{C} \rightarrow -30^{\circ}\text{C}$ で、水-硝酸の凍結体、硝酸ウラニルの析出物、及び溶液の混在したシャーベット状になり、その後 $-30^{\circ}\text{C} \rightarrow -20^{\circ}\text{C}$ で析出した硝酸ウラニルの溶解に伴う吸熱が生じ、温度上昇が緩やかになり、その後、溶液に戻った。

##### 3.1.3 硝酸プルトニウム溶液（供試液③）

硝酸プルトニウム溶液の冷却昇温過程の温度変化を図5-1、-2に示す。硝酸プルトニウム溶液（供試液③）を冷却した場合、いずれの場合も $-30^{\circ}\text{C}$ まで溶液状態を保ち、 $-40^{\circ}\text{C}$ 以下で水-硝酸の凍結体と硝酸プルトニウム溶液の混合したシャーベット状になり、以後 $-65^{\circ}\text{C}$ で凍結体と緑色の粘性の高い液体が混在したシャーベット状であった。自然昇温過程では $-40^{\circ}\text{C}$ 付近までシャーベット状を保っていたが、その後徐々に凍結体の量が減少し、 $-30^{\circ}\text{C}$ 付近で溶液に戻った。また、硝酸ウラニル溶液の場合と異なり、全般的に顕著な温度変化が見られなかった。

このように、硝酸ウラニルは低温（ $-20^{\circ}\text{C} \rightarrow -40^{\circ}\text{C}$ ）で晶析したが、硝酸プルトニウム溶液は、 $-60^{\circ}\text{C}$ まで冷却しても晶析が観察されず、かつ高粘性体の混在したシャーベット状であった。

なお、プルトニウム濃度の低い溶液（供試液④、⑤）では、水—硝酸が支配的なため、約 $-40^{\circ}\text{C}$ 以下では凍結状態であった。

### 3.2 硝酸プルトニウム溶液（供試液④、⑤、⑥）の凍結真空乾燥試験

硝酸プルトニウム溶液の供試液④及び⑤は $-40^{\circ}\text{C}$ 以下で凍結後、 $-40^{\circ}\text{C}$ で真空排気し、熱媒体温度を $0^{\circ}\text{C}$ により、昇華成分が除去され、シャーベット状を経て凍結体は無くなり、粘性の高い液体が残留した。

供試液⑥の溶液はシャーベット状から同様に高粘性体に変化した。高粘性体が形成された時点で、乾燥槽及び凝結槽の圧力（約 $0.4\text{Pa}$ ）はほぼ等しくなったため、この時点を終点とし、除染効率を求めた。この高粘性体は、さらに熱媒体温度を $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ に上げて排気を続けると、緑色の乾燥体を形成したが、大気中に戻すと直ちに高粘性体に変化した。（写真1）

また、硝酸プルトニウム溶液の凍結乾燥速度は、原液のプルトニウム濃度に関係なく $0.5\ell\text{ hr}^{-1}\text{ m}^{-2}$ 程度であった。また、凝結槽の回収液の $\alpha$ 放射能濃度は、表1に示すようにバックグラウンドレベルとなり、 $10^4$ 以上の除染係数が得られた。これは、表3に示す模擬高レベル廃液（SW-11）の凍結真空乾燥試験結果\*とほぼ一致しており、凍結真空乾燥法の有効性を確認した。（\*模擬高レベル廃液の凍結真空乾燥試験は $-65^{\circ}\text{C}$ で冷却・凍結したのち、真空排気し、熱媒体温度を $0^{\circ}\text{C}$ により、昇華物を除去し、昇華物をICP-発光分光分析計で分析を行い、除染係数を求めた。但し、分析結果は検出限界値以下であった。）

### 3.3 硝酸プルトニウム・ウラニル混合溶液（供試液⑦、⑧）の晶析試験

低温（ $-20^{\circ}\text{C} \sim -40^{\circ}\text{C}$ ）における硝酸ウラニル溶液及び硝酸プルトニウム溶液の異なった挙動を利用して、晶析法によるウラン及びプルトニウムの相互分離の可能性について試験を行った。

硝酸プルトニウム・ウラニル混合溶液（供試液⑦、⑧）は図4の硝酸ウラニル溶液と同じように $-30^{\circ}\text{C}$ 迄は冷却しても変化しないが、 $-40^{\circ}\text{C}$ 付近から水—硝酸が凍結体し、溶液中には黄色結晶の析出が観察された。（写真2）自然昇温過程の $-40^{\circ}\text{C} \rightarrow -20^{\circ}\text{C}$ 間で、黄色結晶は徐々に減少した。この他、共晶や凍結などを示す温度変化は認められなかった。 $-40^{\circ}\text{C}$ の溶液の組成変化を表2に示す。

供試液⑦は上澄液のみを分析し、供試液⑧はガラスフィルタ（孔径 $100 \sim 150\text{ }\mu\text{m}$ ）でろ過後、ろ液と析出物の分析（ウラン及び酸の同時滴定法）を行った。析出物は硝酸ウラニルと微量の硝酸プルトニウムであり、この微量の硝酸プルトニウムは、析出物への付着物と思わ

れ、洗浄により除去可能と思われる。この晶析法により供試液⑦では約55%，供試液⑧では約20%の硝酸ウラニルが選択的に分離された。供試液⑧の分離効率が低いのは、ろ過操作を冷却せず室温で行ったため操作中に温度が上がり、析出物の一部が溶解したためと思われるが晶析法によるウラン及びプルトニウムの相互分離の可能性を示している。

また、注目すべき点は晶析によって、供試液⑦のプルトニウム濃度が上昇（約18%増）している点である。これは主として「水-硝酸の凍結物」と「硝酸ウラニル水和物」が析出したため、溶液中のプルトニウム濃度が上昇したものであり、以下の追試験でそれを確認した。先ず、-40°Cの冷却棒を供試液⑨に浸し、数分後引き上げ、冷却棒の周りに付着した水-硝酸の透明な凍結体を除去した。残った溶液はプルトニウム濃度が $77 \text{ g l}^{-1}$ に濃縮し、硝酸の濃度はほとんど変化しない溶液であった。これは、硝酸プルトニウムが凍結せず、水-硝酸の凍結体の除去によって、みかけ上濃縮したような結果が得られたと考える。

表1 硝酸プルトニウム溶液の凍結乾燥試験結果（熱媒体温度 0°C）

供試液 番号	供試液		昇華物 $\alpha$ 放射能濃度 Bq $\ell^{-1}$	除染係数
	Pu濃度 g $\ell^{-1}$	$\alpha$ 放射能濃度 Bq $\ell^{-1}$		
④	0.5	$1.1 \times 10^{10}$	$8.4 \times 10^5$	$1.3 \times 10^4$
⑤	11.4	$2.6 \times 10^{11}$	$9.6 \times 10^6$	$2.7 \times 10^4$
⑥	144	$3.2 \times 10^{12}$	$1.7 \times 10^6$	$1.9 \times 10^6$
⑥ <sup>補</sup>	144	$3.2 \times 10^{12}$	$5.6 \times 10^6$	$5.7 \times 10^5$

注) 热媒体温度 0°C→20~30°Cに変更

表2 硝酸プルトニウム・ウラニル混合溶液の晶析試験結果

供試液 番号	試験液			ろ液 (⑦は上澄み液)		
	Pu濃度 g $\ell^{-1}$	U濃度 g $\ell^{-1}$	硝酸濃度 M	Pu濃度 g $\ell^{-1}$	U濃度 g $\ell^{-1}$	硝酸濃度 M
⑦	118	135	2.7	139	72	3.3
⑧	9.3	200	3.1	9.5	164 <sup>補</sup>	3.3

注) ガラスフィルターによるろ液サンプリングは硝酸ウラニル晶析体の一部が溶解したため大き目の値となったと考えられる。

表3 高レベル放射性模擬廃液の凍結真空乾燥試験結果

元 素	原液中の濃度 (g ℓ <sup>-1</sup> )	昇華物中の濃度 (g ℓ <sup>-1</sup> )	除染係数
C r	0.2 2	< 2.0 E - 4	> 1.5 E 3
M n	0.7 2	< 2.0 E - 4	> 4.9 E 3
F e	4.6	< 3.0 E - 4	> 2.1 E 4
N i	0.5 7	< 5.0 E - 4	> 1.5 E 3
R b	0.3 6	< 1.0 E - 5	> 4.6 E 4
S r	0.7 3	< 5.0 E - 5	> 2.0 E 4
Y	0.4 3	< 1.0 E - 4	> 5.8 E 3
Z r	3.1	< 2.0 E - 4	> 2.1 E 4
M o	3.0	< 4.0 E - 4	> 1.0 E 4
R u	1.7	< 2.0 E - 4	> 1.1 E 4
R h	0.3 6	< 5.0 E - 5	> 9.7 E 3
C d	0.0 5	< 2.0 E - 4	> 3.4 E 2
S n	0.0 4 2	< 2.0 E - 4	> 2.8 E 2
C s	2.1	< 2.0 E - 5	> 1.4 E 5
B a	1.4	< 5.0 E - 5	> 3.8 E 4
L a	1.0	< 2.0 E - 4	> 6.7 E 3
C e	8.4	< 2.0 E - 4	> 5.7 E 4
P r	1.0	< 1.0 E - 5	> 1.4 E 3
N d	4.0	< 2.0 E - 4	> 2.7 E 4
E u	0.1 2	< 2.0 E - 4	> 8.1 E 2
G d	0.0 6 4	< 2.0 E - 4	> 4.3 E 2
容 量	7 0 ml	5 2 ml	

$$\text{除染係数} = \frac{\text{原液中の濃度 (g)}}{\text{昇華物中の濃度 (g)}}$$

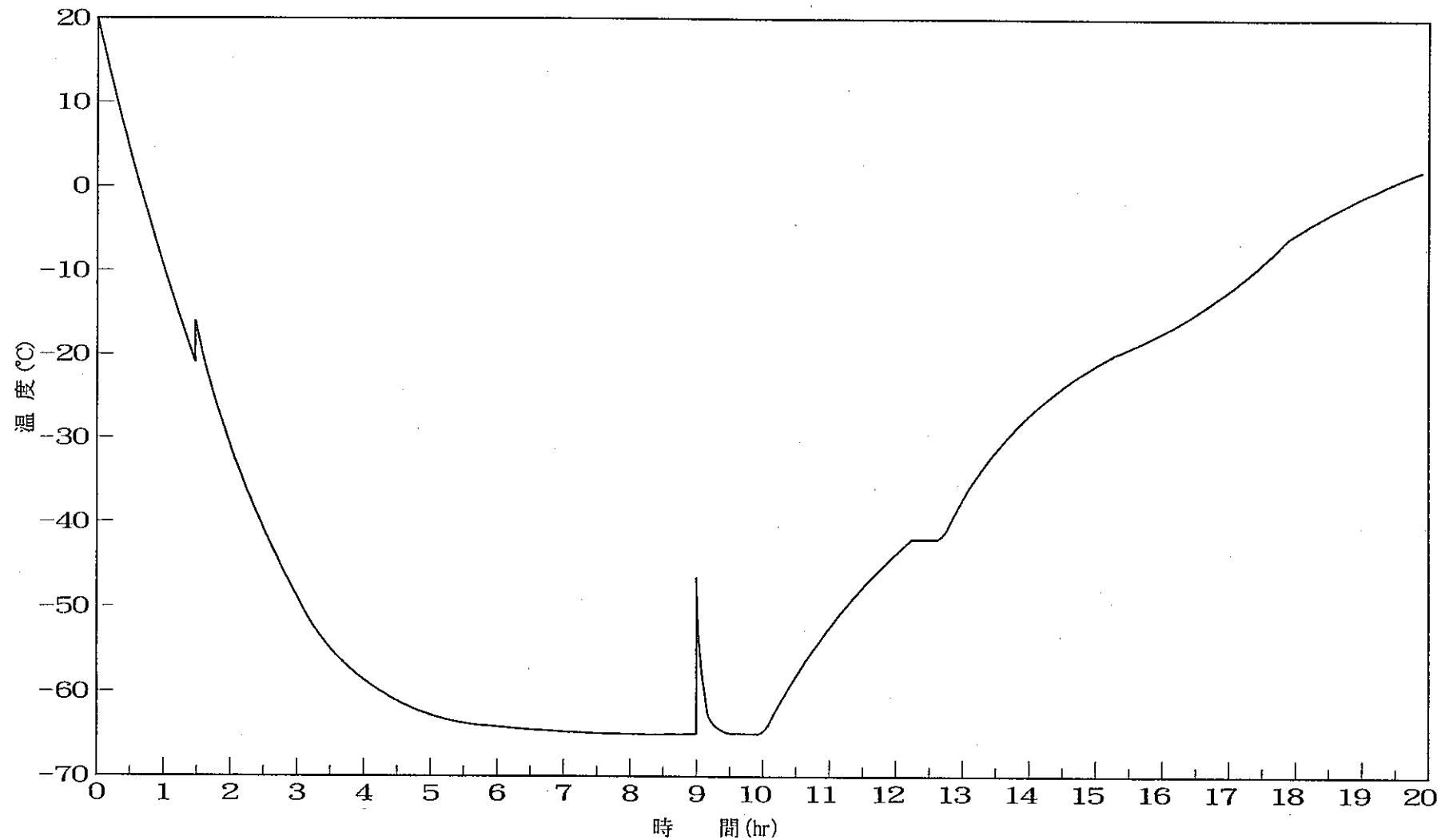
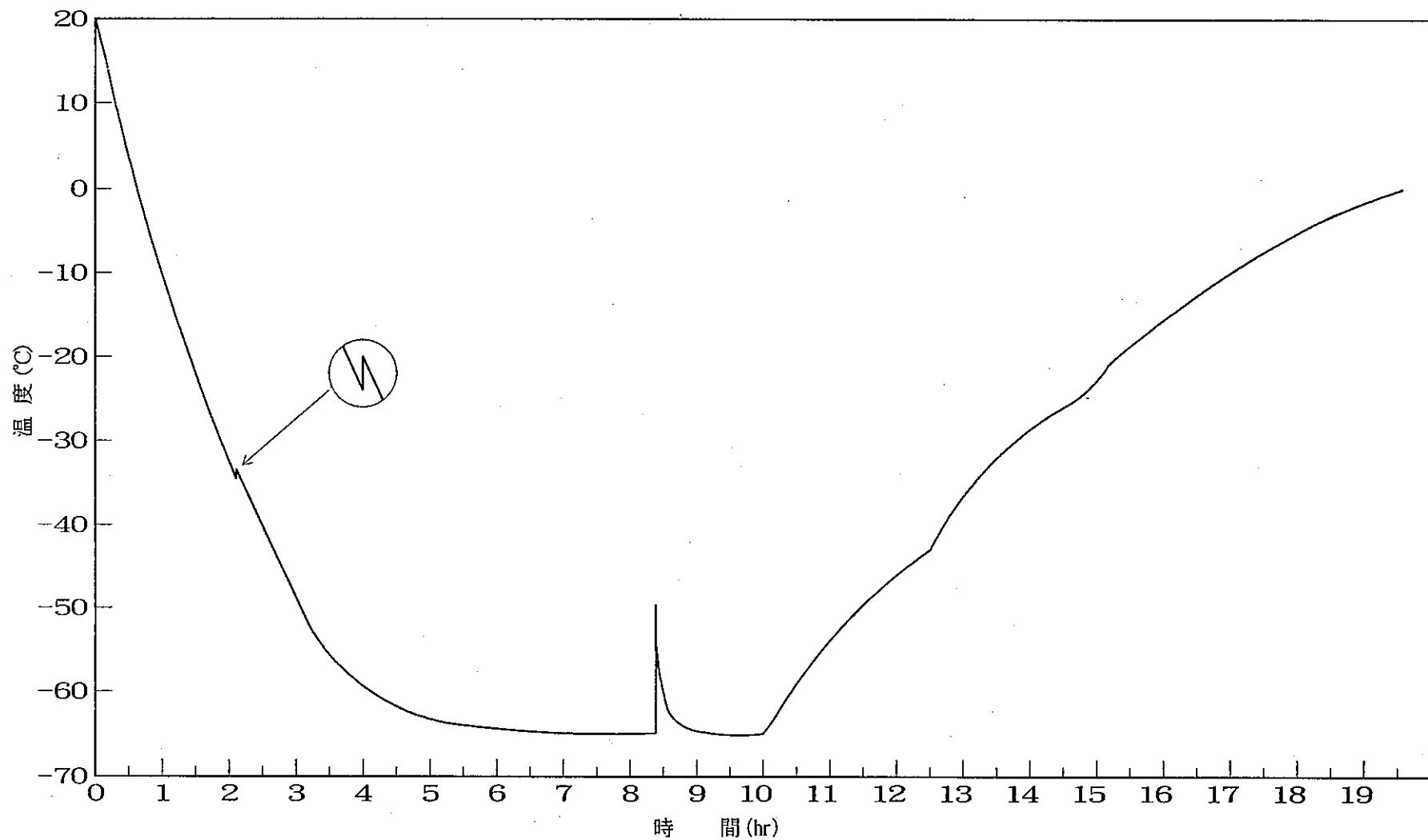


図3 硝酸の温度変化 (3 N)



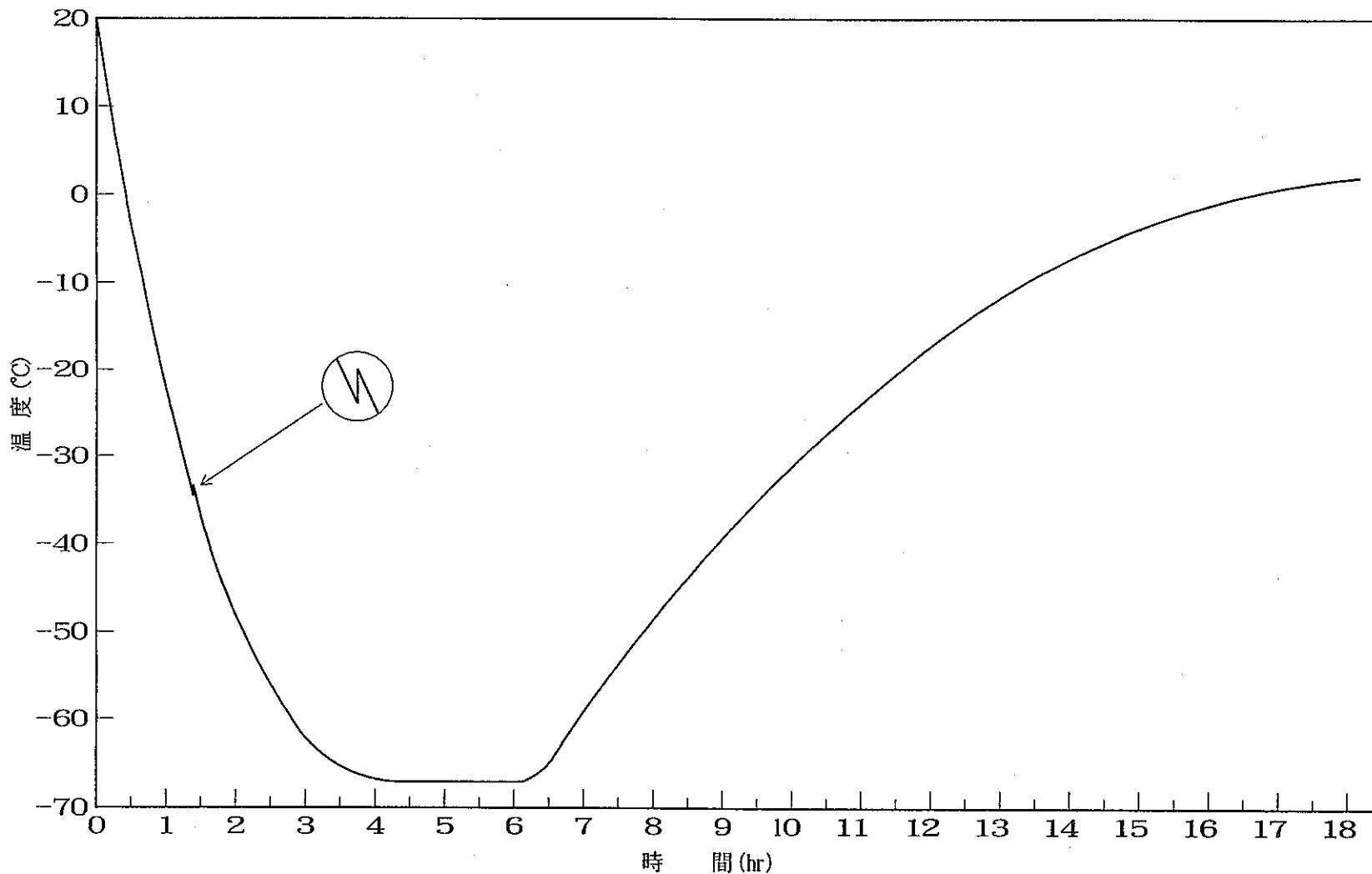


図5.1 硝酸プルトニウム溶液の温度変化 (210g/l, 4N)

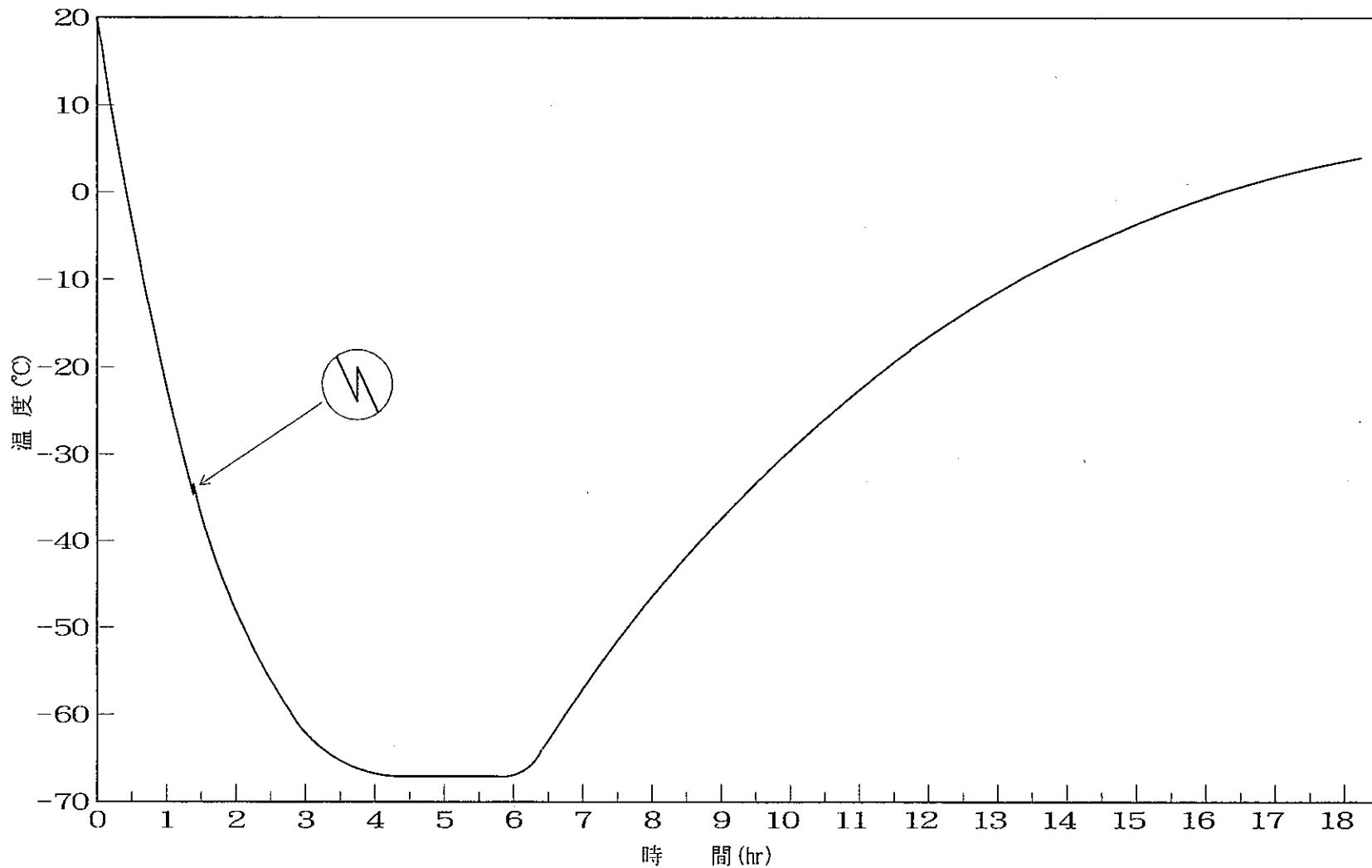


図5.2 硝酸プルトニウム溶液の温度変化 (160g/l, 3N)

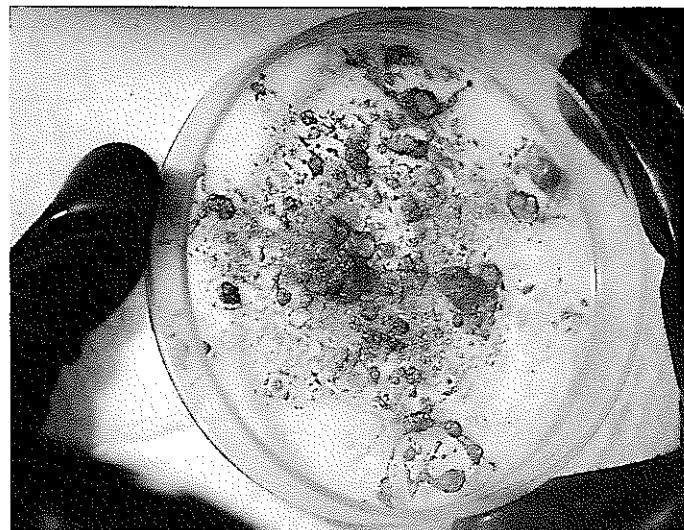


写真1 硝酸プルトニウムの乾燥体



写真2 硝酸ウラニルの晶析体

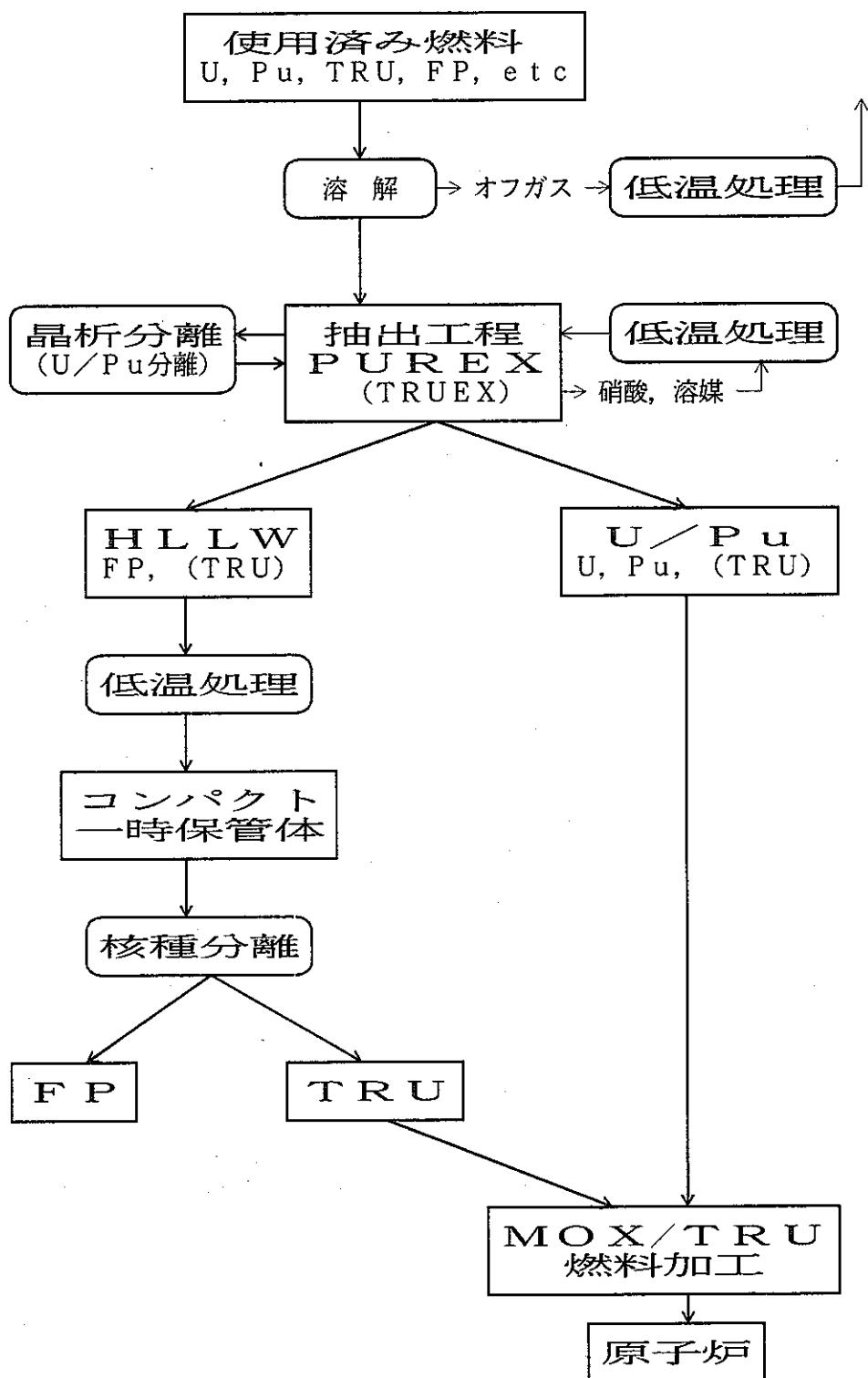


図6 LOTUSプロセスフロー図

#### 4. おわりに

- (1) 低温における硝酸プルトニウム溶液及び硝酸ウラニル溶液の挙動は大変興味深く、核燃料サイクルに広く応用できるものである。一例として、図6に示すようなLOTUSプロセスへの応用を検討した。
- (2) 抽出廃液及び各種工程廃液は凍結乾燥法で処理し、廃棄物発生量を最小化する。また、凝結・回収した水-硝酸は再利用する。
- (3) 抽出工程では共除染の後、プルトニウムとウランを同時に逆抽出し、晶析法により硝酸プルトニウム溶液と硝酸ウラニルの析出物とに分離する。これはプルトニウムの還元を必要としないため、還元剤や電解還元などが不要である。また、共除染サイクルが短縮でき、プルトニウム、ウランの溶媒中の滞留時間も短く、溶媒の劣化防止にも良い<sup>5)</sup>。
- (4) 分離後の硝酸プルトニウム溶液は、凍結乾燥法あるいは晶析法により低温濃縮する。ここで回収した水-硝酸は再利用する<sup>6)</sup>。
- (5) 使用済溶媒は凍結乾燥法、真空蒸留法、晶析法などで分離精製すれば、ケミカルフリー溶媒再生が期待できる。一例として、劣化生成物でDBPの蒸気圧(室温で約 $10^{-4}$ Pa)は、TBPよりも3桁以上小さく、n-ドデカンよりも5桁以上小さい。このため、DBPなどの低蒸気圧劣化生成物の除去率の高い処理が期待できる。

以上のように核燃料サイクルの高度化を目指し、低温処理技術（LOTUSプロセス）の研究開発を進めており、これらは低温処理であるため装置・設備の腐食や溶液・溶媒の分解・反応が抑制されるため、設備の安全かつ長期安定運転が望める。また、ケミカルフリー処理法及び高除染処理法であるため、廃棄物発生量の低減及び環境への放射性物質の放出低減などが期待できるプロセスである。

また、現在、低温処理技術の利用拡大に向けて、溶媒再生試験、分析廃液処理試験を進めている。

## 5. 参 考 文 献

- 1) 近藤 他, 凍結真乾燥法による廃液処理技術, 動燃技報, No. 61, 1987
- 2) 近藤 他, 凍結真乾燥法による廃液処理技術(II), 動燃技報, No. 65, 1988
- 3) John-Wiley & Sons, Inc. Kirk-Othmer, "Encyclopedia of chemical Technology, 2nd Ed" (1963 ~)
- 4) R. G. Hart and G. O. Morrist, "Crystallization Temperature of Uranyl Nitrate-Nitric Acid Solution", Prog. Nucl. Energy 2. (1958)
- 5) H. Th. Christensen, K. E. Holmberg, Nuklenik 11 (1968)165/70
- 6) 大内, 岡田 他, 硝酸プルトニウム溶液の低温濃縮方法, 特許 出02-263378
- 7) 大内, 岡田 他, ウラン・プルトニウム混合溶液からのウランおよびプルトニウムの分離方法, 特許出02-263379
- 8) J. Ohuchi, T. Suzuki, et al. Low Temperature Utilizing System for Nuclear Fuel Cycle Technologies , ENC' 90 Transaction, 4, 1990
- 9) 大内, 鈴木 他, “放射性廃液の低温処理技術開発”,  
日本原子力学会発表 1989年秋の大会, H48
- 10) 大内, 岡田 他, “硝酸プルトニウム・ウラニル溶液の低温処理試験”,  
日本原子力学会発表 1990秋の大会 L33,

## 6. 参 考

### 6.1 硝酸-水系固液平衡状態図

John-Wiley & Sons, Inc. Kirk-Othmer, "Encyclopedia of chemical Technology, 2nd Ed" (1963 ~) の文献から、硝酸は  $\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HNO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HNO}_3$  の複雑な 3 種類の結晶体が発生すると報告されている。例えば、3 N 硝酸を冷却していくと過冷却を伴って徐々に水が結晶化してゆき、6 N 硝酸まで濃縮し、硝酸の共晶点 ( $-43^\circ\text{C}$ ) で結晶体が発生する。

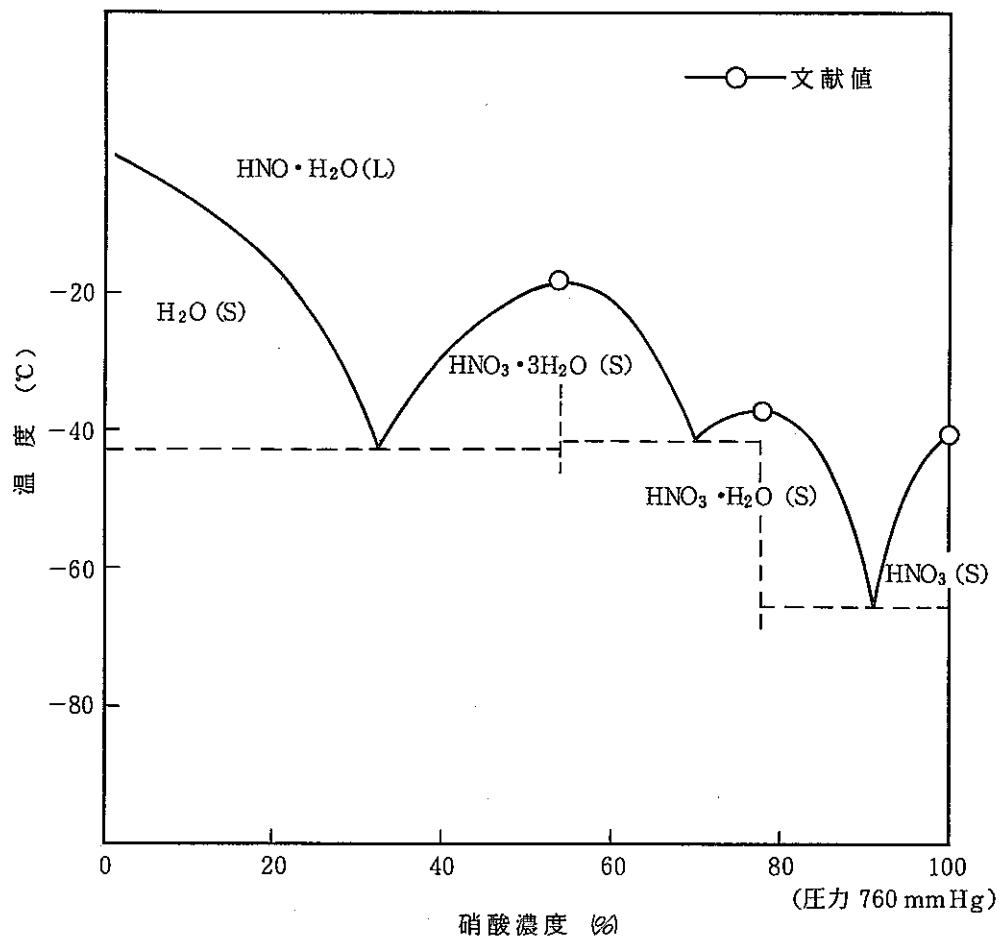


図 7 硝酸-水系固液平衡状態図

## 6.2 硝酸ウラニルー硝酸の共晶温度

R. G. Hart and G. O. Morrist, "Crystallization Temperature of Uranyl Nitrate-Nitric Acid Solution", Prog. Nucl. Energy III 2. p554(1958)の文献から、各硝酸ウラニル濃度と硝酸濃度の関係から共晶温度を示している。例えば、ウラン濃度 $400\text{ g/l}$ の時、 $-18.1^\circ\text{C}$ で  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 - \text{H}_2\text{O}$  の状態で共晶している。

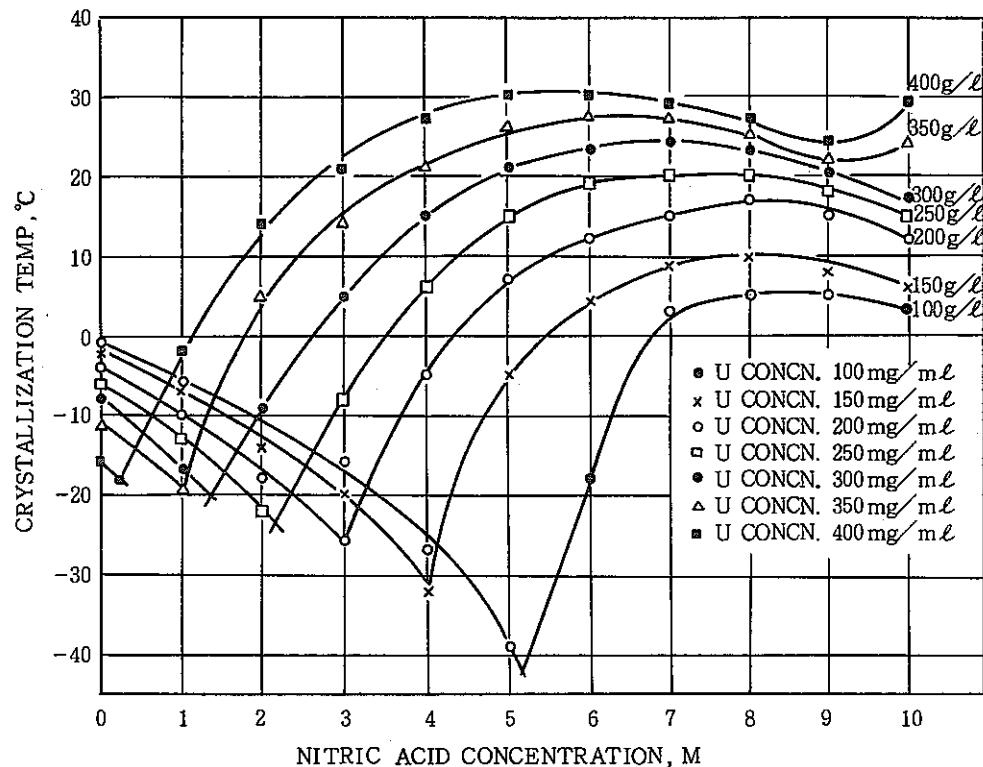


図8 Crystallization temperature of uranyl nitrate-nitric acid solutions

### 6.3 硝酸ウラニルー硝酸-水の2次元状態図

H. Th. Christensen and K. E. Holmberg Nukleonic 11. (1968) p165/70 の文献から  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - \text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  の3成分系の共晶点(B)が $-44.7^\circ\text{C}$ にあり、この時の濃度は  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 : 2.9\text{w/o}$ ,  $\text{HNO}_3 : 33.9\text{w/o}$ ,  $\text{H}_2\text{O} : 63.2\text{w/o}$  である。

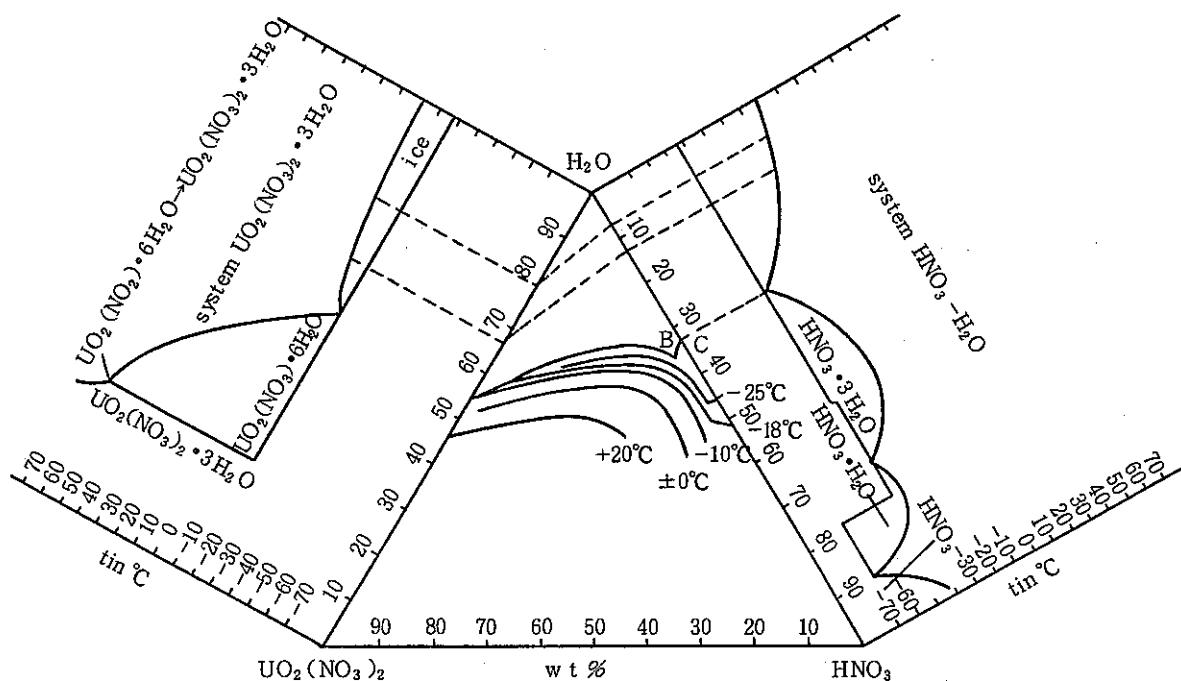


図9 Two-dimensional phase diagram of the system  
 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 - \text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{O}$