

JAERI-M

6 3 0 1

低温化学照射装置（LTFL）の
液体窒素供給系

1975年11月

森山 昇・助川 友英・徳永 興公

池添 康正・佐藤 章一・団野 啓文*

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

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、複製などのお問合せは、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.

低温化学照射装置(L T F L)の液体窒素供給系

日本原子力研究所高崎研究所研究部

森山 昇*, 助川 友英**, 徳永 興公

池添 康正, 佐藤 章一, 団野 晴文***

(1 9 7 5 年 1 0 月 2 3 日受理)

低温化学照射装置(L T F L)の低温運転にあたっては、液体窒素約 50ℓ/h の供給が必要であるが、運転中の J R R - 3 炉室内で多量の液体窒素を取扱う問題を解決するため、炉室外に容量 2,600ℓ の大型液体窒素タンクを設置した。液体窒素は高真空中で断熱したステンレス鋼製管中を直接 L T F L に供給される。この液体窒素供給系の設置により L T F L の運転の効率は著しく増大した。本報では、この供給系の構造、特性、安全性、熱損失および運転手順について述べた。

* 日本原子力研究所東海研究所保安物理安全管理部

** 日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター安全工学部

*** 鹿児島大学農学部

Liquid Nitrogen Supply System for the Low Temperature
Fissiochemical Loop (LTFL)

Noboru MORIYAMA*, Tomohide SUKEGAWA,** Okihiro TOKUNAGA,
Yasumasa IKEZOE, Shoichi SATO, and Akibumi DANNO***

Division of Research, Takasaki, JAERI

(Received October 23, 1975)

Low Temperature Fissiochemical Loop was installed in March 1969. For the operation at low temperatures, liquid nitrogen is fed to the loop about 50 l/h. To facilitate the handling of large quantity of the liquid nitrogen in the JRR-3 reactor room, a liquid nitrogen tank of capacity 2,600 l was set outside the room in March 1970. Liquid nitrogen is directly fed to the LTFL through a stainless steel pipe thermally insulated with high vaccum. Due to the improvement, operation efficiency of LTFL was considerably increased . The structure, characteristics, safe considerations, heat balance calculation, and operational procedures of the feed system are described in this report.

* Waste Management Laboratory, Division of Health Physics and Safety, Tokai, JAERI.

** Reactor Safety Laboratory II, Division of Reactor Safety, Tokai, JAERI.

*** Faculty of Agriculture, Kagoshima University.

目 次

I 序 諭	1
II 液体窒素供給系の構成およびその性能	1
2.1 液体窒素貯蔵タンク	1
2.2 液体窒素供給用真空二重配管	3
2.3 直動式液面指示計	3
2.4 真空排気セット	3
2.5 壁掛開放型制御盤	3
2.6 弁 類	3
III 液体窒素貯蔵タンクの安定性	4
3.1 垂直荷重により基礎底面の地盤に作用する応力	5
3.2 風圧または地震力により基礎底面の地盤に作用する応力	5
3.3 基礎の安定性	6
3.4 地盤の許容支持力	6
3.5 まとめ	6
IV 液体窒素供給用真空断熱二重配管の熱侵入	7
4.1 供給開始時の損失	7
4.2 定常供給時の損失	7
4.3 まとめ	11
V 運転操作手順	11
5.1 液体窒素貯蔵タンクへの液体窒素充填手順	11
5.2 液体窒素貯蔵タンクから液体窒素補助タンクへの供給	12
VI 検討および結語	12

I 序 論

核分裂エネルギーを直接化学反応に利用する化学原子炉に適した化学反応系を探索するために、低温における放射線化学反応の特異性および核分裂片の高LETに着目し、低温で核分裂片照射の行なえる照射装置—低温化学照射装置（LTFL）—をJRR-3に設置することになり、1963年にその完成をみた。¹⁾

本装置の特徴の一つとして低温照射が挙げられるが、この低温照射を行なうには多量の液体窒素を必要とした。すなわち初期冷却に約200ℓ、定常運転に約50ℓ/hrの液体窒素が必要であった。²⁾従来本装置では液体窒素を100ℓの容器10個により内容積500ℓの液体窒素補助タンクへ充填していたが、原子炉の運転時に100ℓの容器を炉室内へ搬入する場合、JRR-3のトラックドアを開閉する必要があり、原子炉の運転上好ましいことではなかった。またこの100ℓ容器を常時管理区域へ持込んだり、持出したりすることは、安全上望ましくはなかった。またこの液体窒素の運搬には多大の労力を必要とし、肝心の照射運転に悪影響をおよぼす可能性があった。従ってこの照射装置を首尾良く運転するために、タンクロリー車から直接液体窒素の供給を受けられる内容積2600ℓの液体窒素貯蔵タンクを炉室外に設置し、このタンクから炉室内に設置した低温化学照射装置の液体窒素補助タンクへ自動的に液体窒素を供給することができるよう改良を施こし、照射効率の向上を計った。またJRR-3の水ガス系に使用されているヘリウムを精製する場合、活性炭を液体窒素温度に冷却する必要があるが、この液体窒素の供給も自動的に可能となるように併せて改良を施こした。

II 液体窒素供給系の構成およびその性能

本液体窒素供給系は、炉室外にてタンクロリー車から液体窒素の供給を直接受けることができる内容積約3000ℓの液体窒素貯蔵タンク、この液体窒素貯蔵タンクから炉室内に設置されている低温化学照射装置の液体窒素補助タンクへ液体窒素を供給する液体窒素供給用真空断熱二重配管、液体窒素貯蔵タンク内の貯蔵量を検知する直動式液面指示計（バートン差圧液面変換器を含む）、断熱系を真空引きするための真空排気セット、壁掛開放型制御盤、その他の配管、弁類などから構成される。この系のフローシートを第1図に示す。

2.1 液体窒素貯蔵タンク

JRR-3炉室外のRI製造棟側に位置し、タンクロリー車より直接液体窒素の供給を受けるタンクである。

型 式	真空粉末断熱層付二重タンク
内 容 積	2900ℓ
充 填 容 量	2610ℓ(2109kg)
最高使用圧力	2.0 kg/cm ² ・G

I 序 論

核分裂エネルギーを直接化学反応に利用する化学原子炉に適した化学反応系を探索するために、低温における放射線化学反応の特異性および核分裂片の高LETに着目し、低温で核分裂片照射の行なえる照射装置—低温化学照射装置（LTFL）—をJRR-3に設置することになり、1963年にその完成をみた。¹⁾

本装置の特徴の一つとして低温照射が挙げられるが、この低温照射を行なうには多量の液体窒素が必要とした。すなわち初期冷却に約200ℓ、定常運転に約50ℓ/hrの液体窒素が必要であった。²⁾従来本装置では液体窒素を100ℓの容器10個により内容積500ℓの液体窒素補助タンクへ充填していたが、原子炉の運転時に100ℓの容器を炉室内へ搬入する場合、JRR-3のトラックドアを開閉する必要があり、原子炉の運転上好ましいことではなかった。またこの100ℓ容器を常時管理区域へ持込んだり、持出したりすることは、安全上望ましくはなかった。またこの液体窒素の運搬には多大の労力を必要とし、肝心の照射運転に悪影響をおよぼす可能性があった。従ってこの照射装置を首尾良く運転するために、タンクロリー車から直接液体窒素の供給を受けられる内容積2600ℓの液体窒素貯蔵タンクを炉室外に設置し、このタンクから炉室内に設置した低温化学照射装置の液体窒素補助タンクへ自動的に液体窒素を供給することができるよう改良を施し、照射効率の向上を計った。またJRR-3の水ガス系に使用されているヘリウムを精製する場合、活性炭を液体窒素温度に冷却する必要があるが、この液体窒素の供給も自動的に可能となるように併せて改良を施した。

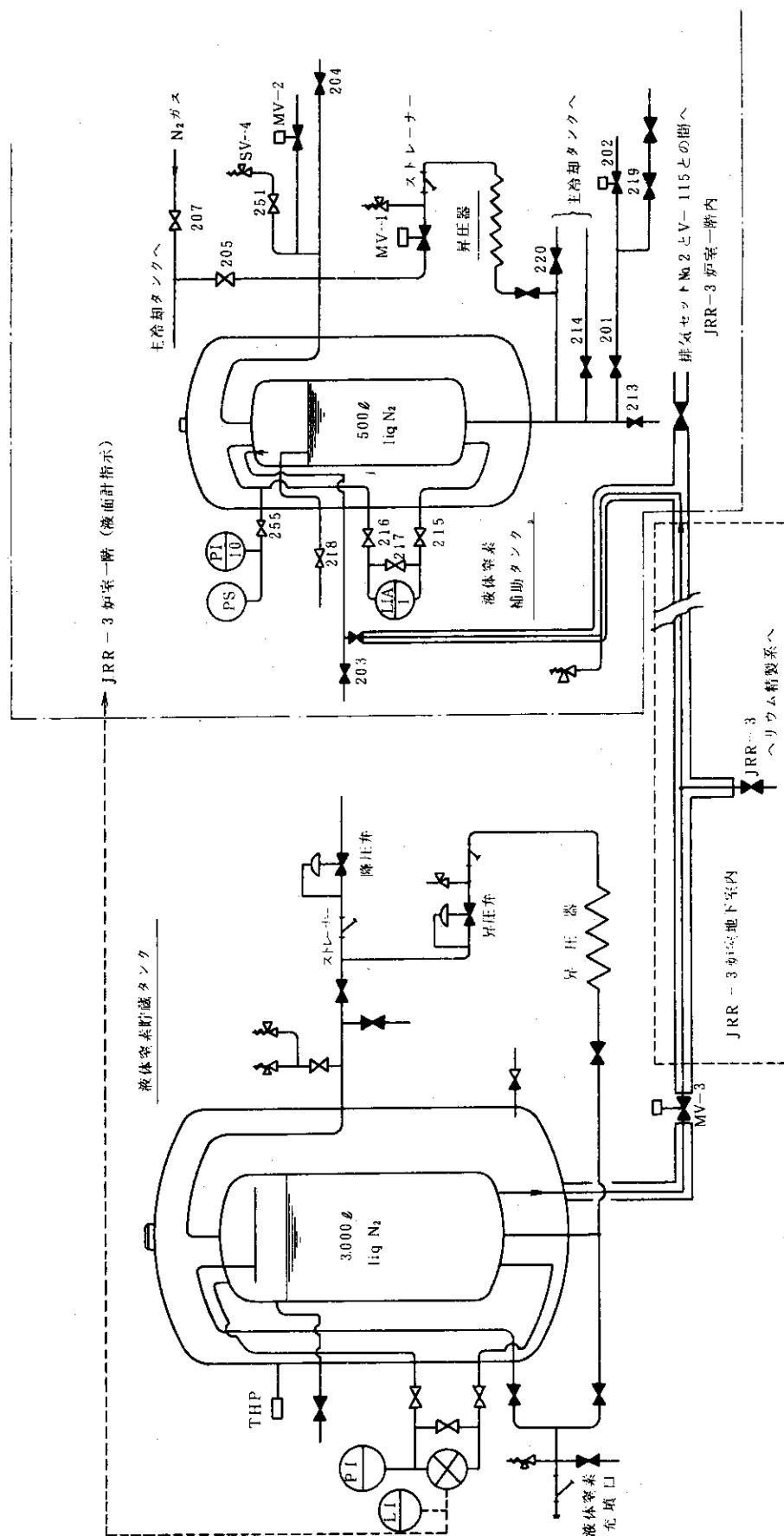
II 液体窒素供給系の構成およびその性能

本液体窒素供給系は、炉室外にてタンクロリー車から液体窒素の供給を直接受けることができる内容積約3000ℓの液体窒素貯蔵タンク、この液体窒素貯蔵タンクから炉室内に設置されている低温化学照射装置の液体窒素補助タンクへ液体窒素を供給する液体窒素供給用真空断熱二重配管、液体窒素貯蔵タンク内の貯蔵量を検知する直動式液面指示計（バートン差圧液面変換器を含む）、断熱系を真空引きするための真空排気セット、壁掛開放型制御盤、他の配管、弁類などから構成される。この系のフローシートを第1図に示す。

2.1 液体窒素貯蔵タンク

JRR-3炉室外のRI製造棟側に位置し、タンクロリー車より直接液体窒素の供給を受けるタンクである。

型 式	真空粉末断熱層付二重タンク
内 容 積	2900ℓ
充 填 容 量	2610ℓ(2109kg)
最高使用圧力	2.0 kg/cm ² G



第1回 低温化学照射装置液体窒素供給系フロー・シート

材 質 内槽 SUS-27 外槽 SS-41
 蒸 発 率 0.6%/day 以下
 付 属 品 自己昇圧装置, 安全弁, 弁類, 圧力計, 配管

2.2 液体窒素供給用真空断熱二重配管

液体窒素貯蔵タンクよりJRR-3炉室地下壁のスリーブを通って炉室内地下室へ入り、E'ハッチより炉室一階に上がり、炉室内に既設の低温化学照射装置液体窒素補助タンクへ接続する高真空断熱配管である。

配管径	内管	25A
	外管	65A
配管長	50m	
配管材質	SUS-27	

2.3 直動式液面指示計

差圧液面変換器から発信した電流信号を受けて、液体窒素貯蔵タンク内の液体窒素量を指示する。本計器は液体窒素貯蔵タンクパネル板および壁掛開放型制御盤にそれぞれ取り付けてある。上記差圧液面変換器（バートン式）は次の仕様を有する。

最大差圧	3.000mmAq
電 源	AC100V 50c/s
出 力	2~10mA

2.4 真空排気セット

真空排気セットは低温化学照射装置の真空排気セットNo.2を使用するよう真空断熱配管を上記排気セットNo.2の吸入管に接続している。排気セットの仕様は次の通りである。

ロータリポンプ	排気量	800ℓ/min
油拡散ポンプ	排気量	900ℓ/sec

2.5 壁掛開放型制御盤

本制御盤は液体窒素補助タンクの横に設置し、直動式液面指示計、電磁弁開閉用押ボタンスイッチ、電源用スイッチなどを備えている。

2.6 弁類

1) 液体窒素供給用電磁弁

炉室内壁掛開放型制御盤で開閉操作を行なうことにより、炉室外の液体窒素貯蔵タンクから炉室内の液体窒素補助タンクへ液体窒素を供給する電磁弁である。

口 径	25A
材 質	Bs BM

電 力 AC 100V 50 c/s 400mA

2) 真空弁

真空断熱系と真空排気セットとの間を開閉する弁である。

口 径 50A

材 質 普通炭素鋼 Ni メッキ

3) 安全弁

口 径 25A

材 質 Bs BM

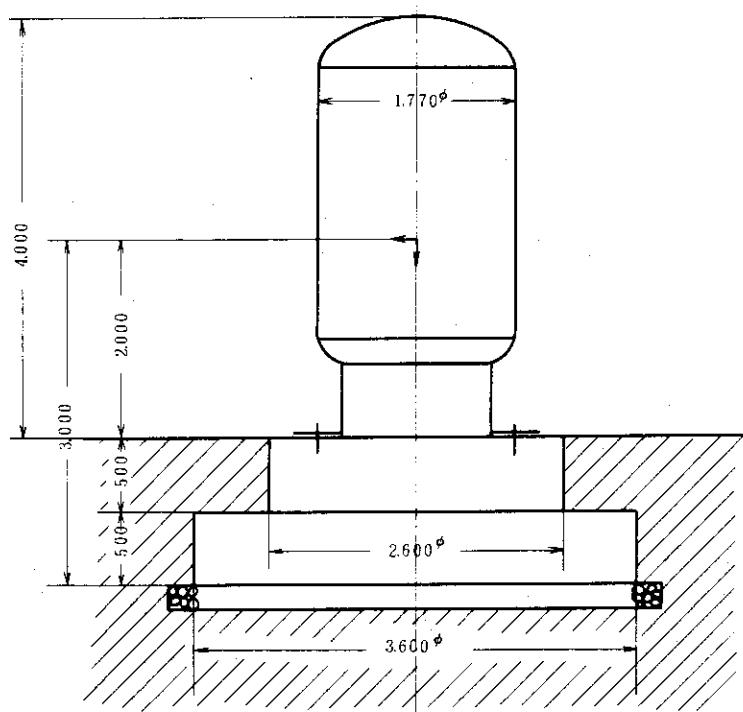
4) 手動低温弁

口 径 25A

材 質 Bs BM

III 液体窒素貯蔵タンクの安定性

液体窒素貯蔵タンクは屋外に設置されているので、強風や地震に対して充分安定であることが要求される。従って先づタンクの基礎強度を求めてみる。なおタンクの基礎は第2図の如くである。



第2図 液体窒素タンクの基礎

電 力 AC 100V 50 c/s 400mA

2) 真空弁

真空断熱系と真空排気セットとの間を開閉する弁である。

口 径 50A

材 質 普通炭素鋼 Ni メッキ

3) 安全弁

口 径 25A

材 質 Bs BM

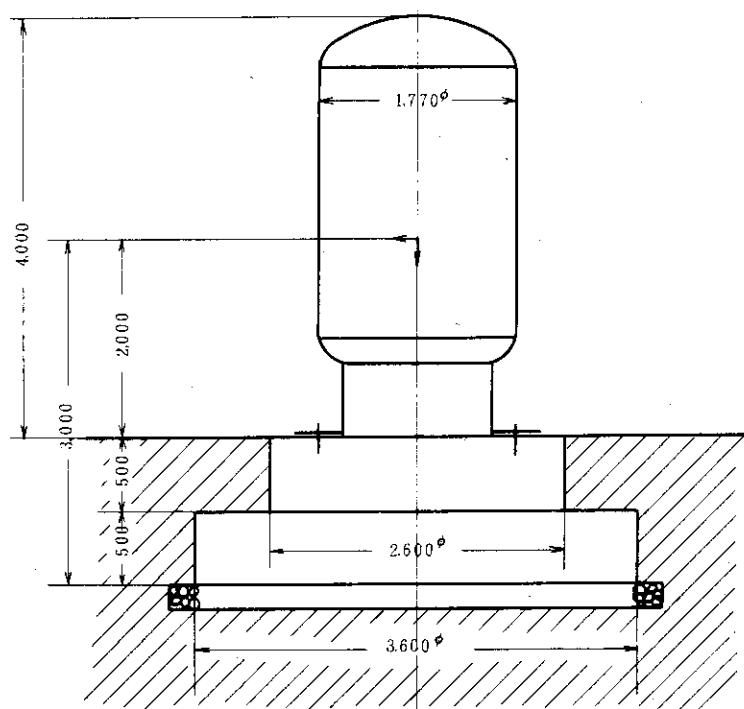
4) 手動低温弁

口 径 25A

材 質 Bs BM

III 液体窒素貯蔵タンクの安定性

液体窒素貯蔵タンクは屋外に設置されているので、強風や地震に対して充分安定であることが要求される。従って先づタンクの基礎強度を求めてみる。なおタンクの基礎は第2図の如くである。



第2図 液体窒素タンクの基礎

3.1 垂直荷重により基礎底面の地盤に作用する応力 S_1 イ) タンク重量 W_1

タンク空時重量	4,100 kg
液体窒素重量	<u>2,110 kg</u>
計	6,210 kg

ロ) 基礎重量 W_2

基礎上部	$\frac{\pi}{4} \times 2.6^2 \times 0.5 \times 2.3 = 6,100$ kg
基礎下部	$\frac{\pi}{4} \times 3.6^2 \times 0.5 \times 2.3 = 11,720$ kg
計	= 17,820 kg

但しコンクリートの比重を 2.3 kg/m^3 とする。

ハ) 地盤に作用する荷重

$$\text{全荷重 } W = W_1 + W_2 = 6,210 + 17,820 = 24,030 \text{ kg}$$

$$S_1 = W/a$$

 S_1 : 死荷重により基礎底面の地盤に生ずる応力

$$a : \text{基礎底面の面積} = \frac{\pi}{4} \times 3.6^2 = 10.2 \text{ m}^2$$

W : 基礎底面で作用する垂直荷重

$$= 24,030 / 10.2 = 2,360 \text{ kg/m}^2$$

3.2 風圧または地震力により基礎底面の地盤に作用する応力 S_2

イ) 風圧力によりタンクに働く力

$$q = 60\sqrt{H}$$

q : 速度圧 kg/m^2

H : タンクの地上よりの高さ 4 m

$$\text{より } q = 120 \text{ kg/m}^2$$

$$P = c \times q$$

P : 風圧力 kg/m^2

c : 風圧係数 0.7 (円筒の場合)

$$\text{より } P = 0.7 \times 120 = 84 \text{ kg/m}^2$$

$$f_{tw} = P \cdot D \cdot H$$

 f_{tw} : タンクに働く全風圧力 kg

D : タンクの直径 1.77 m

H : タンクの地上よりの高さ 4 m

$$\text{より } f_{tw} = 84 \times 1.77 \times 4 = 595 \text{ kg}$$

ロ) 風圧力によるモーメント M_w

$$M_w = f_{tw} (H/2 + L_f)$$

 L_f : 基礎の深さ 1 m

$$\text{より } M_w = 595 (\frac{4}{2} + 1) = 1785 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

ハ) 地震力によるモーメント M_E

地震力の働く重心の位置 h_G は

$$h_G = \frac{6.21 \times 3 + 6.1 \times 0.75 + 11.72 \times 0.25}{24.03}$$

$$= \frac{26.13}{24.03} = 1.088 \text{ m}$$

$$M_E = K \cdot W \cdot h_G$$

K : 水平震度 0.3 (自力構造の塔, 槽)

$$\text{より } M_E = 0.3 \times 24.03 \times 1.088 = 7820 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

ニ) 地盤に作用する応力

$$S_2 = \frac{M_f}{Z}$$

$$M_f : \text{全モーメント} = M_w + M_E = 1785 + 7820$$

$$= 9605 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$Z : \text{基礎の断面係数} = \frac{\pi}{32} d^3 = \frac{\pi}{32} \times 3.6^3 = 4.57 \text{ m}^3$$

$$\text{より } S_2 = \frac{9605}{4.57} = 2100 \text{ kg/m}^2$$

3.3 基礎の安定性

3.1, 3.2 より

$$S_1 = 2.36 \text{ ton/m}^2$$

$$S_2 = 2.1 \text{ ton/m}^2$$

今 S を基礎底面の地盤に作用する合計応力とすると、

$$S = S_1 \pm S_2$$

$$= 2.36 \pm 2.1 = 4.46 \sim 0.26 \text{ ton/m}^2$$

となる。 $S_1 > S_2$ ならば基礎は安定であり、 $S_1 < S_2$ ならば基礎は不安定であると考えられるから、この場合、基礎は安定である。

3.4 地盤の許容支持力

乾燥した砂層(清浄なもの)の許容支持力は $20 \sim 40 \text{ ton/m}^2$ であり、本タンクの地盤に作用する合計応力は 4.46 ton/m^2 であるから、この基礎は強度的に十分である。

3.5 まとめ

以上強風や地震に対する基礎の安定性を検討し、充分安定であることを確かめた。

IV 液体窒素供給用真空断熱二重配管の熱侵入

液体窒素供給用配管は内管、外管よりなる二重配管であり、二重配管の空間を真空に排気し、極力内管への熱の侵入を防止している。しかしながら供給開始時の損失(Initial loss)と若干の熱侵入による定常供給時の損失(Running loss)は避けられない。以下にこの損失について検討する。

4.1 供給開始時の損失

真空断熱配管の内管および内管支持スペーサーを室温より液体窒素温度まで冷却するために生じる損失である。

4.1.1 内管熱容量

$$\text{SUS-27TP の重量 } 34 \phi \times 1.65 t = 1.32 \text{ kg/m}$$

$$\text{配管長 } 44 \text{ m}$$

$$\text{SUS-27 の比熱 } C_p = 0.118 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$q_1 = C_p \times W \times \Delta T = 0.118 \times 1.32 \times 44 \times 221 = 1583.7 \text{ Kcal}$$

W : 内管の総重量

$$\Delta T: 25^\circ\text{C} - (-196^\circ\text{C}) = 221$$

4.1.2 内管支持スペーサーの熱容量

スペーサーも液体窒素温度まで冷却されると仮定する。

$$\text{スペーサーの重量 } 8 \text{ g/1個}$$

$$\text{スペーサーの数 } 70$$

$$\text{テフロンの比熱 } 0.25 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$q_2 = C_p \times W \times \Delta T = 0.25 \times 8 \times 10^{-3} \times 70 \times 221 = 32.3 \text{ Kcal}$$

4.1.3 総熱容量

$$Q = q_1 + q_2 = 1583.7 + 32.3 = 1616 \text{ Kcal}$$

液体窒素の潜熱は 38.6 Kcal/l であるから液体窒素の初期損失量は $1616 / 38.6 = 41.86 \approx 42 \text{ l}$ となる。

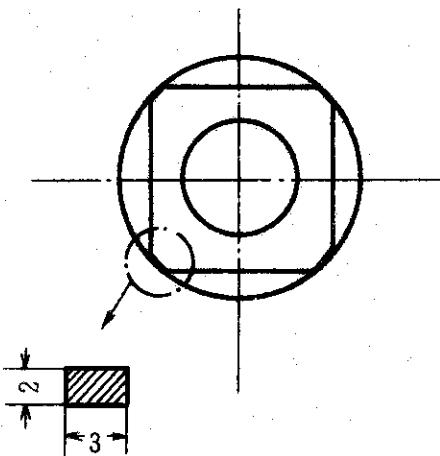
4.2 定常供給時の損失

内管への熱侵入は次の原因によって生じる。

- 1) 内管を支持するスペーサーよりの熱侵入
- 2) 二重管の空間における輻射による熱侵入
- 3) 二重管の空間における残留分子による熱侵入
- 4) 二重配管端部ベローズよりの熱侵入

4.2.1 内容を支持するテフロン製スペーサーよりの熱侵入

・スペーサーと外管との接触点は第3図の如く2ヶ所である。



第3図 テフロンスペーサー支持部

- ・スペーサー厚み 2 mm
- ・内管温度 -196 °C
- ・外管温度 25 °C
- ・平均熱伝導率 $\lambda = 1.33 \text{ Kcal/m hr } ^\circ\text{C}$
- ・伝熱面積は第3図の如く $A = 2 \times 3 \times 2 = 12 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

$$Q' = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{L} = \frac{1.33 \times 12 \times 10^{-6} \times 221}{0.019} = 0.194 \text{ Kcal/hr}$$

L : 距離 19mm = 0.019m

Q' : 伝導による単位時間当りの熱量 Kcal/hr

スペーサの数は70枚であるから全熱量Qは

$$Q = Q' \times 70 = 0.194 \times 70 = 13.58 \text{ Kcal/hr}$$

となる。

4.2.2 二重管の空間における輻射による熱侵入

- ・配管長さ 4.4 m
- ・配管径 内管 SUS-27TP $34\phi \times 1.65 t$ mm
外管 SUS-27TP $76.3\phi \times 2 t$ mm
- e_1 : 輻射率 = 0.048 (77Kにて)
- e_2 : " = 0.08 (298Kにて)
- $A_1 = 1.07 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{m}$
- $A_2 = 2.27 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{m}$
- $T_1 = 77 \text{ K}$
- $T_2 = 298 \text{ K}$

$$Q' = \frac{\sigma A_1}{\frac{1}{e_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{e_2} - 1 \right)} (T_2^4 - T_1^4)$$

Q : T_1 の面に吸収される熱量 cal/sec

σ : ステファンボルツマン定数

$$= 1.36 \times 10^{-12} \text{ cal/sec} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{deg}^4$$

$$Q' = \frac{1.36 \times 10^{-12} \times 1.07 \times 10^3}{\frac{1}{0.048} + \frac{1.07 \times 10^3}{2.27 \times 10^3} \left(\frac{1}{0.08} - 1 \right)} (298^4 - 77^4)$$

$$= 0.498 \text{ cal/sec} \cdot \text{m} = 1.79 \text{ Kcal/hr} \cdot \text{m}$$

配管長は 44 m であるから $Q = 44 \times Q' = 1.79 \times 44 = 78.76 \text{ Kcal/hr}$ となる。

4.2.3 二重管の空間における残留分子による熱侵入

気体の平均自由行程が両壁間距離よりも長くなつた場合、クヌーセンの式が成立する。即ち

$$\ell = 8.6 \times \frac{\eta}{P} \sqrt{\frac{T}{M}}$$

ℓ : 平均自由行程 cm

η : 気体の粘性係数 poise

P : 圧力 mmHg

T : 温度 °K

M : 分子量

が両壁間距離よりも長くなつた場合、熱侵入量 Q は

$$Q = 6.7 \times 10^{-2} A_1 \cdot \alpha \cdot \frac{r+1}{r-1} \cdot \frac{P}{\sqrt{TM}} (T_2 - T_1)$$

Q : 単位時間に内壁の面積 A_1 に伝達される熱量 cal/sec

A_1 : 温度 T_1 の表面積 cm²

r : C_p/C_v で気体の比熱比

M : 気体の分子量

T_1 : 内壁の温度 °K

T_2 : 外壁の温度 °K

T : 圧力 P を測るゲージの位置の温度 °K

α : 適応係数で

$$\alpha = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_2 + \alpha_1 (1 - \alpha_2) A_1 / A_2}$$

α_1 : 温度 T_1 における適応係数

α_2 : 温度 T_2 における適応係数

となる。この場合

$$P = 1 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$$

$$\eta = 1.8 \times 10^{-4} \text{ poise}$$

$$T = 298 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$M = 29$$

$$\ell = 8.6 \times \frac{\eta}{P} \sqrt{\frac{T}{M}} = 8.6 \times \frac{1.8 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-3}} \sqrt{\frac{298}{29}} = 5.05 \text{ cm}$$

二重管の空間距離は

$\frac{72.3 - 34}{2} = 1.915 \text{ cm}$ であり、5.05 cm より小さいからクヌーセンの式を適用することができる。適応係数 α は

$$\alpha = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_2 + \alpha_1 (1 - \alpha_2) A_1 / A_2}$$

α_1 : T_1 における適応係数 1.0

α_2 : T_2 における適応係数 0.9

$$\alpha = \frac{1.0 \times 0.9}{0.9 + 1.0 (1 - 0.9)} \cdot \frac{1.07 / 2.27}{1.07 / 2.27} = 0.95$$

$$r = 1.4$$

$$\begin{aligned} Q' &= 6.7 \times 10^{-2} A_1 \cdot \alpha \frac{r+1}{r-1} \cdot \frac{P}{\sqrt{TM}} (T_2 - T_1) \\ &= 6.7 \times 10^{-2} \times 1.07 \times 10^3 \times 0.95 \times \frac{1.4+1}{1.4-1} \cdot \frac{1 \times 10^3}{\sqrt{298 \times 29}} (298 - 77) \\ &= 0.999 \text{ cal/sec} \cdot \text{m} \\ &= 3.60 \text{ Kcal/hr} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

配管長は 44 m であるから $Q = 44 \times 3.6 = 158.4 \text{ Kcal/hr}$ となる。

4.2.4 二重配管端部ベローズよりの熱侵入

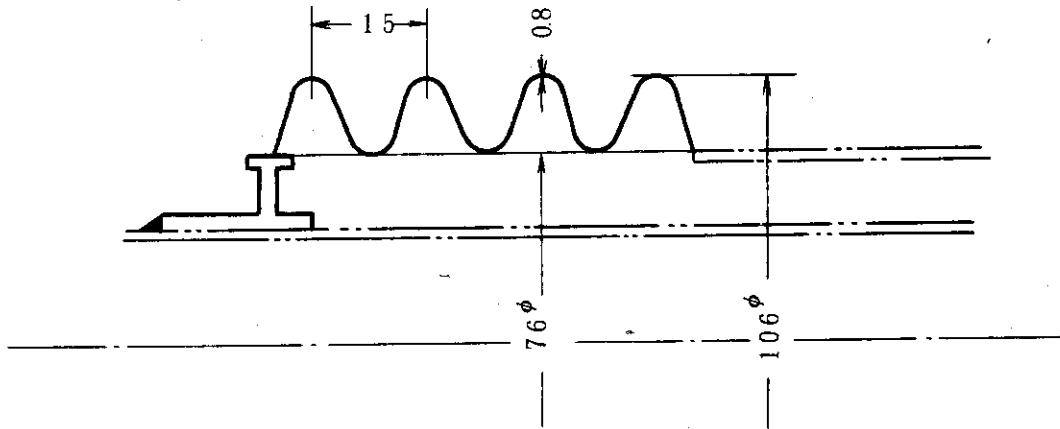
ベロース部の概略は第 4 図の如くである。平均断面積 A は

$$A = \pi D t = \pi \times 91 \times 0.8 = 228.6 \text{ mm}^2$$

$$\text{距離 } L = 8 \times (7.5 + \pi \frac{1.5}{4}) = 8 \times 19.275 = 154 \text{ mm}$$

$$Q' = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{L} = \frac{10.5 \times 2.286 \times 10^{-4} \times 221}{0.154} = 3.6 \text{ Kcal/hr}$$

ベローズ部は3個所あるから $Q = 3.6 \times 3 = 10.8 \text{ Kcal/hr}$ となる。



第4図 ベローズ部断面図

4.2.5 総熱侵入量

定常供給時の総熱侵入量は、内管を支持するテフロン製スペーサーよりの熱侵入、二重管の空間における輻射による熱侵入、二重管の空間における残留分子による熱侵入および二重配管端部ベローズよりの熱侵入の和で与えられるから、それを Q_T とすれば

$$Q_T = 13.58 + 78.76 + 158.4 + 10.8 = 261.54 \text{ Kcal/hr}$$

となる。液体窒素の潜熱は 38.6 Kcal/l であるから蒸発損失は $261.54 / 38.6 = 6.8 \text{ l/hr}$ となる。

4.3 まとめ

以上のことから、液体窒素供給開始時の損失(Initial loss)は約 42 l であり、定常供給時の損失(Running loss)は 6.8 l/hr である。

V 運転操作手順

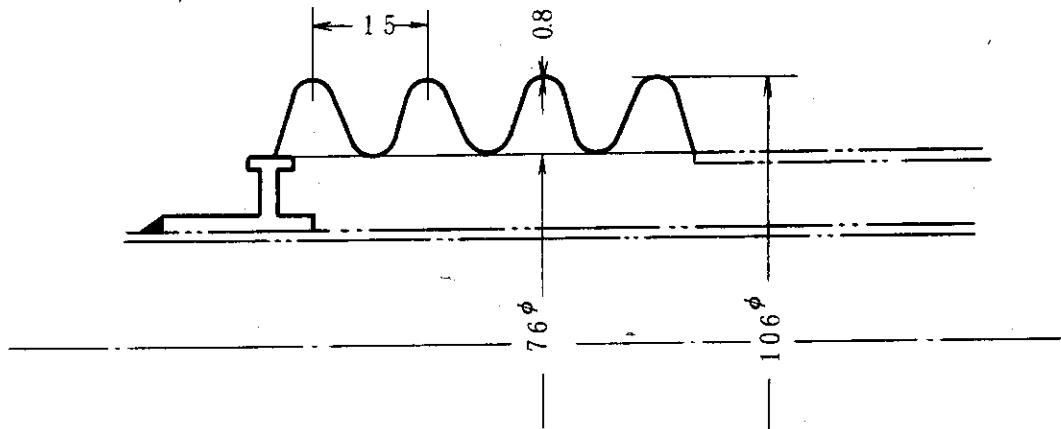
5.1 液体窒素貯蔵タンクへの液体窒素充填手順

- 1) 炉室1階の電磁バルブV-258のスイッチがOFFになっていることを確認してから実験盤ERI-4のLIQ-N₂表示のナイフスイッチを入れる。

$$\text{距離 } L = 8 \times (7.5 + \frac{\pi}{4}) = 8 \times 19.275 = 154 \text{ mm}$$

$$Q' = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{L} = \frac{10.5 \times 2.286 \times 10^{-4} \times 221}{0.154} = 3.6 \text{ Kcal/hr}$$

ベローズ部は3個所あるから $Q = 3.6 \times 3 = 10.8 \text{ Kcal/hr}$ となる。



第4図 ベローズ部断面図

4.2.5 総熱侵入量

定常供給時の総熱侵入量は、内管を支持するテフロン製スペーサーよりの熱侵入、二重管の空間における輻射による熱侵入、二重管の空間における残留分子による熱侵入および二重配管端部ベローズよりの熱侵入の和で与えられるから、それを Q_T とすれば

$$Q_T = 13.58 + 78.76 + 158.4 + 10.8 = 261.54 \text{ Kcal/hr}$$

となる。液体窒素の潜熱は 38.6 Kcal/l であるから蒸発損失は $261.54 / 38.6 = 6.8 \text{ l/hr}$ となる。

4.3 まとめ

以上のことから、液体窒素供給開始時の損失(Initial loss)は約 42 l であり、定常供給時の損失(Running loss)は 6.8 l/hr である。

V 運転操作手順

5.1 液体窒素貯蔵タンクへの液体窒素充填手順

- 1) 炉室1階の電磁バルブV-258のスイッチがOFFになっていることを確認してから実験盤ERI-4のLIQ-N₂表示のナイフスイッチを入れる。

- 2) 炉室外の液体窒素貯蔵タンクのパネルを開け、液面計(LI-3)を読み、備付の換算表によりタンク内にある液体窒素の量を確認する。
- 3) タンクロリー車の出口配管接続金具と、液体窒素貯蔵タンクのLIQ N₂充填口をフレキシブルホースにて接続し、V-266を開けて液体窒素をブローし、予冷を行なう。続いてV-265を開にする。
- 4) 予冷が終ったらV-260およびV-259を除々に開け、V-266を閉にする。
- 5) 充填を開始したら液体窒素タンク内の圧力に注意し、圧力が降下するようであればV-260を閉じてV-259より充填する。逆に圧力が上昇するようであればV-259を閉じ、V-260より充填する。従ってV-259、V-260の開度を適時調整しながら、液体窒素タンク内の圧力がタンクロリー車の加圧力より低くなるように保持する。
- 6) 液面計(LI-3)により規定量の液体窒素を充填したら、充填を停止する。
- 7) 充填終了後、V-259、V-260、V-265を閉じ、V-266を開けて配管部の液体窒素を取り除き、フレキシブルホースをはずす。
- 8) V-266を閉じ、炉室1階の実験盤ERI-4のLIQ-N₂表示のナイフスイッチを切る。

5.2 液体窒素貯蔵タンクから液体窒素補助タンクへの供給

- 1) 炉室外の液体窒素貯蔵タンクのパネルを開け、V-261を開とし、タンクの内圧(PI-19)が1.1 kg/cm²程度であることを確認する。
- 2) 炉室内壁掛開放型制御盤にある電磁弁V-258開閉用スイッチがOFFになっていることを確認してから、電源盤ERI-4のLIQ-N₂表示のナイフスイッチを入れる。
- 3) V-257を開とし、またV-256の開を確認する。
- 4) 電磁弁V-258を開ける。最初V-257からガス状窒素が噴出するが、これが液体に変わった時点でV-257を閉とする。
- 5) 液体窒素補助タンクの液面計(LIA-1)により規定量の液体窒素を供給し、供給が終ったら電磁弁V-258を閉とする。
- 6) 電源盤ERI-4のLIQ-N₂表示のナイフスイッチを切る。
- 7) 炉室外液体窒素貯蔵タンクの昇圧弁V-261を閉じる。
- 8) 上記タンクのパネルを施錠する。

VI 検討および結語

従来、低温化学照射装置に必要な液体窒素は、100ℓ入の容器にてJRR-3のトラックドアより炉室内へ搬入し、液体窒素補助タンク(充填量500ℓ)に充填していたが、この補助タンクの容量がわづか500ℓであり、低温化学照射装置の初期冷却に必要な液体窒素量約200ℓおよび定常運転時の消費速度約50ℓ/hrを考えると決して十分なものではなかった。さらにこの液体窒素の運搬に著しい労力を必要としたため、肝心の照射運転に悪影響をおよぼす恐れが

- 2) 炉室外の液体窒素貯蔵タンクのパネルを開け、液面計(LI-3)を読み、備付の換算表によりタンク内にある液体窒素の量を確認する。
- 3) タンクロリー車の出口配管接続金具と、液体窒素貯蔵タンクのLIQ N₂充填口をフレキシブルホースにて接続し、V-266を開けて液体窒素をブローし、予冷を行なう。続いてV-265を開にする。
- 4) 予冷が終ったらV-260およびV-259を除々に開け、V-266を閉にする。
- 5) 充填を開始したら液体窒素タンク内の圧力に注意し、圧力が降下するようであればV-260を閉じてV-259より充填する。逆に圧力が上昇するようであればV-259を閉じ、V-260より充填する。従ってV-259、V-260の開度を適時調整しながら、液体窒素タンク内の圧力がタンクロリー車の加圧力より低くなるように保持する。
- 6) 液面計(LI-3)により規定量の液体窒素を充填したら、充填を停止する。
- 7) 充填終了後、V-259、V-260、V-265を閉じ、V-266を開けて配管部の液体窒素を取り除き、フレキシブルホースをはずす。
- 8) V-266を閉じ、炉室1階の実験盤ERI-4のLIQ-N₂表示のナイフスイッチを切る。

5.2 液体窒素貯蔵タンクから液体窒素補助タンクへの供給

- 1) 炉室外の液体窒素貯蔵タンクのパネルを開け、V-261を開とし、タンクの内圧(PI-19)が1.1 kg/cm²程度であることを確認する。
- 2) 炉室内壁掛開放型制御盤にある電磁弁V-258開閉用スイッチがOFFになっていることを確認してから、電源盤ERI-4のLIQ-N₂表示のナイフスイッチを入れる。
- 3) V-257を開とし、またV-256の開を確認する。
- 4) 電磁弁V-258を開ける。最初V-257からガス状窒素が噴出するが、これが液体に変わった時点でV-257を閉とする。
- 5) 液体窒素補助タンクの液面計(LIA-1)により規定量の液体窒素を供給し、供給が終ったら電磁弁V-258を閉とする。
- 6) 電源盤ERI-4のLIQ-N₂表示のナイフスイッチを切る。
- 7) 炉室外液体窒素貯蔵タンクの昇圧弁V-261を閉じる。
- 8) 上記タンクのパネルを施錠する。

VI 検討および結語

従来、低温化学照射装置に必要な液体窒素は、100ℓ入の容器にてJRR-3のトラックドアより炉室内へ搬入し、液体窒素補助タンク(充填量500ℓ)に充填していたが、この補助タンクの容量がわづか500ℓであり、低温化学照射装置の初期冷却に必要な液体窒素量約200ℓおよび定常運転時の消費速度約50ℓ/hを考えると決して十分なものではなかった。さらにこの液体窒素の運搬に著しい労力を必要としたため、肝心の照射運転に悪影響をおよぼす恐れが

あった。また原子炉の運転中にトラックドアを開けて液体窒素容器を運搬することは、炉室内の空気ガスstackを通らないで、換言すればモニタされないで直接炉室外へ逃げる機会を作ることであり、安全上も好ましくはなかった。さらに100ℓ入容器10個を頻繁に管理区域から出し入れすることは、炉室内が汚染している場合などを考慮すると、汚染の拡大を招く恐れがあり、常に放射線管理課員のチェックを煩わす必要があった。

本液体窒素供給系の設置により、上記の難点は総て解決された。すなわち、炉室外に容量約3000ℓの液体窒素貯蔵タンクを設置し、このタンクから直接炉室内の液体窒素補助タンクへ液体窒素を供給することにより、液体窒素の不必要な loss は著しく小さくなり、労力は一段と軽減されると同時に、放射線事故や汚染の問題もなくなり、安全性も一段と向上した。さらに低温化学照射装置の照射サイクルは、照射カプセルを収納するコンテナの容量によって決められ、カプセル5個が1サイクルとなるが、この液体窒素貯蔵タンクへ1度液体窒素の補給を行なえば、1サイクルの運転を充分実施することができるようになった。

同時に、JRR-3においては、水ガス系のヘリウムの精製が原子炉の運転中でも容易に行なえるようになり、破損燃料の検出感度を常に高く維持することが可能となった。このことは原子炉の安全性の向上に大きな寄与となった。

本液体窒素供給系は、大阪酸素工業KKの協力で行なわれたものである。また本供給系の設置は、現福岡大学教授下沢亮介氏の示唆によるところが多い。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) S. Sato, N. Moriyama Y. Ikezoe et al : J. Nucl. Sci. Technol., 10[6], 379 (1973)
- 2) JAERI-M 3852 (1970)