

T  
EN8430 87-038

PNC ~~I8430 87-26~~

~~内部資料~~

昭和200年 6 月 20日付けで登録区分、  
変更する。  
[技術情報室]

# 酸回収蒸発缶に関する検討

1987年3月

動力炉・核燃料開発事業団  
東海事業所

酸回収蒸発缶の小型化 酸回収

蒸発缶

減圧

高速炉燃料再処理

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)



## 酸回収蒸発缶に関する検討

小島久雄\* 川口尊\*  
林正太郎\*

### 要 旨

「高速炉燃料リサイクル試験施設概念設計(Ⅵ)」においては、酸回収蒸発缶が拘束条件となってセル内ラックの大型化を余儀無くしている。そこで酸回収蒸発缶の小型化について再検討した。

酸回収蒸発缶の設計条件(硝酸の気液平衡条件, 缶液硝酸濃度条件, 蒸気速度)について他設備(再処理工場, 等)との比較を行った。

「高速炉燃料リサイクル試験施設概念設計(Ⅵ)」による酸回収蒸発缶の設計条件は、他設備の設計条件と差違が見られる。

他設備と同条件にして再検討すると、缶径を現在よりも20~50%程小さくすることができると見られる。

\* 技術開発部, 機器材料開発室,

## 酸回収蒸発缶に関する概略検討

### I. 検討目的

「高速炉燃料リサイクル試験施設概念設計(Ⅵ)」(以下 F再概念設計(Ⅵ)とする)において、酸回収蒸発缶が拘束条件となってセル内ラックの大型化が余儀無くされている。

本検討では酸回収蒸発缶の小型化を目的に設計条件の再検討を行った。

### II 検討結果の概要

- (1) 全蒸発量の中で調整水量の占有率が73%と大きく、放射能値レベルの液を別系処理しても、利点は期待できない。
- (2) F再概念設計(Ⅵ)と他設備とを比較すると設計条件に差違が見られ、この条件の見直しによっては相当の小型化が期待できる。
  - a) 硝酸の気液平衡条件を他設備と同等の条件にすると、調整水量は約60%に減少し、缶径は約20%小さくなる。
  - b) 缶液硝酸濃度条件を他設備と同等の条件にすると、調整水は不要となり、缶径は約50%となる。
  - c) 無気速度の見直しによる小型化の可能性もある。

以上の様に設計条件を見直し及び確立することにより、F再概念設計(Ⅵ)においては酸回収蒸発缶の小型化が可能と考えられる。

### Ⅲ. 検討

#### 1. マスバランス

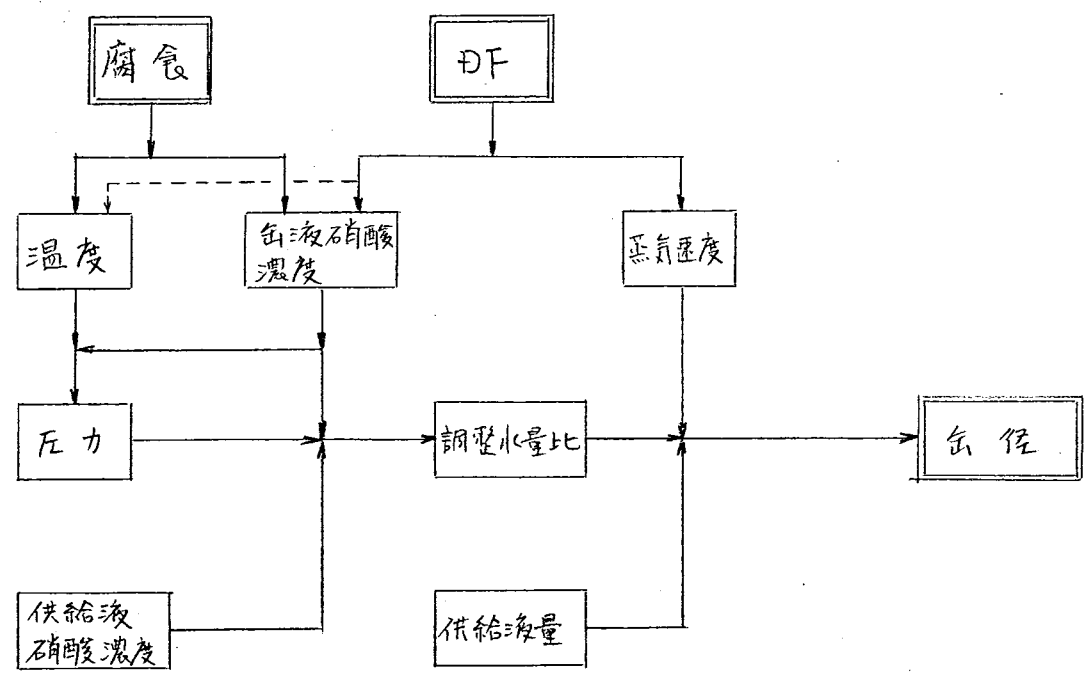
表-1に F再概念設計(Ⅶ)における酸回収蒸発缶廻りのマスバランスを示す。  
 表-1において、#400 中間濃縮器凝縮液は低放射能レベル( $2.21 \times 10^3 \text{ Ci/m}^3$ )  
 であり別系処理が考えられるが、この廃液は全廃液量の25%を占めているにも  
 かかわらず、調整水が多量に使用されているため、全蒸発量の約6%となり、  
 別系処理の利点は期待できない。

#### 2. 蒸発缶設計条件及び設計に関する検討

上記の様に、蒸発缶のサイズは全蒸発量の約6%を占める調整水に拘束  
 されているため、表-2に各設備の設計条件の比較を示し、設計条件  
 の再検討をする。

現状での蒸発缶(蒸発部)のサイズは下図の様に決定される。

蒸発缶サイズの決定ロジック (濃縮倍率一定)



## (1) 蒸発濃縮条件

蒸発缶の腐食の点から、蒸発温度及び缶液硝酸濃度が規定され缶内圧力が決定される。

表-3 及び 図-1 図-2 に 硝酸の気液平衡データを示す。

表-3 及び 図-1 は 「International Critical Table」をベースにした「減圧蒸発缶工学試験装置の設計 図1-(2)-C-1」を用いた。

図-1 図-2 に示す様に、各設備の設計値は種々異っており、腐食面からの拘束条件が明確に示されていない。又、F再概念設計(VI)での設計条件 (450torr 液相  $\text{HNO}_3$  32wt%, 気相  $\text{HNO}_3$  2.4wt%) は、他設備の設計条件と比較すると、気液平衡データから相当のずれがあると思われる。この設計条件 (気液平衡データ) においては、後述する様に蒸発缶サイズに大きな影響を与えるため、酸回収蒸発缶における有効な気液平衡データの把握が重要である。

## (2) 調整水量

必要調整水量は、気液平衡設計条件、濃縮倍率及び供給液硝酸濃度より、次葉に示す計算により調整水量比として表わされる。

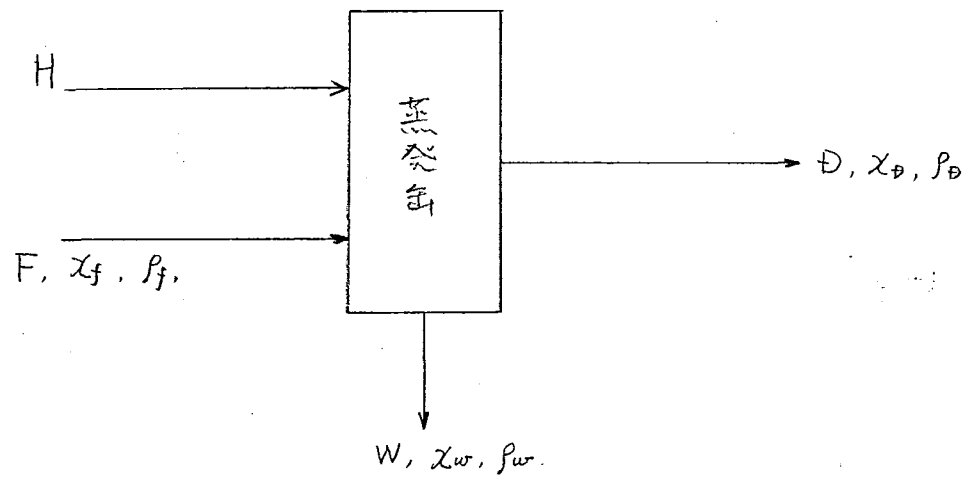
表-3 の気液平衡データによる計算結果を、表-4 及び 図-3 に示した。

図-3 に示す様に、「減圧蒸発缶工学試験装置」及び「JNFS 実機概念検討」では調整水は無しであるが、「F再概念設計(VI)」での調整水量は、使用した気液平衡データの違いにより、本計算結果では計画調整水量の約  $\frac{1}{2}$  となる。すなわち蒸発缶径としては約 20% 小さいとなる。

又、供給液硝酸濃度の設定も調整水量に大きな影響を与える。

図-4 に 調整水量 (缶液硝酸濃度) と缶径の関係を示す。

必要調整水量の計算



- F: 供給液量 (kg/h)
- W: 濃縮液量 (kg/h)
- D: 留出液量 (kg/h)
- H: 調整水量 (kg/h)
- ρ: 液密度 (kg/l)
- x: 硝酸重量分率 (-)
- N: 濃縮倍率 (-)

$$\rho = \frac{1.0}{1 - 0.4905x} \quad \text{--- ①}$$

(化学便覧 Ⅰの図解式)  
図-5参照

$$H = n \times F \quad \text{--- ②}$$

とすると、

上記 マスバランスは

$$\left\{ \begin{array}{l} F = W + D - H \quad \text{--- ③} \\ x_f \cdot F = x_w \cdot W + x_D \cdot D \quad \text{--- ④} \\ N = \frac{F \rho_w}{W \rho_f} \quad \text{--- ⑤} \end{array} \right.$$

①, ②, ③ ④, ⑤ 并

$$X_w = \frac{(1-N-0.4905 X_f - mN) \times X_D + X_f N}{1 - (0.4905 - 0.4905 \times N) \times X_f - 0.4905 N (1+m) X_D}$$

$$m = \frac{\{1 - 0.4905 \times (1-N) \times X_f\} \times X_w - 0.4905 \cdot N \cdot X_D \cdot X_w - (1-N-0.4905 X_f) X_D - X_f N}{0.4905 \cdot N \cdot X_D \cdot X_w - N X_D}$$

次に

 $P_g$ : ガス密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) $u$ : ガス速度 ( $\text{m}/\text{h}$ ) $D$ : 蒸発管径 ( $\text{m}$ ) $T$ : 沸点 ( $^{\circ}\text{C}$ ) $P$ : 圧力 (Torr)

とすると

$$P_g = \frac{1}{\left\{ \frac{22.4 X_D}{63} + \frac{22.4 (1-X_D)}{18} \right\} \times \frac{273+T}{273} \times \frac{760}{P}}$$

$$\frac{\pi D^2}{4 F} = \frac{1+m - \frac{P_w}{50 P_g}}{u \sqrt{P_g} \times \sqrt{P_g}} \quad (\text{m}^2/\text{kg})$$



## (3) 蒸気速度

供給液量  $Q$  と調整水量  $W$  の蒸発量が決れば、DFの点から蒸気速度が規定され蒸発缶径が決定される。

蒸気速度については、「F再概念設計(Ⅳ)」では工場設備と同じ  $1.5 \text{ m/sec}$  としている。

しかし「減圧蒸発缶工学試験装置」及び「JNFS 実機概念検討」では、蒸気速度を線速度ではなく  $U_{TP}$  にて評価している。一般的には  $U_{TP}$  での評価方法が用いられている。各設備の設計  $U_{TP}$  は表-2に示した様に各設備で相当異なる。 $U_{TP}$  については、ミスター仕様等の違いにより一概に規定できないと思われるが、JNFS テストでは  $U_{TP} \leq 3000$  で  $DF \geq 10^5$ 、工場設備では  $U_{TP} = 4000$  で  $DF = 5 \times 10^5 \sim 2 \times 10^6$  (減圧蒸発缶工学試験装置の設計での検討結果) となっている。尚、減圧蒸発缶工学試験装置を用いて  $U_{TP}$  と  $DF$  の関係の把握テストを実施する予定となっている。

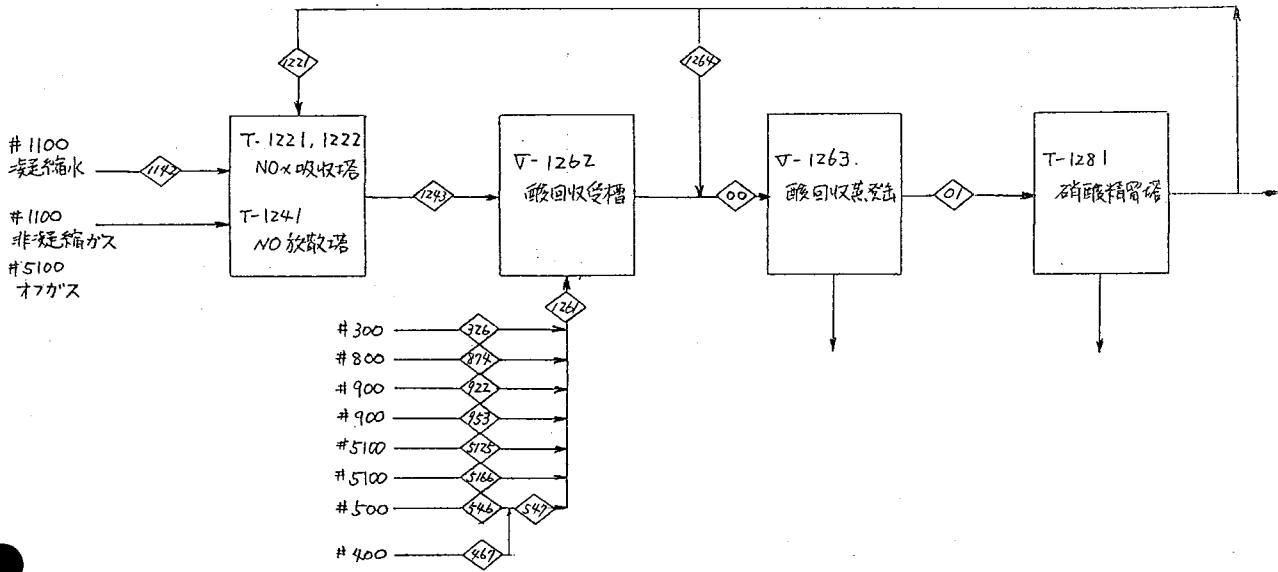
## (4) 蒸発缶熱交換部のサイズ

蒸発缶熱交換部のサイズは、総括伝熱係数と温度差により決まるが、各設備とも熱交換器は、カーボステンもしくはカランリヤ (自然循環) が使用されるため、総括伝熱係数に大差はないと考えられる。

温度差については、腐食の面から検討されるべきものであるが、使用する最低蒸気温度が  $100^\circ\text{C}$  であることも考えれば、減圧蒸発缶においても十分な温度差が取れるため、缶内圧力の熱交換器サイズへの影響は少ないと考えられ、蒸発部サイズと同様に処理量によって熱交換器サイズは変化する。

表-1 酸回収蒸発缶廻りマスバランス

(F再概念設計可)



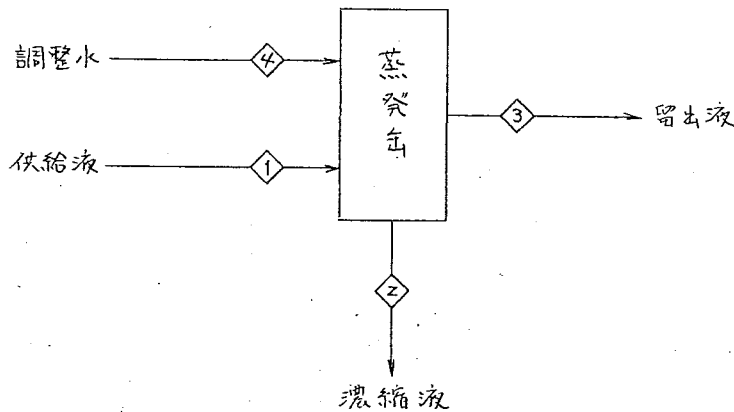
(ただし 120 kg/d H-3 4-2)

Stream No.	液名	Unit No.	液量			硝酸濃度 (CN)	放射能		割合 (%)	
			Total (L/d)	H <sub>2</sub> O (kg/d)	HNO <sub>3</sub> (kg/d)		濃度 (Ci/m <sup>3</sup> )	総量 (Ci/d)	液量	放射能
326	蒸解槽中間凝縮液	# 300	212	205.8	10.8	0.8	11.37	2.41	0.5	0.05
467	中間濃縮器凝縮液	# 400	2566	2559	19.7	0.12	2.21 × 10 <sup>-3</sup>	5.68 × 10 <sup>-3</sup>	6.3	-
546	V-573出 HAW	# 500	4476	4116	717	2.54	12.6	56.6	11.0	1.1
874	475蒸脱工程回収酸	# 800	335	315	42.9	2.03	0.018	6.09 × 10 <sup>3</sup>	0.8	-
922	圧蒸発缶凝縮液	# 900	537	533	6.33	0.187	4.51 × 10 <sup>-6</sup>	2.42 × 10 <sup>-6</sup>	1.3	-
953	275バ-洗滌液	# 900	376	345	60.9	2.57	2.69 × 10 <sup>-3</sup>	1.01 × 10 <sup>3</sup>	0.9	-
5125	脱硝凝縮水	# 5100	19.5	17.5	0	0	3194.9	62.3	0.1	1.2
5166	ガス固化洗滌液	# 5100	134	134	0	0	37000	4960	0.3	96.9
1243	吸収酸	# 1200	2261	2154	213	1.5	16.23	36.7	5.5	0.7
1264	調整水	# 1200	29838	29836	188	0.001	5.24 × 10 <sup>-4</sup>	0.016	73.3	-
00		# 1200	40754.5	40217.3	1072.51	0.42	125.6	5118	100	99.95
01	留出液			40001	987	0.4				
1142	HAW凝縮缶凝縮液	# 1100	938	931	15.8	0.3				
1221	吸収水	# 1200	1193	1193	752 × 10 <sup>-2</sup>	0.001	5.24 × 10 <sup>-4</sup>	0.016		

(H-3 4-2)

1243			4133	3918	388	1.49				
1261			14903	14034	1727	1.84				
1264			62371	62367	3.93	0.001				
00				80319	218.93	0.4				
01				80009	1974	0.39				

表-2 設備条件の比較



設計条件		設備	F再概念設計(Ⅳ) (推定)	再処理工場	減圧蒸発缶工学 試験装置	JNFS 実機概念設計 580 (559)
物 質 収 支	①	流量 (kg/h)	986	2181	210	2027 (2037.3)
		HNO <sub>3</sub> 濃度 (wt%)	10.5	12.7	10.2	14.6 (14.6)
	②	流量 (kg/h)	22	50	5.1	50.7 (50.8)
		HNO <sub>3</sub> 濃度 (wt%)	32.0	40.0	42.7	50.3 (46.1)
	③	流量 (kg/h)	4030	2711	204.9	1976.2 (1981.5)
		HNO <sub>3</sub> 濃度 (wt%)	2.4	9.5	9.4	13.7 (13.8)
	④	流量 (kg/h)	3066	580 (24-4I=279-)	0	0 (0)
		HNO <sub>3</sub> 濃度 (wt%)	0.0063	0	0	0 (0)
圧力 (torr)			450	760	200	80 (140)
温度 (°C)			94	111	78	62 (75)
濃縮倍率 (-)			50	50	50	40
蒸気 速度	設計流速 (m/sec)		1.5	1.56	4.29	2.52
	設計u <sub>FD</sub> (m/h <sup>1/2</sup> √kg/m <sup>3</sup> )		3268	4400	6500	2500
設備の余裕			蒸発量 × 1.5			1.1倍径 × 1.1
蒸発部缶径 (mmφ)			2000	1000	300 <sup>A</sup>	2100 (1800)
備 考			蒸発部の腐食性が 少ない、建設初期 より 240 kgHM/h にて計画			

表-3 留出液硝酸濃度 (HNO<sub>3</sub> wt%)

圧力 留液濃度	100 torr	200 torr	450 torr	760 torr
6.0 N	1.7	2.4	4.1	4.7
6.5 N	2.6	3.5	5.3	6.5
7.0 N	3.5	4.5	6.6	8.0
7.5 N	4.8	6.2	8.6	10.2
8.0 N	6.3	7.8	10.6	12.2
8.5 N	8.3	9.9	13.0	14.8
9.0 N	10.2	11.9	15.0	—

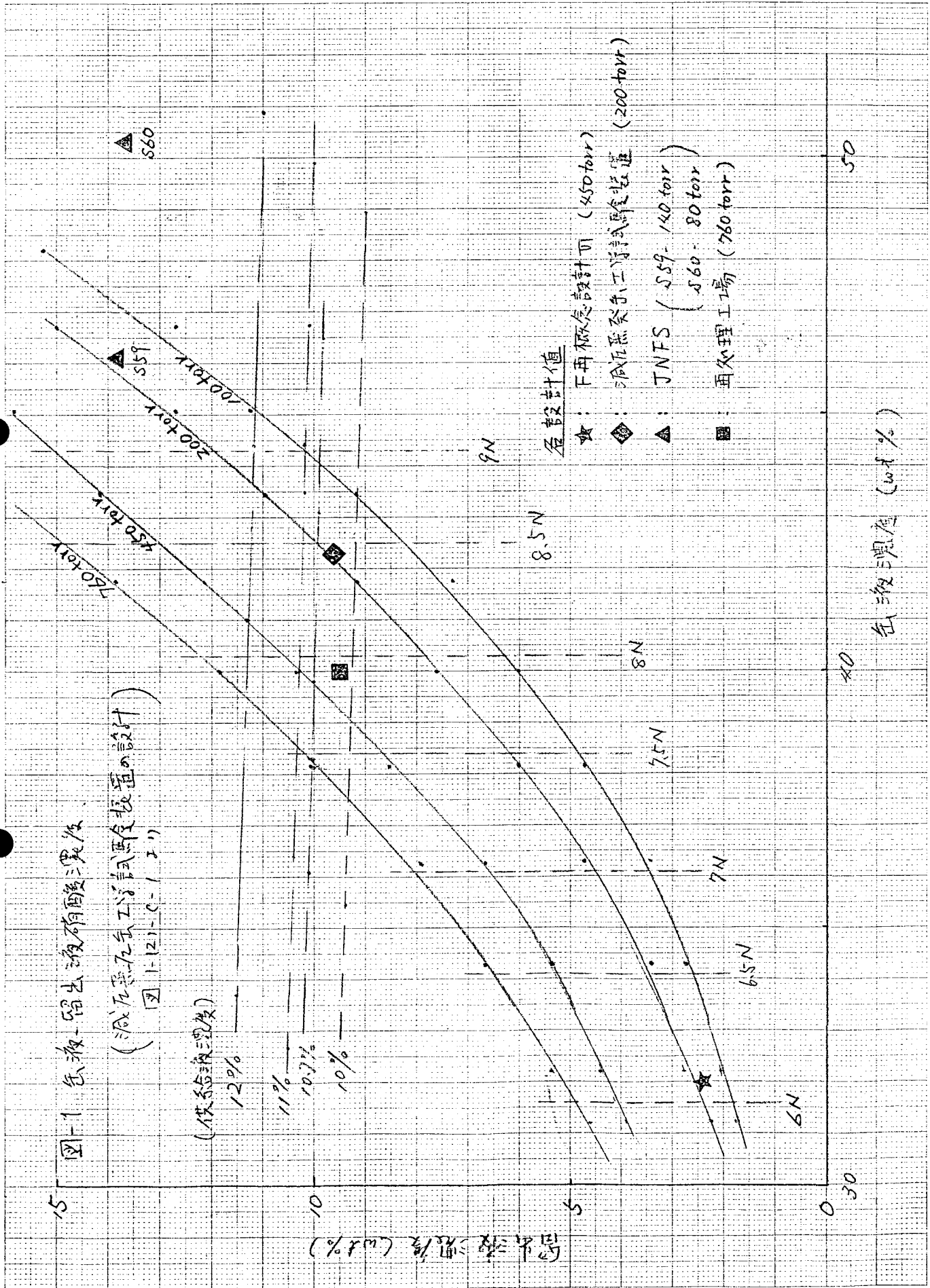
( 減圧蒸留装置試験装置の設計 図1-(2)-C-1 参照 )

表-4 必要調整水量比 (調整水量/供給液重量)

N=50

压力 (ton)	100									200									450									760								
	9			10			11			12			9			10			11			12			9			10			11			12		
	Feed wt%	wt%	(wt%)	Feed wt%	wt%	(wt%)	Feed wt%	wt%	(wt%)	Feed wt%	wt%	(wt%)	Feed wt%	wt%	(wt%)	Feed wt%	wt%	(wt%)	Feed wt%	wt%	(wt%)	Feed wt%	wt%	(wt%)	Feed wt%	wt%	(wt%)	Feed wt%	wt%	(wt%)						
31.6	3.90	4.49	5.08	5.67	6.26	6.85	7.44	8.03	8.62	9.21	9.80	10.39	10.98	11.57	12.16	12.75	13.34	13.93	14.52	15.11	15.70	16.29	16.88	17.47	18.06	18.65	19.24	19.83	20.42							
(6N)	(16.42)	(18.40)	(20.39)	(22.37)	(24.35)	(26.34)	(28.32)	(30.31)	(32.29)	(34.28)	(36.26)	(38.25)	(40.23)	(42.22)	(44.20)	(46.19)	(48.17)	(50.16)	(52.14)	(54.13)	(56.11)	(58.10)	(60.08)	(62.07)	(64.05)	(66.04)	(68.03)	(70.01)	(72.00)							
34.1	2.18	2.57	2.96	3.34	3.73	4.11	4.50	4.88	5.27	5.65	6.04	6.42	6.81	7.19	7.58	7.96	8.35	8.73	9.12	9.50	9.89	10.27	10.66	11.04	11.43	11.81	12.20	12.58	12.97							
(6.5N)	(10.61)	(11.92)	(13.23)	(14.54)	(15.85)	(17.16)	(18.47)	(19.78)	(21.09)	(22.40)	(23.71)	(25.02)	(26.33)	(27.64)	(28.95)	(30.26)	(31.57)	(32.88)	(34.19)	(35.50)	(36.81)	(38.12)	(39.43)	(40.74)	(42.05)	(43.36)	(44.67)	(45.98)	(47.29)							
36.1	1.36	1.64	1.93	2.22	2.51	2.80	3.09	3.38	3.67	3.96	4.25	4.54	4.83	5.12	5.41	5.70	5.99	6.28	6.57	6.86	7.15	7.44	7.73	8.02	8.31	8.60	8.89	9.18	9.47							
(7.0N)	(7.84)	(8.78)	(9.72)	(10.66)	(11.60)	(12.54)	(13.48)	(14.42)	(15.36)	(16.30)	(17.24)	(18.18)	(19.12)	(20.06)	(21.00)	(21.94)	(22.88)	(23.82)	(24.76)	(25.70)	(26.64)	(27.58)	(28.52)	(29.46)	(30.40)	(31.34)	(32.28)	(33.22)	(34.16)							
38.4	0.71	0.92	1.13	1.34	1.55	1.76	1.97	2.18	2.39	2.60	2.81	3.02	3.23	3.44	3.65	3.86	4.07	4.28	4.49	4.70	4.91	5.12	5.33	5.54	5.75	5.96	6.17	6.38	6.59							
(7.5N)	(5.64)	(6.34)	(7.04)	(7.74)	(8.44)	(9.14)	(9.84)	(10.54)	(11.24)	(11.94)	(12.64)	(13.34)	(14.04)	(14.74)	(15.44)	(16.14)	(16.84)	(17.54)	(18.24)	(18.94)	(19.64)	(20.34)	(21.04)	(21.74)	(22.44)	(23.14)	(23.84)	(24.54)	(25.24)							
40.3	0.30	0.46	0.62	0.78	0.94	1.10	1.26	1.42	1.58	1.74	1.90	2.06	2.22	2.38	2.54	2.70	2.86	3.02	3.18	3.34	3.50	3.66	3.82	3.98	4.14	4.30	4.46	4.62	4.78							
(8N)	(4.25)	(4.78)	(5.31)	(5.85)	(6.38)	(6.91)	(7.44)	(7.97)	(8.50)	(9.03)	(9.56)	(10.09)	(10.62)	(11.15)	(11.68)	(12.21)	(12.74)	(13.27)	(13.80)	(14.33)	(14.86)	(15.39)	(15.92)	(16.45)	(16.98)	(17.51)	(18.04)	(18.57)	(19.10)							
42.5	-	0.11	0.23	0.35	0.47	0.59	0.71	0.83	0.95	1.07	1.19	1.31	1.43	1.55	1.67	1.79	1.91	2.03	2.15	2.27	2.39	2.51	2.63	2.75	2.87	2.99	3.11	3.23	3.35							
(8.5N)	(3.59)	(3.99)	(4.39)	(4.79)	(5.19)	(5.59)	(5.99)	(6.39)	(6.79)	(7.19)	(7.59)	(7.99)	(8.39)	(8.79)	(9.19)	(9.59)	(9.99)	(10.39)	(10.79)	(11.19)	(11.59)	(11.99)	(12.39)	(12.79)	(13.19)	(13.59)	(13.99)	(14.39)	(14.79)							
44.3	-	-	-	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.10	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60							
(9N)	(3.54)	(3.94)	(4.34)	(4.74)	(5.14)	(5.54)	(5.94)	(6.34)	(6.74)	(7.14)	(7.54)	(7.94)	(8.34)	(8.74)	(9.14)	(9.54)	(9.94)	(10.34)	(10.74)	(11.14)	(11.54)	(11.94)	(12.34)	(12.74)	(13.14)	(13.54)	(13.94)	(14.34)	(14.74)							

注) ( )内は  $\frac{F \cdot D^2}{4} \times u \sqrt{H}$



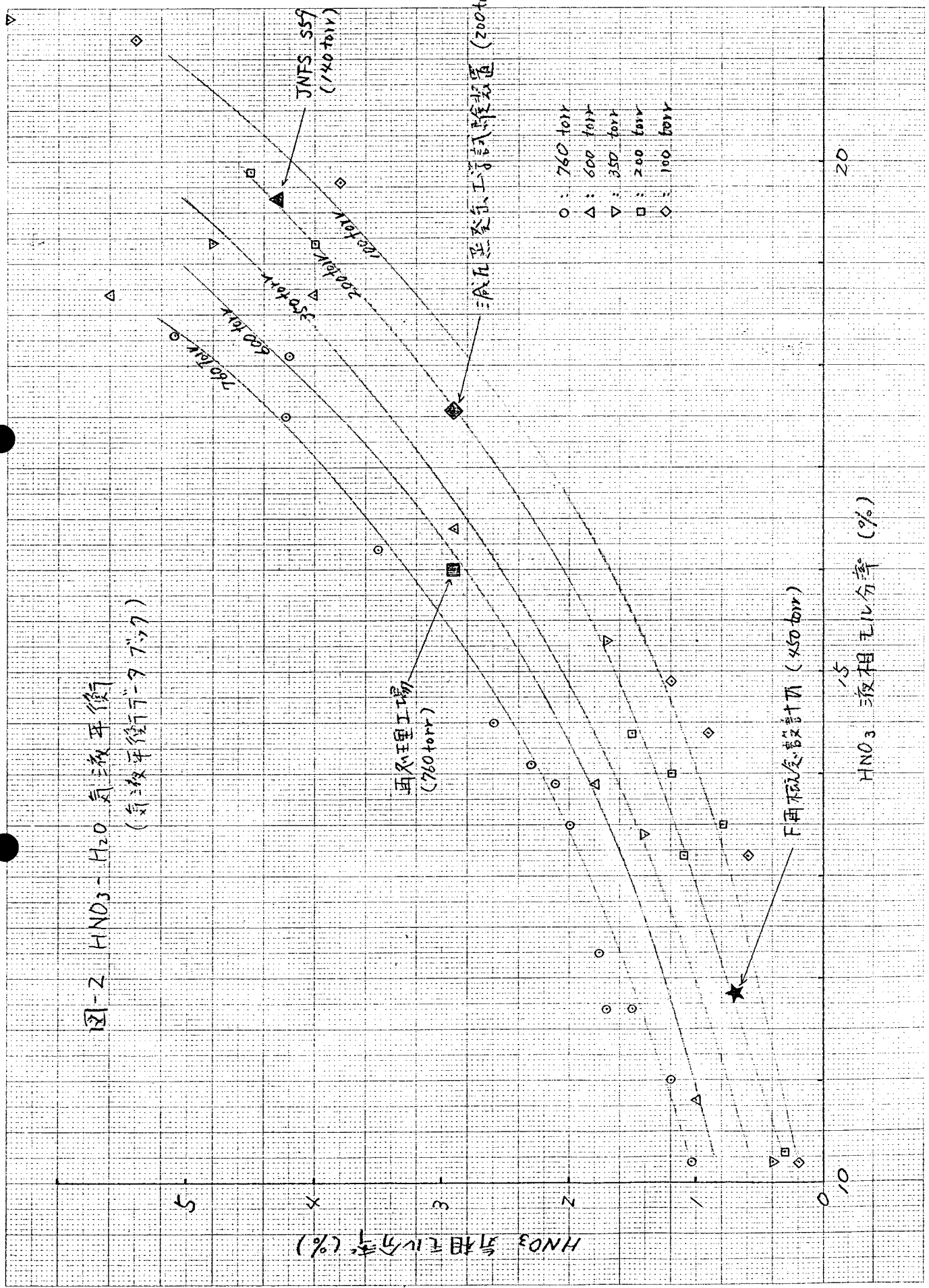


図-2 HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O 気液平衡  
(気液平衡データより)

再処理工場  
(760 torr)

HNO<sub>3</sub> 気相モル分率 (%)

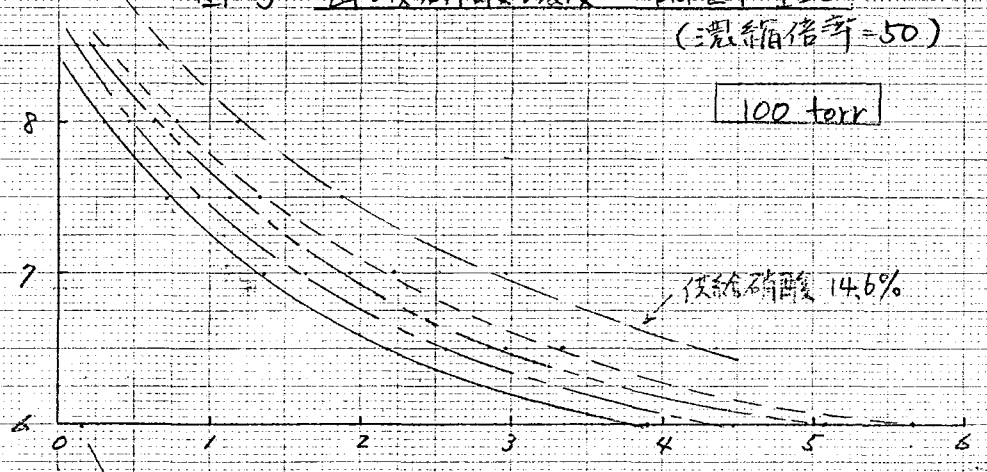
HNO<sub>3</sub> 液相モル分率 (%)

- : 760 torr
- △ : 600 torr
- ▽ : 350 torr
- : 200 torr
- ◇ : 100 torr

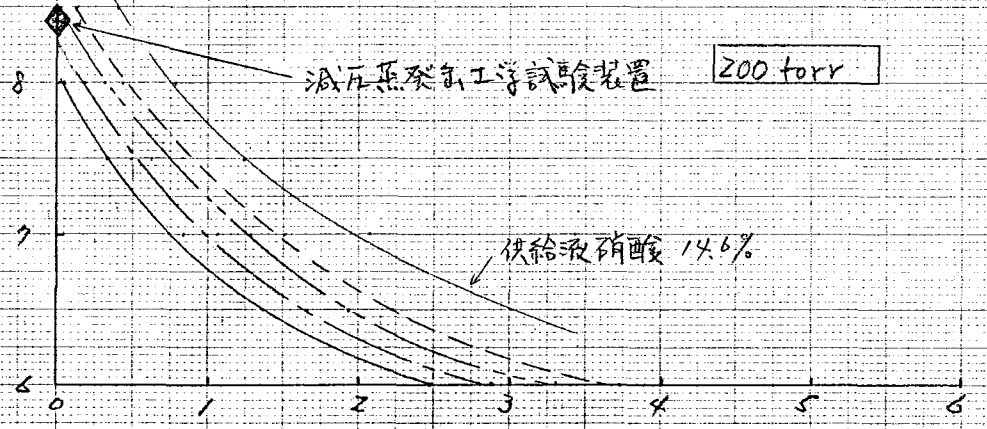
▲ JNFS (SS9)  
140 torr

圖-3 出液硝酸濃度と調整水量比  
(濃縮倍率=50)

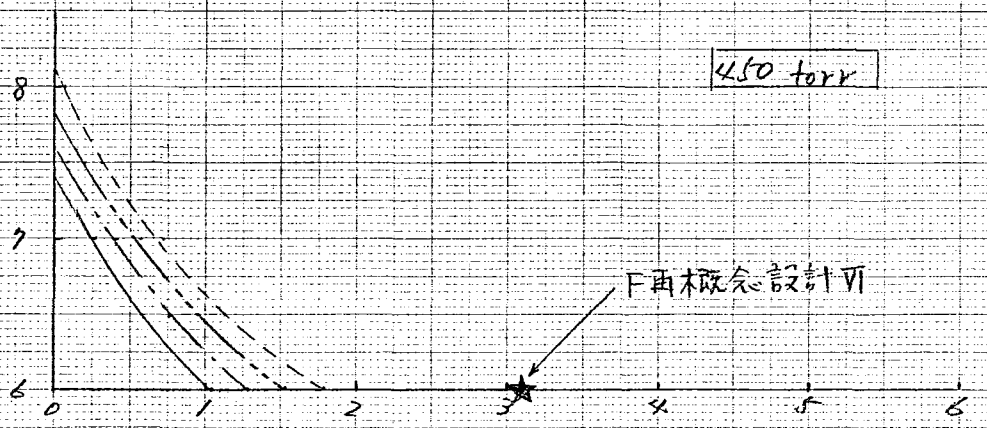
100 torr



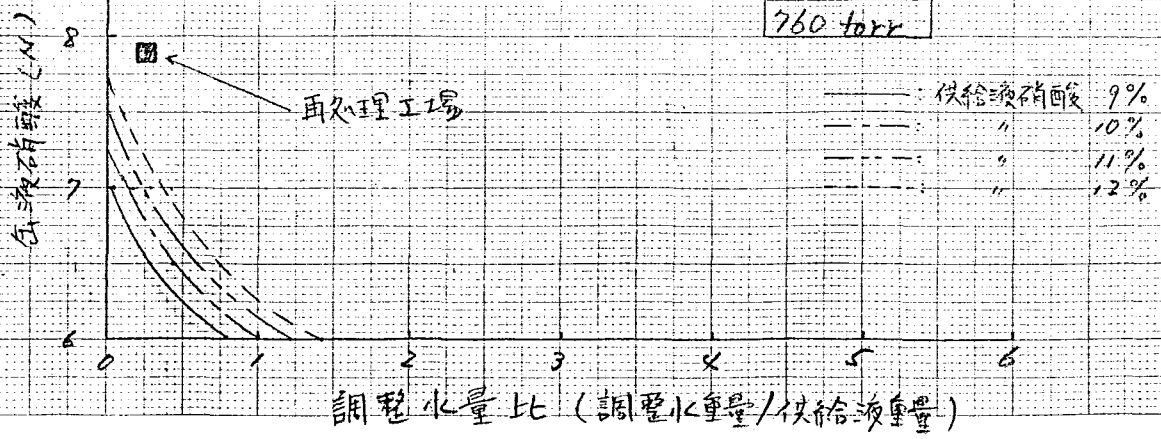
200 torr



450 torr



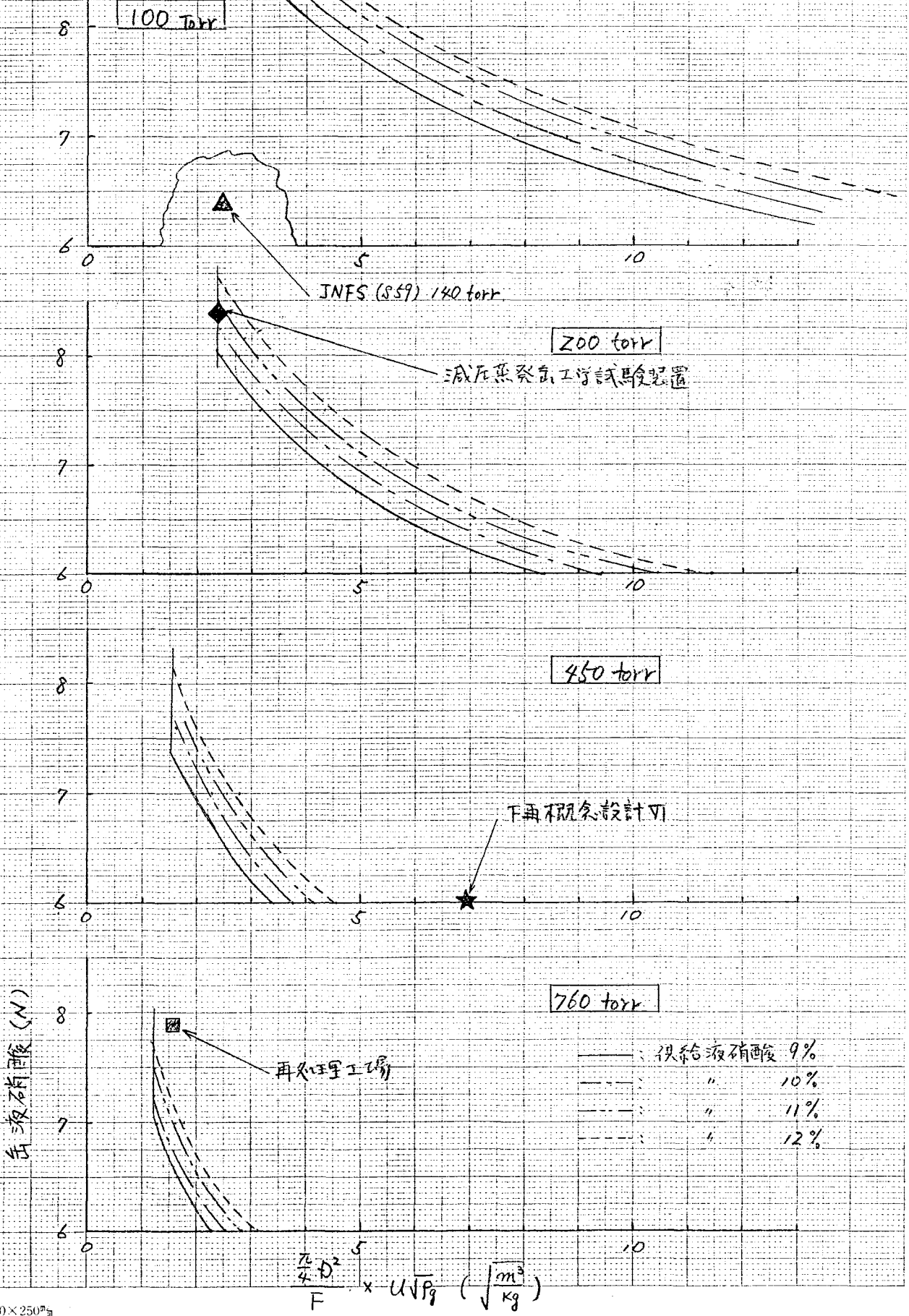
760 torr



調整水量比 (調整水重量/供給液重量)



図-4 硝酸液濃度と缶径  
(濃縮倍率=50)



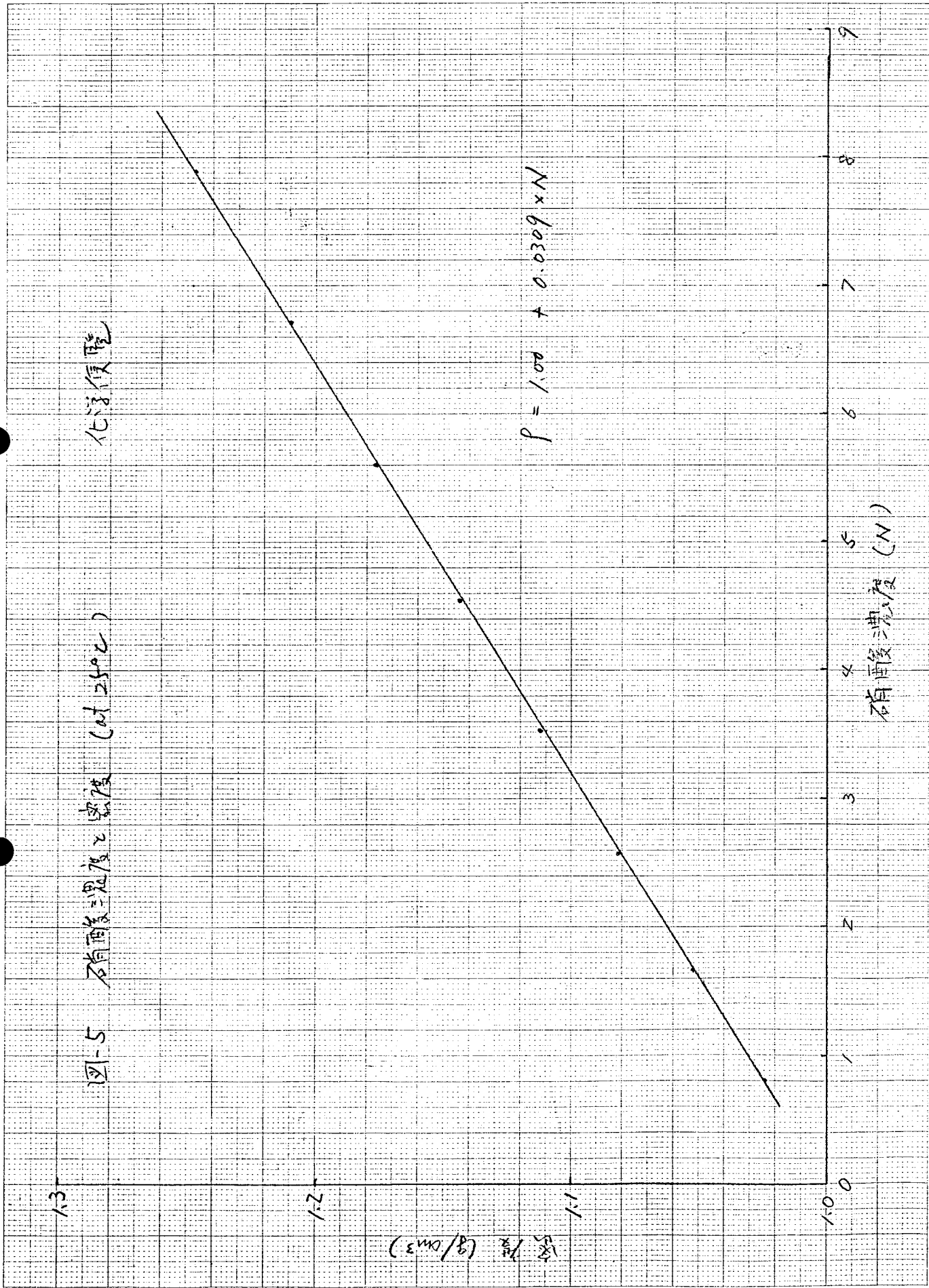


図-5 硝酸濃度と密度 (対 25.0℃)

化学便覧