

JAERI-M

5600

開発試験装置-PICWによるエチレン
の放射線重合 (IV)

(開発試験装置-PICWの安全性の検討)

1974年3月

渡辺 博正・東平 正道*・島田 武雄**・武久 正昭

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、複製などのお問い合わせは、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.

開発試験装置-PICWによるエチレンの放射線重合(Ⅳ)

開発試験装置-PICWの安全性の検討

日本原子力研究所高崎研究所開発試験場

渡辺博正・東平正道*・島田武雄**・武久正昭⁺

(1974年2月5日受理)

本報告は開発試験装置-PCWをPICWに改造する際“放射性同位元素使用許可申請”変更のため原子力局、放射線安全課に提出した安全性検討資料を再編集したものである。

改造の概要、高圧ガス取締り法にもとづく装置主要部の強度計算、安全装置関係の能力計算、線源の機械的強度計算を含めての放射線安全の記述を行ない、さらに二重、三重の安全装置のため実際には起り得ないと考えられる想定事故解析により、いかなる事故時においても照射室内外の安全は保たれると結論した。

* 出光興産(株)

** 三菱油化(株)

+ 日本原子力研究所高崎研究所研究部

Safety of the Pilot Plant PICW for Radiation-
Induced Polymerization of Ethylene

Hiromasa Watanabe, Masamichi Tohei*, Takeo Shimada**
and Masaaki Takehisa⁺

Pilot Scale Research Station, Takasaki, JAERI

(Received February 5, 1974)

A compilation is presented of the documents in application for using radioisotopes, which were submitted to Radiation Safety Section, the Atomic Energy Bureau, on construction and operation of the pilot plant PICW (pilot plant of radiation-induced polymerization of ethylene with a 50-liter, center-source, wet-wall reactor), a modification of the pilot plant PCW.

Described are the modification of the pilot plant, and calculations of the structural strengths of its main components according to the design code of high-pressure plants, capability of the safety devices, and radiation safety including the mechanical strength of a radiation source.

Safety of the pilot plant, which involves the simultaneous occurrence of radiation and inflammable ethylene was confirmed by case studies of improbable accidents, which are guarded against by multi-step safety means.

* Idemitsu Kosan Co. ** Mitsubishi Petrochemical Co.

⁺ Research Division, Takasaki, JAERI

目 次

1. 緒 言	1
2. 装置改造の目的・実験方法・安全性等	2
2.1 装置改造の目的	2
2.2 装置改造の概要	2
2.2.1 実験装置に関して	2
2.2.2 実験条件に関して	3
2.2.3 安全装置に関して	3
2.2.4 放射線源に関して	3
2.3 実験方法の概要	4
2.4 新設・改造機器の概要	5
2.4.1 新設機器の概要	5
2.4.2 改造機器の概要	6
2.5 安全性について	7
2.5.1 高圧ガス設備の安全性	7
2.5.2 プロセスの安全性	9
2.5.3 防爆対策	12
2.5.4 放射線安全対策	13
2.5.5 その他の安全対策	15
3. 変更の予定時期	15
4. 安全性の検討資料	31
4.1 新設パイプラインの背圧の計算	31
4.1.1 配管形状・寸法	31
4.1.2 計 算 式	31
4.1.3 計算条件	31
4.1.4 計算結果	32
4.1.5 結 論	32
4.2 エチレンの分解爆発実験	32
4.2.1 実験装置	32
4.2.2 実験方法	33
4.2.3 実験結果	33
4.3 除熱能力の計算	33
4.3.1 発 熱 量	33
4.3.2 除 熱 量	33
4.3.3 除熱能力の検討	35

4.4	水銀で満たされた反応器表面での線量率	35
4.4.1	線源部における吸収	35
4.4.2	1次ガンマ線の吸収による減衰	36
4.4.3	ビルドアップ率の計算	36
4.4.4	反応器外周面での線量率	36
4.4.5	反応器上部での線量率	37
5.	結言・謝辞	44
6.	参考文献	44
Appendix		45

1. 緒 言

昭和39年に開始されたエチレンの放射線重合に関する開発研究は、開発試験装置-Pの半連続式気相単独重合プロセス¹⁾から、10ℓの濡壁反応器を有する開発試験装置-PCWの第3ブタノール水溶液を反応媒体とした連続プロセス²⁾へと発展した。

別報で報告したように²⁾、開発試験装置-PCWを用いて、生成ポリマーの反応器壁への付着防止技術の開発を進めた結果、重液相循環による濡壁形成および強制掻取を並用することにより付着を防止できる見通しを得た。

開発試験装置-PCWによる多くの成果をもとに、重液相循環方式による付着防止技術の確立とその有用性の確認、中心線源使用時の反応工学的解析および大量試料の製造を目的として、さらに大型の開発試験装置(開発試験装置-PICW)を建設することになった。

開発試験装置-P¹¹⁾および開発試験装置-PCWの建設時においては、エチレンガスが可燃性であること、高圧ガスを取扱う装置であることおよび放射性同位元素を用いることにより、その装置の安全性については十分に検討された。

本報告は、開発試験装置-PICWを建設するにあたり、主として防爆対策、高圧ガス製造設備上の問題および放射線源の取扱い上の問題、仮想事故対策等について検討を行ない、その結果をまとめたものである。

また、この検討結果を資料として、当研究所安全衛生委員会および放射性安全審査専門部会において開発試験装置-PICWの安全審査を受け、さらに、放射性同位元素等の使用許可変更に係る科学技術庁の安全審査および高圧ガス取締法にもとづく高圧ガス製造施設等の変更に係る改造計画書の審査を受け、いずれも安全と認められたものである。

2. 装置改造の目的・実験方法・安全性等

2.1 装置改造の目的

従来、当研究所において進められてきた中間規模試験装置による、常温からポリエチレンの融点以下の温度範囲での濡れ壁方式によるエチレンとアルコール水溶液の気液混相重合実験²⁾によって、エチレンの放射線重合に関する種々の知見が得られつつある。

本中間規模試験の成果にもとづき、さらに工業化を目的するにあたり、Co-60線源の照射方式を従来の外部照射方式から内部照射方式に改めて線源の利用効率を高めるとともに、用途開発試験に必要な均一物性のサンプルを大量に製造するため、反応器容積の増大をはかる。

なお、本改造によってエチレン放射線重合開発試験の進展が期待されるほか、工業用放射線化学反応装置の解析に必要な工学的知見ならびに技術の蓄積も可能となる。

なお、改造後の装置はエチレン放射線重合開発試験装置-PICWと呼称する。

2.2 装置改造の概要

当研究所コバルト照射試験棟第三照射室に設置されているエチレン放射線重合用中間規模試験装置および管型反応装置のうち中間規模試験装置を下記のごとく改造する。

なお、現有の管型反応装置の運転は終了し、装置は撤去する。

2.2.1 実験装置に関して(図1参照)

- (1) 第三照射室内の反応容積10ℓの反応器(#119B)を内容積50ℓの反応器(V-301)と交換する。
- (2) 高圧分離器(#120B)を照射室内から防爆室に移設する。
- (3) ガス循環ポンプ(P-302)を新設し、高圧分離器(#120B)からバッファータンク#2(#114)へガスの循環を行う。
- (4) 液循環ポンプ(P-301)を新設し、高圧分離器(#120B)から反応器(V-301)へ液循環を行う。
- (5) 照射室内に循環液用熱交換器(E-302A, B)を新設するとともに、既設熱交換器(#117)を照射室内に移設しエチレンガス用熱交換器(#117)として用いる。
- (6) 既設低圧分離器(前高圧分離器#120A)を中圧分離器(#120A)に転用する。
- (7) 既設溶媒タンク(#206)を低圧分離器(#206)に転用する。
- (8) 高圧分離器(#120B)と中圧分離器(#120A)との間にスラリー抜き用減圧パイプを二系列(M-317A, B, M-318A, B)現有装置を改造し移設転用する。
- (9) エチレンタンク(V-306)を新設し、中圧分離器(#120A)～エチレンタンク(V-306)～中圧系フレッシュエチレン送入ラインを結ぶ中圧系ラインを設け、未反応エチレンを回収する。
- (10) 供給用圧縮機(#113)に使用されているバイパス方式圧力コントロールを始動用圧縮機(#112)にも使用できるように配管を変更する。
- (11) 既設フラッシュタンク(#215A, B)を移設転用し媒体脱酸素タンク(V-315A, B)

として用いる。

(12) エチレンローダー(V307)から供給される原料エチレンを減圧するため、新たにコン
トロールバルブ(PCV-301)を設けるとともに、高圧ガス循環系で使用していた熱交換器
(#123)を転用し、エチレンの断熱膨張によるガス温度低下を防ぐための予熱器として用い
る。

(13) 媒体予熱用の熱交換器(E-304)を新設する。

2.2.2 実験条件に関して

本開発試験装置の実験条件は次の通りである。

- (1) 最高使用圧力 410 kg/cm²G
- (2) 最高使用温度 80°C
- (3) 最大ポリマー生成量 2 kg/hr
- (4) 最高使用Co-60線源量 43,200 Ci
- (5) 反応系組成

モノマー エチレン(従来と同じ)

反応媒体 変更なし(従来と同じく第3ブタノール水溶液)

2.2.3 安全装置に関して

(1) 緊急ガス放出装置(安全弁等)をさらに充実し、反応器(V-301)および高圧分離器
(#120B)にパネルから操作できる安全弁(SV-34, 35)を新設する。

(2) 反応器(V-301)高圧分離器(#120B)関係のパーシラインを別系列とし、2^Bの
ものを新設する。

(3) 反応器(V-301)高圧分離器(#120B)関係のドレンラインを新設する。

(4) 反応器(V-301)高圧分離器(#120B)まわりの配管に、外部から流れを確認する
ためのサイドグラス(SG1~3)を新設する。

(5) 反応媒体中の溶存酸素を連続的に分析し、記録することができる溶存酸素分析計を新設
する。

(6) 安全弁、破裂板、緊急放出弁からの主要なパーシラインにはスチームトレースを行い、吹
出時の断熱膨張によって液体が冷却固化し、ノズルおよびパーシラインの閉塞を防止する。

2.2.4 放射線源に関して

Co-60線源の照射方式が従来の外部照射方式から内部照射方式に変更したので、それに伴
い線源の形状および線源移動機構も変更になる。

(1) 線源(図2参照)

線源は上下2ケースからなり、1ケースには12mmφ×300mmのペンシル状線源(1本
1800Ciまたは、アルミのスペーサーを取除きキューリー数を増した場合は3600Ciとなる)
が6本挿入されている。最終的の形状は外径48.6mm、長さ630mmの棒状(線源部のみ)であ
る。

(2) 線源上昇下降装置

線源格納プールから第三照射室内への線源の移動は従来通り、線源上昇下降装置を使用する。

(3) 第三照射室内線源移動装置 (図3参照)

照射方式および照射位置の変更に伴い、従来の中試用線源移動装置を撤去し、ワイヤーの手巻駆動による線源移動装置を新設する。

なお、線源の移動範囲は、窓から見える範囲内にある。

2.3 実験方法の概要 (図1参照)

(1) 今迄ポンペにより供給されていた原料エチレンガスはローダー (V-307) により供給される。

(2) ローダー (V-307) により供給された原料エチレンガスは、熱交換器 (#123) で予熱されたのち、新設のコントロールバルブ (PVC-301) で二次側の圧力が $20 \text{ kg/cm}^2 \text{G}$ に制御される。定常運転の場合は未反応エチレンガス回収ラインは $20 \text{ kg/cm}^2 \text{G}$ 以下の圧力であるので、その圧力補充分のみローダー (V-307) からエチレンガスが供給される。

(3) ローダー (V-307) からの供給エチレンと、エチレンタンク (V-306) からの未反応回収エチレンは一定割合で混り合ったのち、圧縮機 (#112, #113) の吸入側に供給される。

この間、中圧バッファータンク #1 (#111) が一部改造になるがその他は機器およびラインに変更はない。

(4) 圧縮機 (#112, #113) で昇圧されたエチレンガスは新設の反応器 (V-301) のガス入口に至るが、この間での機器、ラインおよび操作上に変更はない。

(5) 高圧系の圧力コントロールは圧縮機 (#112, #113) のバイパスコントロールによっても行うことができるが、一般には、高圧分離器 (#120B) 後のスラリー抽出ラインにあるコントロールバルブ (PCV-1B or PCV-1C) によって行なう。

(6) 反応媒体送入関係については、従来と同様の方法で行なう。

(7) 反応器 (V-301) にはエチレン、反応媒体および濡液が同時に連続的に送入され、このうちエチレン-反応媒体系の組成物³⁾は、反応器内筒内に挿入された Co-60 棒状線源からの γ 線照射を受け一部重合しポリエチレンとなる。

(8) 生成ポリエチレン、未反応組成物および濡液は、高圧分離器 (#120B) で分離され、分離器内の上部を占める未反応組成物 (エチレンと反応媒体から成る) は、新設の循環ポンプ (P-302) によりバッファータンク #2 (#114) に送られ、ここで圧縮機により送入されたエチレンガスと混合後再び反応器 (V-301) に入り反応組成物を形成する。

(9) 一方、高圧分離器 (#120B) の下部を占める濡液は、液循環ポンプ (P-301) により反応器内に送入される。途中濡液は二つに別れ、一方は反応器内壁を濡らし、他方は線源内筒外壁を濡らす。

(10) 高圧分離器内の生成ポリマーは反応組成物および濡液の一部を伴って、スラリー状で高圧分離器から減圧パイプ (M-317A, M-318A) 圧力コントロールバルブ (PCV-1B, PCV-1C) 減圧パイプ (M-317B, M-318B) の組合せで反応圧を一定に保つように抜出す。減圧されたスラリーは中圧分離器 (#120A) に至る。

(11) 中圧分離器 (#120A) では、スラリー中のエチレンガスが分離され、バッファータンク

ク(V-306)を経て循環再使用される。

(2) 中圧分離器(#120A)内のスラリーは、レベルコントロールバルブ(LCV-301)により液面を一定に保たれつつ低圧分離器(#206)に移動する。

(3) 低圧分離器(#120A)内に於て、さらにスラリー中のエチレンガスが分離され、スラリーは下部のノズルより取り出される。分離されたエチレンガスは反応媒体脱酸素タンク内の反応媒体の脱酸素を行ったのち、水封装置を経て大気中に放出される。

2.4 新設改造機器の概要

2.4.1 新設機器の概要

(1) 反応器(V-301)(図4参照)

形 式

縦型円筒、ジャケット撈取装置付高圧反応槽

内 容 積

50ℓ

設計圧力

本体410kg/cm²G, ジャケット5kg/cm²G

設計温度

本体80℃, ジャケット80℃

撈取装置駆動部

油圧駆動式 回転数0~260rpm(無段変速)

最大出力 7.5kW(油圧モーター軸馬力)

回転軸シール方式

メカニカルシール3段式

材 質

胴, 蓋, 下部ヘッド, 内筒フランジ…………… SF50

接液部…………… sus27肉盛またはスリーブ

内筒, 撈取翼, シャフト, ノズル…………… sus27

ボルト…………… SCM3

ナット…………… S45C

ジャケット, サポート, 吊上ラグ…………… SS41

(2) 高圧液循環ポンプ(P-301)(図5参照)

形 式

ブランジャータイプ 3連

流 量

最大300ℓ/hr

吸入圧力

0~1000kg/cm²G

吐出圧力

最高 1000 kg/cm²G

接液部材質

シリンダー SNOM-8 内面 H. Cr メッキ

プランジャー SKH3

その他

接点付圧力計連動圧力上昇防止リレー回路付，モータ，スイッチはすべて耐圧防爆型のものを使用

(3) 高圧ガス循環ポンプ (P-302) (図5参照)

形式

単段渦巻形

流量

最大 3m³/hr

揚程

20 m

設計圧力

410 kg/cm²

設計温度

100°C

モーター

3相誘導キャンドタイプ (本質安全)

接液部材質

sus-27 または sus-43

その他

温度指示計 サーマルリレー付

(4) 循環液予熱器 (E-303A, B) (図7参照)

形式

ヘアピン型二重管

設計圧力

TUBE 410 kg/cm² PIPE 7 kg/cm²G

設計温度

TUBE 170°C PIPE 170°C

材質

TUBE sus27 TP-S PIPE SGP-E

2.4.2 改造機器の概要

(1) バッファータンク No.1 (#111) (図8参照)

改造箇所

イ) 8^B SGPジャケットを設ける

設計圧力 7 kg/cm²G 設計温度 170°C

ロ) N-4 ドレンノズルを追加する。

設計圧力 $410 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ 設計温度 170°C

(2) 中圧分離器 (#120A) (図9参照)

既設分離器 A (設計圧力 $410 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ 設計温度 300°C) を改造して、中圧分離器として使用する。

改造箇所

イ) 既設ノズル N-1 を改造する

ロ) 既設ノズル N-4 を改造する

ハ) 温度計座 N-6 を新設する

イ) ロ) ハ) の改造時の設計条件は、圧力 $60 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ 、温度 100°C である。

(3) 高圧分離器 (#120B) (図10参照)

既設分離器 B (設計圧力 本体 $410 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ 、ジャケット $60 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ 、設計温度 本体 300°C 、ジャケット 300°C) を改造して高圧分離器として使用する。

改造箇所

イ) 既設ノズル N-1 を改造する

ロ) 既設ノズル N-4, N-5 を圧力計用に改造する

ハ) スラリー出口用ノズルを2ヶ所設ける (N-14, N-15)

ニ) 温度計用ノズルを2ヶ所設ける (N-16, N-17)

改造時の設計条件

設計圧力 本体 $410 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ ジャケット $7 \text{ kg/cm}^2\text{G}$

設計温度 本体 170°C ジャケット 170°C

2.5 安全性について

2.5.1 高圧ガス設備の安全性

1) 高圧ガス設備の強度計算

高圧ガス取締法の適用を受けるすべての新設、改造機器について、詳細な強度計算を行なったが、すべて、強度上問題になる点は無かった。

ここでは、強度計算書の掲載は省略し、計算結果と実際の肉厚(または強度)との比較にとどめる。

a) 反応器 (V301) (新設) - 表1に示した。

なお、内筒の外圧に対する強度は

最大応力 $1190 \text{ kg/cm}^2 < \text{材料の許容応力 } 1200 \text{ kg/cm}^2$

内筒の挫屈に対する強度は

実際にかかる荷重 $410 \text{ kg/cm}^2 < \text{挫屈荷重 } 8.28 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$

で強度上問題はない。

b) 高圧ガス循環ポンプ (P-302) (新設) - 表2に示した。

なお、スタッドボルトの強度は

スタッドの最大応力 $6.3 \text{ kg/mm}^2 \ll \text{材料の降伏点 } 90 \text{ kg/mm}^2$ で強度上問題はない。

e) 高圧液循環ポンプ (P-301) (新設)

高圧液循環ポンプ (P-301) は液体用ポンプなので原則的には高圧ガス取締法の適用を受けないが、安全確保のため高圧部分の強度計算を行う。

シリンダー材質 SNOM-8 $f = 100 \text{ kg/mm}^2$

最小肉厚部 内径 28mm 外径 88mm $t = 30 \text{ mm}$

内 圧 $1000 \text{ kg/cm}^2 \text{G}$

$$\begin{aligned} \text{必要最小肉厚 } t &= \frac{2.8}{2} \left(\sqrt{(25 \times 100 + 1000) / (25 \times 100 - 1000)} - 1 \right) + 1 \\ &= \frac{2.8}{2} (1.525 - 1) + 1 \\ &= 8.2 < 30 \end{aligned}$$

よって高圧液循環ポンプは強度上問題はない。

d) バッファータンク No.1 (#111) (改造) - 表 3 に示した。

なお、本体胴板の外圧に対する強度は

使用最大外圧 $7 \text{ kg/cm}^2 <$ 本体に許容される外圧 170 kg/cm^2

よって、バッファータンク No.1 は強度上問題はない。

e) 中圧分離器 (#120A) (改造) - 表 4 に示した。

f) 高圧分離器 (#120B) (改造) - 表 5 に示した。

g) 循環液予熱器 (E-303A, B) (新設) - 表 6 に示した。

h) 配管材料 - 表 7 に示した。

i) 新設パーシライン (4.1 参照)

反応器 (V-301) の安全弁 SV-36 および破裂板 SV-35 からの吹出ガス量は、吹出圧力 $420 \text{ kg/cm}^2 \text{G}$ 、ガス温度 30°C 、流体をエチレンとしたとき 10.53 kg/sec となる。

この計算吹出量が実際にパーシラインを流れたとき、後述 (4.1) に示したように、 $3/2^B$ sch 80 管では最大 $68.04 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$ 、 2^B sch 80 管では最大 $41.41 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$ 、 3^B SGP 管では最大 $11.84 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$ の背圧がかかる。

次にこのデータをもとにして強度計算を行う。

(i) $3/2^B$ sch 80 sus 27 TP 肉厚 5.1mm 許容差 $\pm 12.5\%$

(計算基準)

$$P = 67.04 \text{ kg/cm}^2 \text{G} \quad D = 38.4 \text{ mm} \quad C = 0 \text{ mm}$$

$$f = 52 \text{ kg/mm}^2 \quad \eta = 1.0$$

(計算)

$$\begin{aligned} t &= \left\{ PD / (50 f \eta - P) \right\} + C \\ &= \left\{ 67.04 \times 38.4 / (50 \times 52 - 67.04) \right\} + 0 = 1.02 \text{ mm} \end{aligned}$$

使用板厚 $5.1 \text{ mm} > 1.02 \text{ mm}$

マイナス許容差寸法 4.46 mm

(ii) 2^B sch 80 STPG 38 肉厚 5.5mm 許容差 $\begin{matrix} +15\% \\ -12.5\% \end{matrix}$

(計算基準)

$$P = 40.41 \text{ kg/cm}^2 \text{G} \quad D = 49.5 \text{ mm} \quad C = 0$$

$$f = 38 \text{ kg/mm}^2 \quad \eta = 1.0$$

(計 算)

$$t = \{ PD / (50f\eta - P) \} + C$$

$$= \{ 40.41 \times 49.5 / (50 \times 38 - 40.41) \} + 0 = 1.08 \text{ mm}$$

使用板厚 5.5 mm > 1.08 mm

マイナス許容差寸法 4.81 mm

(イ) 3^BSGP 肉厚 4.2 mm 許容差 -15%

(計算基準)

$$P = 10.84 \text{ kg/cm}^2\text{G} \quad D = 80.7 \text{ mm} \quad C = 0$$

$$f = 30 \text{ kg/mm}^2 \quad \eta = 1.0$$

(計 算)

$$t = \{ PD / (50f\eta - P) \} + C$$

$$= \{ 10.84 \times 80.7 / (50 \times 30 - 10.84) \} + 0 = 0.59 \text{ mm}$$

使用板厚 4.2 mm > 0.59 mm

マイナス許容差寸法 3.57 mm

よって、バージラインは強度上問題はない。

2) 新設改造機器の試験検査

新設改造機器の水圧試験、および気密試験圧力は表8のとおりである。

3) 緊急ガス放出装置

高圧ガス設備の系内の圧力が徐々に上昇する場合は、コントロールバルブ等に圧力を制御することができるが、(2.5.2(4) 圧力の制御の項参照)急激な圧力上昇があった場合の緊急放出装置として、スプリング式安全弁、破裂板、緊急放出バルブおよび空気圧式遠隔操作安全弁を設ける。

表-9に既設および新設の安全弁、破裂板の吹出条件および吹出能力等について一覧表にして示した。

また、緊急放出弁についても、その一覧表を表-10に示す。

2.5.2 プロセスの安全性

1) 反応系内の分解爆発(4.2参照)

当開発室におけるエチレン単独およびエチレン-第3ブタノール-水系の分解爆発実験結果 0~400 kg/cm²G の圧力範囲内、常温という条件では分解反応の自続性がないことが明らかになったので、万一、反応系内に着火源が生じたとしても、爆発に至る危険性はなく、本開発試験装置はエチレンの分解爆発に対して本質的に安全であると言える。

2) 反応系内への酸素侵入の防止

当開発室で行なわれた爆発実験では酸素の影響についてはまだ明らかにされていないが、酸素が%オーダーで存在する場合には爆発の危険性はあるものと推定される。

しかし、酸素の存在はむしろ反応面で影響があり、数10 ppmでも反応が阻害されるので次の方法により酸素の侵入を防止しているので安全である。

a) エチレンガス中の酸素濃度のチェック

エチレンガスはローダー(V-307)で供給されるが、ローダー搬入時に酸素分析計でエ

チレングス中の酸素濃度を調べ、その濃度が 5 ppm 未満の場合のみ合格とし、原料ガスとして用いる。

また、反応系でもガス分析を連続的に行い、万一 100 ppm を越える酸素濃度が記録された場合は、ただちに運転を中止するので安全である。

b) 反応媒体中の溶存酸素の除去

反応媒体中に溶存する酸素は高純度窒素ガスまたはベントエチレングスのバブリングにより除去される。

また同時に、新設の溶存酸素分析計により反応媒体中の溶存酸素濃度を連続的に測定し、万一 5 ppm を越える濃度が記録された場合はただちに運転を中止するので安全である。

3) アセチレンの蓄積量および安全性の検討

三井らの実験⁴⁾によるとエチレンの放射線重合反応におけるアセチレンの生成は、反応温度 30°C ではポリマー 1 モルに対し 1 モルの割合で生成する。(表-11 参照)

ポリマーの最大生成量は 2 kg/hr (数平均分子量: 4×10^4) であるから、アセチレンの最大生成量は $1/20 \text{ mole/hr}$ となる。

一方、アセチレンの除去をガスのコンスタントバージでのみ行うとするとコンスタントバージ量は 20 kg/cm^2 の圧力における反応媒体の溶解度で決まり、エチレンとアセチレンの溶解度は、反応媒体の種類により多少異なるが、水-アルコール系ではアセチレン \geq エチレンと推定されるので(表12, 表13 参照)アセチレンの除去量は次のように計算される。

$$\begin{aligned} \text{反応媒体流出量} & \quad \text{min. } 50 \text{ l/hr} \\ \text{エチレンの溶解度} & \quad 1 \text{ wt\% (at } 20 \text{ kg/cm}^2 \text{G)} \\ \text{エチレンのコンスタントバージ量} & = 50 \times 0.01 \doteq 0.5 \text{ kg/hr} \\ \text{アセチレン濃度を } C \text{ とすると} & \\ \text{アセチレン除去量} & \doteq 0.5 C \text{ kg/hr} \end{aligned}$$

平衡状態では、アセチレンの生成量と除去量が一致するから

$$0.5 C \text{ kg/hr} = 1/20 \text{ mole/hr} = 26/20 \times 10^{-3} \text{ kg/hr}$$

$$C_{\text{max}} = 0.26 \text{ wt\%} \doteq 2600 \text{ ppm}$$

このように平衡時における反応系内のアセチレン濃度の最高値は約 0.26% (2600 ppm) と推定される。

一方、アセチレンを添加したエチレンを使用したエチレンの放射線重合実験結果⁶⁾では、アセチレン濃度 0 ~ 19.7% の範囲では不安定な反応は起らず、特に 0 ~ 0.4% の濃度範囲ではアセチレンは反応停止剤として作用するのみである。

したがって、安全性ということを考えた場合は、2600 ppm 程度のアセチレン濃度では問題にはならないが、むしろ反応促進のためにアセチレンの吸収あるいはバージエチレン量の増加等の方法でアセチレンの除去を考慮しなければならない。

なお、念のため、アセチライドを生成するような金属は反応系と接触する構造材料として使用しない。

4) 圧力の制御

a) エチレンローダーの圧力

エチレンローダーには日よけの屋根がついていて、真夏でもエチレンガスの温度は 40°C を越えることはない。ローダーの内容積は 4.0m^3 で充填できるエチレン最大量は 1140kg である。このときのガスの比容積は $0.00351\text{m}^3/\text{kg}$ で、モリエ線図より、ローダーの安全弁作動圧力 $180\text{kg}/\text{cm}^2$ に到達するガスの最低温度は 92°C である。普通の場合、ガス温が 92°C を越えることはないが、万一そのような場合に至っても安全弁が作動するので安全である。

b) 圧縮機吸入圧力

エチレンローダーおよびバッファータンク(V-306)からの原料エチレンは、圧力コントロールバルブPCV-301およびPCV-2により、その圧力は $20\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 以下に制御される。万一、圧力が上昇し $30\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ を越えるような場合は安全弁SV-3, SV-4が作動するので安全である。

c) 反応圧力の制御

反応圧力の制御はPCV-302による圧縮機のバイパスコントロールで行うこともできるが、一般に定常時は圧力コントロールバルブPCV-1BまたはPCV-1Cで行う。万一、減圧バルブ等にスラリーがつまり一方が流通不能となった場合はもう一列のコントロールバルブを使用する。

反応圧力はPICA-1, PIC-302, PI-5B等によってパネルに表示され、かつ反応圧力が $420\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ を越えた場合はPROA-1により警報を発するので反応圧力は十分に監視され安全であるが、万一、反応器内の圧力が上昇した場合、ある程度までは圧力コントロールバルブにより下げることができる。その能力以上の圧力上昇があった場合は安全弁SV-34が作動する。安全弁SV-34はパネル操作によっても作動させることができる。

エチレンの分解爆発は起り得ないと考えてよいので、大抵の場合はSV-34の吹出能力で十分であるが、何らかの原因でさらに圧力上昇があった場合は、破裂板SV-33が作動する。SV-33の破裂板は並列に4個取りつけてあり、吹出能力および信頼性は十分である。

d) エチレンタンク(V-306)

バッファータンクには散水装置が設けられているので温度による圧力上昇については心配はない。

内容積は 10m^3 あり、常用圧力が $20\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ である。今仮に反応系(圧力 $400\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 温度 30°C 系内容積 100ℓ)のエチレンがバッファータンクに流入したとすると、そのときの圧力はたかだか $25\text{kg}/\text{cm}^2$ にしかならず、水圧試験圧力 $49.5\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 以下であり、緊急の場合反応系の高圧エチレンをバッファータンク内に流入させても十分安全である。

5) 温度の制御(4.3参照)

反応温度はTRC-1によって制御される。万一、制御不能となった場合でも、反応温度はTR-4A, TR-4B, TRC-1等によってパネルに記録されるので、これを監視することにより異常を発見することができる。

当開発試験装置の最大ポリマー生成量は2kgで、このときの生成熱は1600kcal/hrである。

一方、液循環による最大除熱量は6500Kcal/hr、送入ガスおよび反応媒体による最大除熱量は3510Kcal/hr、反応器ジャケットによる最大除熱量は6360Kcal/hrで除熱量の最大値は16370Kcal/hrとなる。

またCo-60線源の最大発熱量は100KCiにつき1.47kWであるから、使用量43200Ciでは410Kcal/hrとなるが、除熱量は発熱量を十分上まわるので、反応器(V-301)の設計温度80℃を越えることはなく、温度制御に関しては十分安全である。なお、反応温度条件が80℃に近い場合でも反応器ジャケットによる最大除熱量6360Kcal/hrだけで十分である。

6) 流量の制御

a) エチレンガス量

エチレンガス量の制御はPCV-302のバイパスコントロールまたは圧縮機の吸入圧のコントロールにより行いFR-3またはFR-4によりその流量をチェック、記録する。この場合2.5.2(4)で示されたように圧力の制御が完全に行なわれるので流量の制御に関しても十分安全である。

b) 反応媒体送分量

反応媒体送分量の制御は高圧ブランジャーポンプ(#205)のバイエル変速により行い、その吐出量は0~100ℓ/hrである。万一、圧力が上昇したとしても液体安全弁SV-38が作動するので安全である。

c) 循環液量

循環液量は高圧液循環ポンプ(P-301)のバイエル変速により0~300ℓ/hrの間で調節される。設定圧480kg/cm²Gを越えると液体安全弁SV-39が作動するかまたは圧カスイッチ(設定圧任意)が作動し高圧液循環ポンプが停止するので安全である。

d) 循環ガス量

循環ガス量はFRC-301(ロータメーター式、発信器付)により検出し、FCV-301によりコントロールを行う。高圧循環ポンプ(P-302)は単段渦巻形式なので圧縮能力はなく(Head 20mのみ)安全である。

2.5.3 防曝対策

(1) 照射室内の防曝対策

照射室内には反応器(V-301)と熱交換器(#117, E-303A, B)が設置されるがこれらの高圧ガス設備は完成前検査を受けるものであり、また運転開始に先だてて窒素ガスで漏洩テストを行うので運転中にエチレンガスが漏洩することはない。また、照射室内は16回/hrの換気を行っているので、万一ガスが漏洩したとしても高濃度になることはない。

また、最悪の状態を想定して、照射室内の反応器周囲、線源ピット内、および、反応媒体予熱器(E-303A, B)の計3ヶ所にガス検知器(北川式)の検出端を設置する。これは、漏洩により空気中のエチレンガス濃度が爆発下限界(3.1%)の $\frac{1}{3}$ になると警報を発し、赤ランプを点灯させると同時に、照射室内に設置されている炭酸ガス消火器と連動し、5秒以内で照

射室内に炭酸ガスを放出し、エチレンガス濃度が爆発範囲に入るのを防止する。なお、このときは換気装置はただちに自動的に停止する。

一方、照射室内に設置されているスイッチ、照明器具等電気設備は耐圧防爆型のものを使用し、着火源になることを防止している。

なお、反応器内攪拌駆動部は油圧トルクモーターとなっているため、着火源となるおそれはない。また、メカニカルシール部はプランジャーポンプ(P-303)で圧送された冷却水で常に冷却されていて、万一、冷却水の圧送が停止した場合、油圧トルクモーターも停止するような安全装置も設けられている。

(2) 防爆室内の防爆対策

防爆室内の機器、バルブ、配管、継手等は気密テストに合格したものを使用し、また装置の改造後完成検査を受けるので、エチレンガスの漏洩はないと考えられるが、万一の場合を考慮し防爆室内はダクトおよびファンで換気を行う。ダクトの換気能力は $35\text{m}^3/\text{min}$ 、ファンによる換気能力は $660\text{m}^3/\text{min}$ (西側の二基分)である。また防爆室内の電動機、照明器具、スイッチ等の電気設備は防爆型となっている他ガス探知器でガス漏洩のチェックも行うので、防爆室内の安全は確保される。

2.5.4 放射線安全対策

(1) 線源駆動機構の安全性

(a) インターロック

インターロック機構は、放射線モニターおよび線源位置検出装置の二系統で従来通りである。

(b) 第三照射室内線源移動装置(図3参照)

当装置は、線源上昇下降装置で照射室内に運ばれた線源をワイヤーで吊上げ、レールにそって水平移動させ、反応器線源内筒上でワイヤーをゆるめることにより、線源を反応器線源内筒に挿入させるもので機構は極めて単純であり機械的故障はほとんど無いものと考えられる。

また、操作は窓から線源の移動状況を確認しつつ行いのでさらに安全であるが、特にワイヤーがプーリーからはずれないようにプーリーは特殊設計したものをを用いるとか、線源とワイヤーを接続する部分は簡単にはずれない構造にするなど安全対策は特に留意してある。

また、線源ケースは機械的強度を十分に考慮しているほか、線源がケースから飛び出ないような構造をとったり、また発熱を除去するため、線源ケースには冷却水用の孔を設けるなどの対策をとっている。

また、当装置には一切の電気部品を使用しないので電氣的故障はない。

(2) 線源ケースの強度

(a) 引張り強度

○線源ケースのセンターシャフト

断面積 1.02cm^2 ($D_{\text{out}} = 13.8\text{mm}$ $D_{\text{in}} = 7.8\text{mm}$)

引張強さ $50\text{kg}/\text{mm}^2$ (sus 27 TP sch 80)

よって引張荷重 5100kg までOK

○ワイヤロープ

断面積 0.13 cm^2 (4mm ϕ)引張強さ 72 kg/mm^2 (sus 27)

よって引張荷重が936 kgまでOK

したがって、引張りによる破壊は線源ケースよりも先にワイヤロープで起こるものと思われる。

(b) 衝突による線源ケースの破壊

線源ケースが反応器内筒内にあるときは、内筒によって保護されるので安全であるが、ワイヤに吊下げているとき、振れなどにより他の装置に衝突した場合、破損に至るかどうか検討してみた。

線源ケースの許容曲げモーメント M は許容曲げ応力 σ_b と断面係数 z の積で表わされる。

$$M = \sigma_b \cdot z$$

$$= 5000 \times 2.76 = 138 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$\begin{cases} \sigma_b = 50 \text{ kg/mm}^2 \\ z = 2.76 \text{ cm}^3 \end{cases}$$

線源ケースの上から $1/4$ 又は $3/4$ の点に荷重がかかったときに曲げモーメントが最大となり、そのときの許容荷重 F (kg) は

$$F = 138 / 0.175 = 780 \text{ kg}$$

一方、線源ケースが振れ又は落下等により780 kgの荷重(衝撃力)を生じるための速度 v (m/sec) は次式で求められる。

$$v = \frac{F \cdot t \cdot g}{W}$$

$$= \frac{780 \times 0.05 \times 9.8}{3.6}$$

$$= 106 \text{ m/sec}$$

F: 許容荷重(衝撃力)	780 kg
t: 作用時間	0.05 sec
g: 重力の加速度	9.8 m/sec ²
W: 線源ケースの自重	3.6 kg
v: 衝突速度	m/sec

線源ケースが4 mの高さから自由落下した場合の衝突速度は約9 m/secであり、また、線源ケースおよびワイヤを含めた長さが3 mのとき振れによる最大速度は約7.7 m/secであるので、衝突による線源ケースの破損はないものと思われる。

(3) 仮想事故対策

(a) 第三照射室内線源移動装置の故障の場合

線源移動装置は安全性が十分考慮されて設計、製作されるので、故障は起こらないものと考えが、万一なんらかの原因により、線源の移動が困難となった場合は、マスタースレーブかまたは、パワーマニプレーターにより線源部とワイヤ部を取りはずし、線源を回収することができる。また、線源の移動範囲は、照射室窓から見える所にあるので、回収操作も容易である。

(b) 反応器内筒から線源が抜けなくなった場合

反応器内筒と線源ケースとのクリアランスは2.7 mmありまた、内筒は挫屈および圧壊による破壊が起こらないような十分な強度を有するものであり、また線源ケースは冷却等により熱変化を受けることがないので、線源が内筒から抜けなくなるということは考えられないが、万

一、そのようなことが起こった場合は次のような措置をとり、線源を回収する。

まず、反応器内のエチレン等をパージし、窒素置換等を行い反応器内を清掃したのちポンプで水銀を送入し、反応器内ジャケットおよび内筒を水銀で満す。このとき空間線量率は4.4で明らかたようにCo-60線源最大使用時(43,200Ci)でも、反応器側面で $0.37 \text{ R} \cdot \text{hr}^{-1}$ 反応器上部で $4.5 \times 10^{-8} \text{ R} \cdot \text{hr}^{-1}$ である。

反応器内筒は、反応器蓋にフランジでとりつけられていて、このフランジのボルトは容易にはずすことができ、ボルトをはずすことにより、内筒だけを引き抜くことができるように設計されている。

したがって、5～6人の作業員がたかだか、数100mremの計画被曝だけで、線源を安全な場所に回収することができるので、万一の場合を想定しても、安全である。

2.5.5 その他の安全対策

(1) 操作基準(マニュアル)の改定および教育訓練

改造に伴い、装置運転開始に先だって、マニュアルの全面改定を行い、操作員全員に周知徹底をはかる。特に緊急対策については、机上訓練および現場にて仮想事故訓練等を行い、安全の確保に努力する。

3. 変更の予定時期

昭和44年11月1日

表1 反応器(V301)の強度計算結果

肉厚	必要肉厚 mm	実際の肉厚 mm
板		
胴板	74.8	75.0
本体フランジ	154	170
内筒フランジ	84.5	90.0
反応器ジャケット	3.03	6.0
断面積	必要断面積 mm ²	実際の断面積 mm ²
ボルト		
本体ボルト	24500	29600
内筒ボルト	4660	6830

表2 高圧ガス循環ポンプ(P302)の強度計算結果

肉厚	必要肉厚 mm	実際の肉厚 mm
底蓋	8.5	8.6
モーターケーシング	38.5	55
ポンプケーシング	4.5	92.5
配管	8.5	8.5
	3.9	5

表3 バッファータンク(※111)の強度計算結果

肉厚	必要肉厚 mm	使用板厚 mm
改造部		
ジャケット胴板	2.74	5.073
ジャケット蓋板	3.38	7.952
ジャケットノズル	1.08	2.45
本体ノズル	2.77	4.11

表4 中圧分離器(#120A)の強度計算結果

改造部	肉厚	必要肉厚 mm	使用板厚 mm
温度計保護管(大胴)		$f_{max} = 1.15 \text{ kg/mm}^2$	$f_{all} = 11.6 \text{ kg/mm}^2$
温度計保護管(小胴)		$f_{max} = 1.15 \text{ kg/mm}^2$	$f_{all} = 11.6 \text{ kg/mm}^2$
ノズル N-1, N-4		2.65	4.7
ノズル N-7		0.40 ₅	5.5
フランジ		JIS 60 ^K フランジ使用	

表5 高圧分離器(#120B)の強度計算結果

改造部	肉厚	必要肉厚 mm	使用板厚 mm
温度計保護管(大胴)		$f_{max} = 7.86 \text{ kg/mm}^2$	$f_{all} = 10.8 \text{ kg/mm}^2$
温度計保護管(小胴)		$f_{max} = 7.83 \text{ kg/mm}^2$	$f_{all} = 10.8 \text{ kg/mm}^2$
温度計保護管(先端)			2.0
ノズル N-1, N-4 N-5, N-14, N-15		2.65	4.11
胴ジャケット		1.49	16.0

表6 循環液予熱器(E303A, B)の強度計算結果

改造部	肉厚	必要肉厚 mm	使用板厚 mm
チューブバンド部			
チューブバンド部		3.46	4.11
チューブ側ノズル N-1 ~ N-4		2.64	4.11
ジャケット外管		2.97	3.06 ₃
ジャケット蓋板		3.47	4.05
ジャケット接続管		1.10 ₈	2.45
ジャケットノズル N-5 ~ N-8		1.10 ₈	2.45

表7 配管材料の強度計算結果

種 類	肉 厚	必要肉厚 mm	使用板厚 mm
$1/2^B$ sch160 sus27 TP-S		2.63	4.11 ₂
$1/8^B$ sch80 sus27 TP-S		0.09 ₇	1.9
$4\phi/2\phi$ sus27 TP-S		0.12	0.5
$3/4^B$ sch80 sus27 TP-S		0.33	3.4
$1/2^B$ sch80 sus27 TP-S		0.24 ₃	3.2

表8 新設・改造機器の気密・耐圧試験圧力一覧表

機器名 及び機番	圧 力	設計圧力 (kg/cm ² G)	常用圧力 (kg/cm ² G)	気密試験圧力 (kg/cm ² G)	耐圧試験圧力 (kg/cm ² G)
反応器(V-301)		410	400	410	615
高圧分離器(#120B)		410	400	410	615
中圧分離器(#120A)		60	20	60	90
バッファータンクNo.1 (#111)		410	20	410	615
循環液予熱器 (E-303A, B)		410	400	410	615
高圧液循環ポンプ (P-301)		1000	400	—	—
高圧液循環ポンプ (P-302)		410	400	410	615

表9 安全弁一覧表

	計器番号	設 置 場 所	吹 出 圧 力 (kg/cm ² G)	常 用 圧 力 (kg/cm ² G)	流 体 の 種 類	吹 出 量 (kg/hr)	安全弁の 種 類
既 設 の も の	SV-1	ダウサムボイラー	6	0~6	ダウサム	> 320	スプリング型
	SV-2	"	6	0~6	"	> 500	"
	SV-3	PCV-2出口配管	30	20	エチレン	> 50	"
	SV-4	#111 手前配管	30	20	"	> 50	"
	SV-5	スチームボイラー	微	去			
	SV-7	#112 吐 出	470	400	エチレン	> 4000	破 裂 板
	SV-8	#113 吐 出	470	400	"	> 4000	"
	SV-9		5	4	AIR	> 80	スプリング型
	SV-10	反応器入口配管	480	400	エチレン	> 500	ブルドン管型
	SV-11	#116 手 前	470	400	"	> 10000	破 裂 板
	SV-12		8	7	AIR		スプリング型
	SV-13		約15		H ₂ ガス		重 錘 型
	SV-14		"		N ₂ ガス		"
	SV-13		"		AIR		"
	SV-16	スチームボイラー	微	去			
	SV-17	ダウサム配管	6	0~6	ダウサム	> 300	スプリング型
	SV-18	#112 吐 出	420	400	エチレン	> 10000	破 裂 板
	SV-19	#113 吐 出	420	400	"	> 10000	"
	SV-20	#116 手 前	420	400	"	> 10000	"
	新 設 の も の	SV-31	エチレンローダー (V-307)	180 (吹止 158)	80~20	エチレン	> 4000
SV-32		"	"	"	"	"	"
SV-33		反応器(V-301)	450	400	"	> 10000	破 裂 板 空気圧コント ロール式
SV-34		"	420	400	"	> 5500	スプリング型
SV-35		高圧分離器 (#120B)	450	400	"	> 10000	破 裂 板
SV-36		"	420	400	"	6φ > 8300	空気圧コント ロール式
SV-37		高圧液循環ポンプ	480	400	液 体	> 5000	スプリング式
SV-38		反応媒体送入ポンプ	480	400	" "	> 5000	スプリング式
SV-39		P-303 吐 出	480	400	"	> 5000	スプリング式
SV-40		中圧分離器 (#120A)	30	20	エチレン	12φ > 2450	スプリング式
SV-41	低圧分離器 (#206)	1.5	0~1	"	12φ > 158	スプリング式	
SV-42	バッファータンク (V-306)	33 (吹止 29.7)	20	"	> 10000	スプリング式	

表10 緊急放出弁

バルブ番号	設置場所	流体	吹出量kg/hr	バルブ型式
R-115, R-116	FS-3, 4手前	エチレン	>300	アングルストレート
R-110, R-111	#111 手前	"	>300	"
R-129, R-130	バッファータンク #114	"	>4000	"
R-337, R-338	反応器入口配管	"	>4000	"

表11 Relation Between the Amount of Acetylene and Poly. Chain

反応温度 (°C)	反応時間 (hr)	アセチレン ($N_{C_2H_2}$) $\times 10^5$ (mole/l)	ポリマー鎖数 (N_p) $\times 10^5$ (mole/l)	$N_p / N_{C_2H_2}$
30	0.5	8.0	9.6	1.2
30	1.0	19.4	18.1	0.9
30	2.0	36.5	36.8	1.0
100	1.0	23.3	45.4	1.9
100	2.0	36.9	84.2	2.3

反応条件：圧力 400 kg/cm^2 線量率 $2.9 \times 10^5 \text{ rad/hr}$ 反応容積 100 ml

表12 アセチレンとエチレンの水への溶解度⁵⁾

温度 °C	アセチレン	エチレン
	$K \times 10^{-6}$ K: Henry's law const.	$K \times 10^{-6}$ K: Henry's law const.
0	0.547	4.33
10	0.727	5.84
20	0.917	7.74
30	1.11	9.62

表13 アセチレンとエチレンの溶媒への溶解度

溶媒	温度 (°C)	アセチレン		エチレン	
		$\text{Nm} \ell \text{ g}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$	分圧mmHg	$\text{Nm} \ell \text{ g}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$	分圧mmHg
オクタン	10	3.1	760	5.2	760
	30	2.4	"	2.7	"
メチルアルコール	10	16	"	3.7	"
	30	8	"	2.8	"
アセトン	10	35	"	6.0	"
	30	-	-	4.6	"

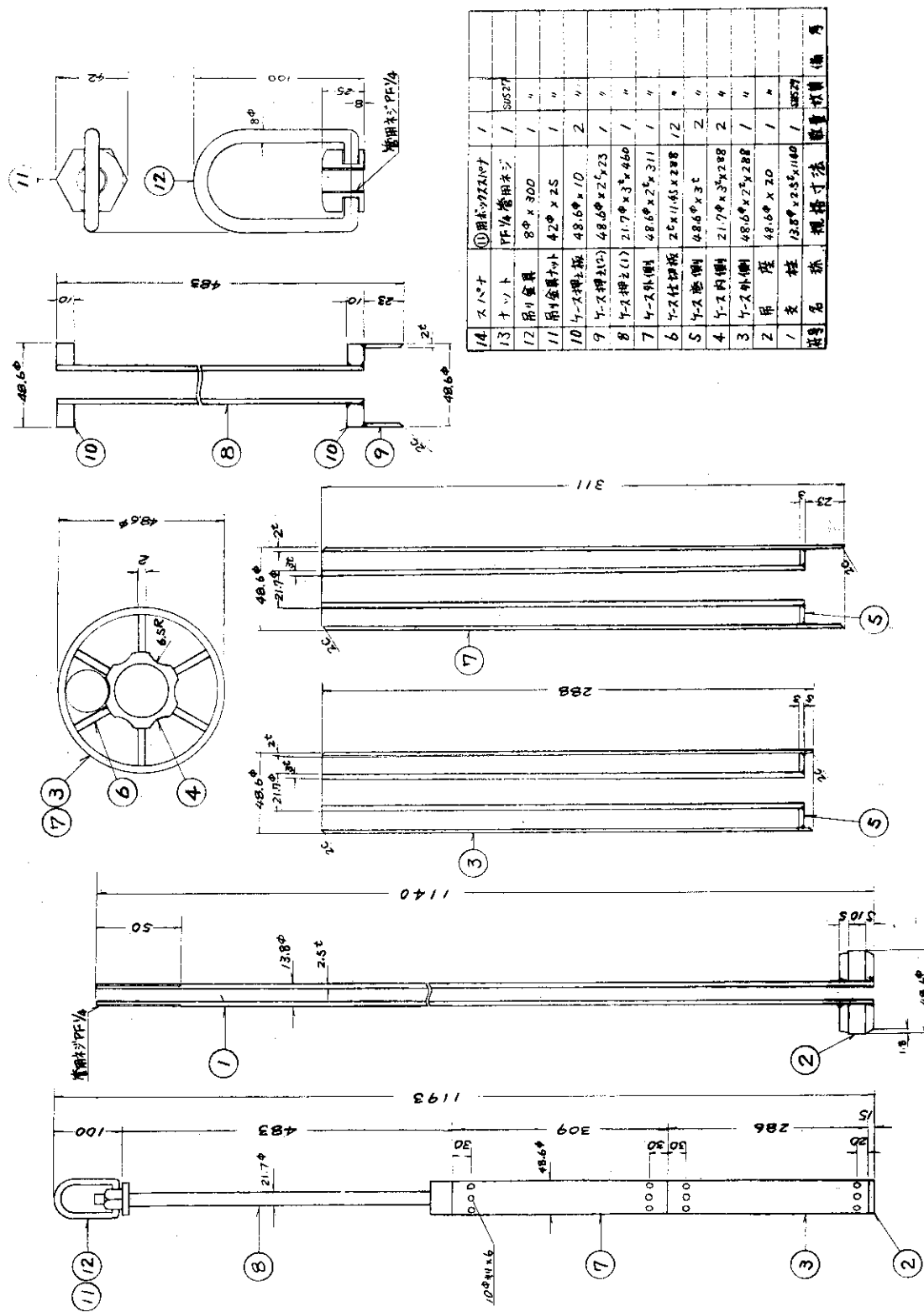


図2 線源ケーシング

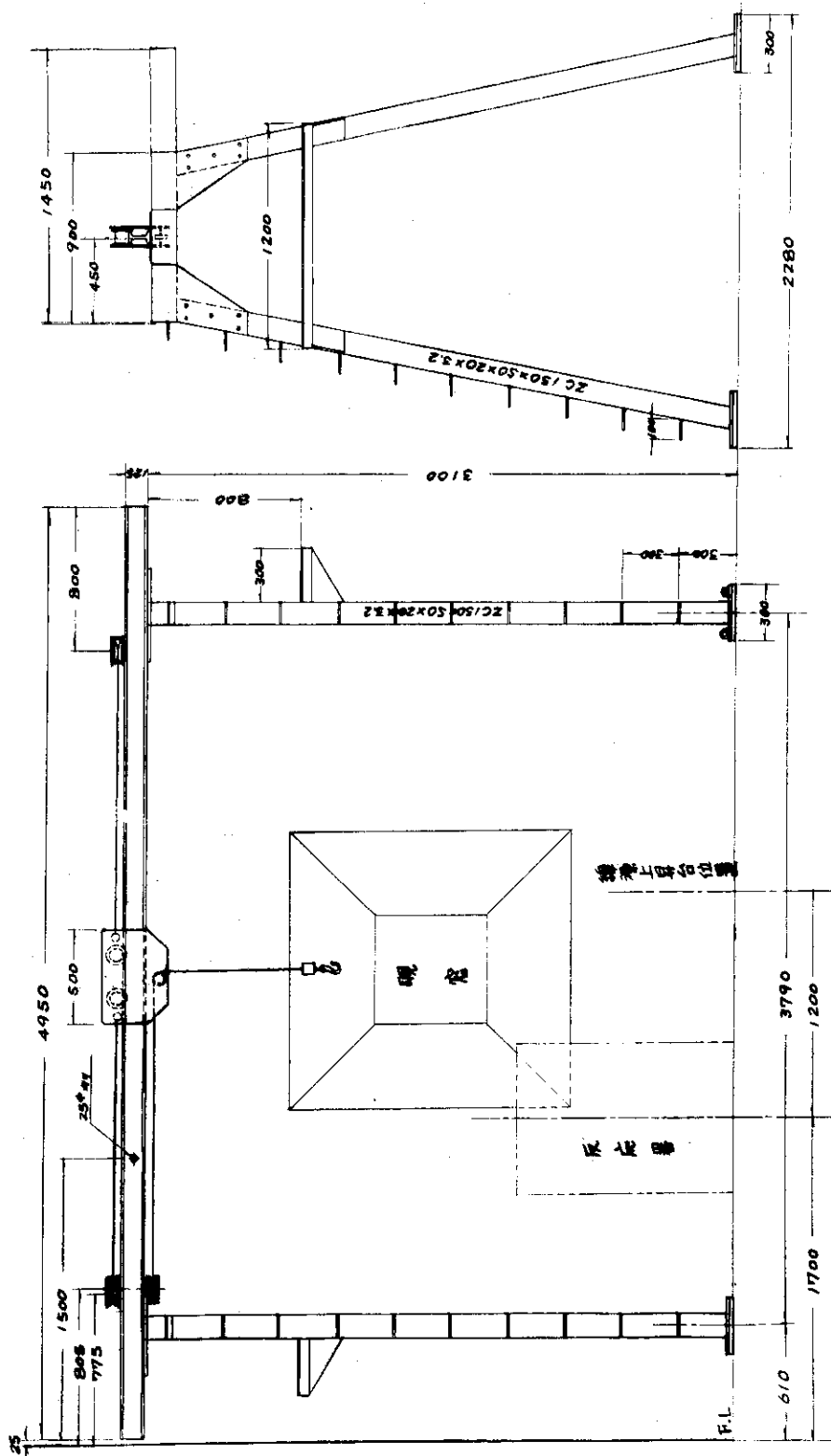


图3 線源移動裝置

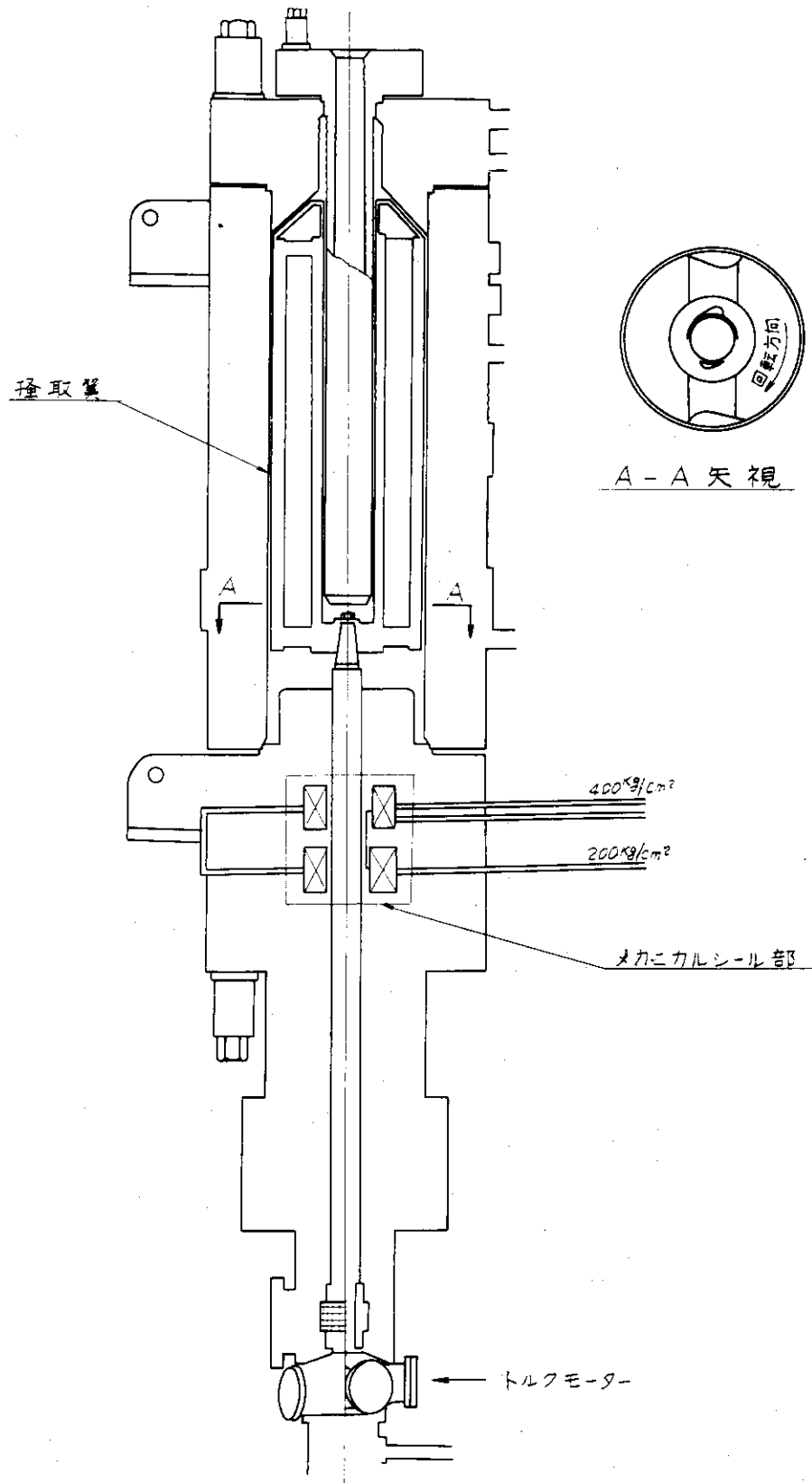
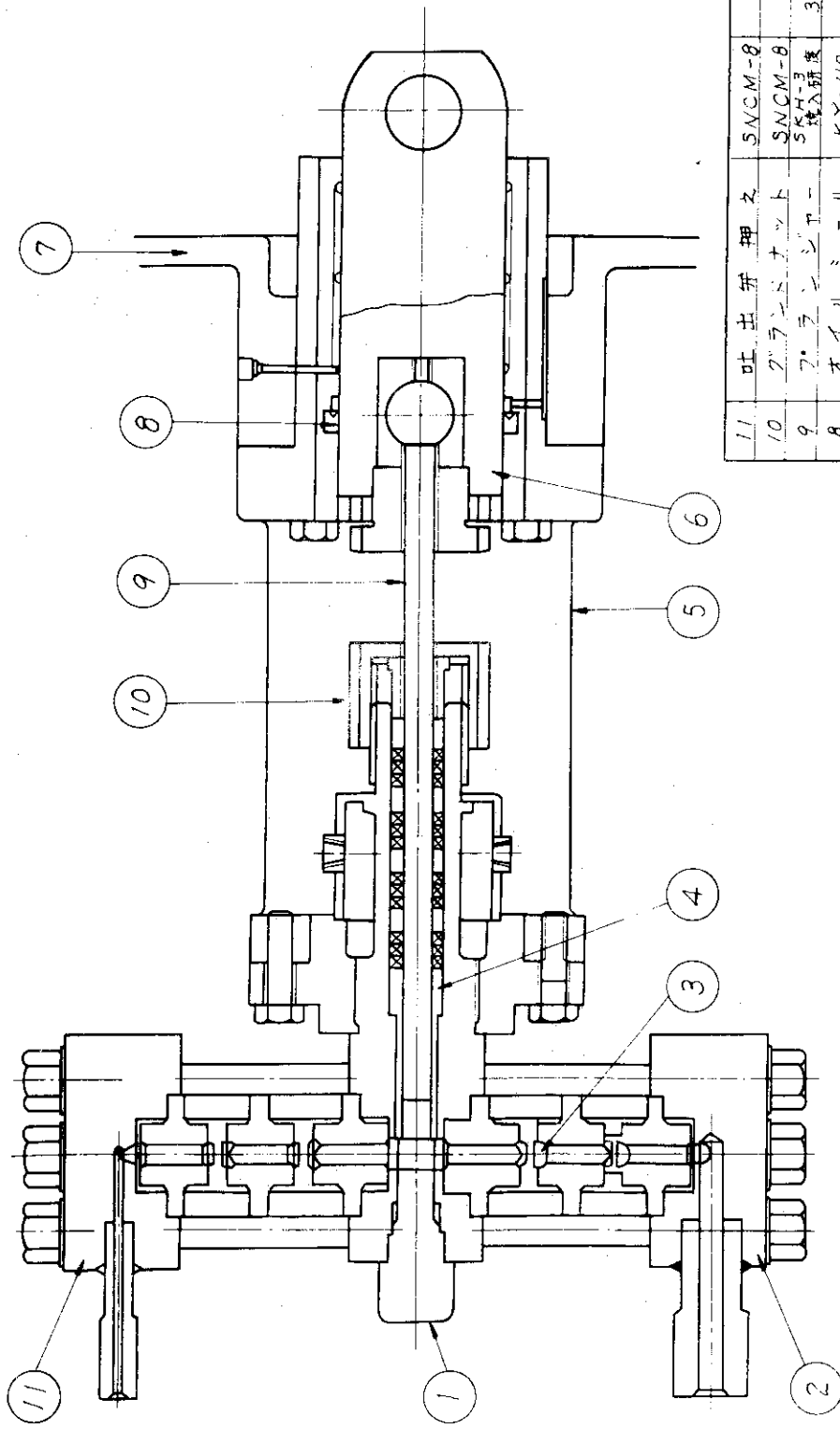


図4 反 応 器 (V301)



品番	部品名称	材質	数量
11	吐出弁押え	SNCM-8	3
10	2. ラインドナット	SNCM-8	3
9	7. エンジンシヤ- 挿入研度	SKH-3 3. 手3	3
8	本イニルニ-ル	KY-110	3
7	ボ-ンワ-本体	FC-20	1
6	ロツク	S48C H-CrXキ	3
5	シリ-ンダ-受	FC-20	3
4	シリ-ンダ-ライナ-	P.B.C	3
3	吸入吐出バルブ	SUS-27 3. 手24	12
2	吸入側弁押え	SNCM-8	3
1	シリ-ンダ-ヘッド	SNCM-8	3

図5 高圧液循環ポンプ (P301)

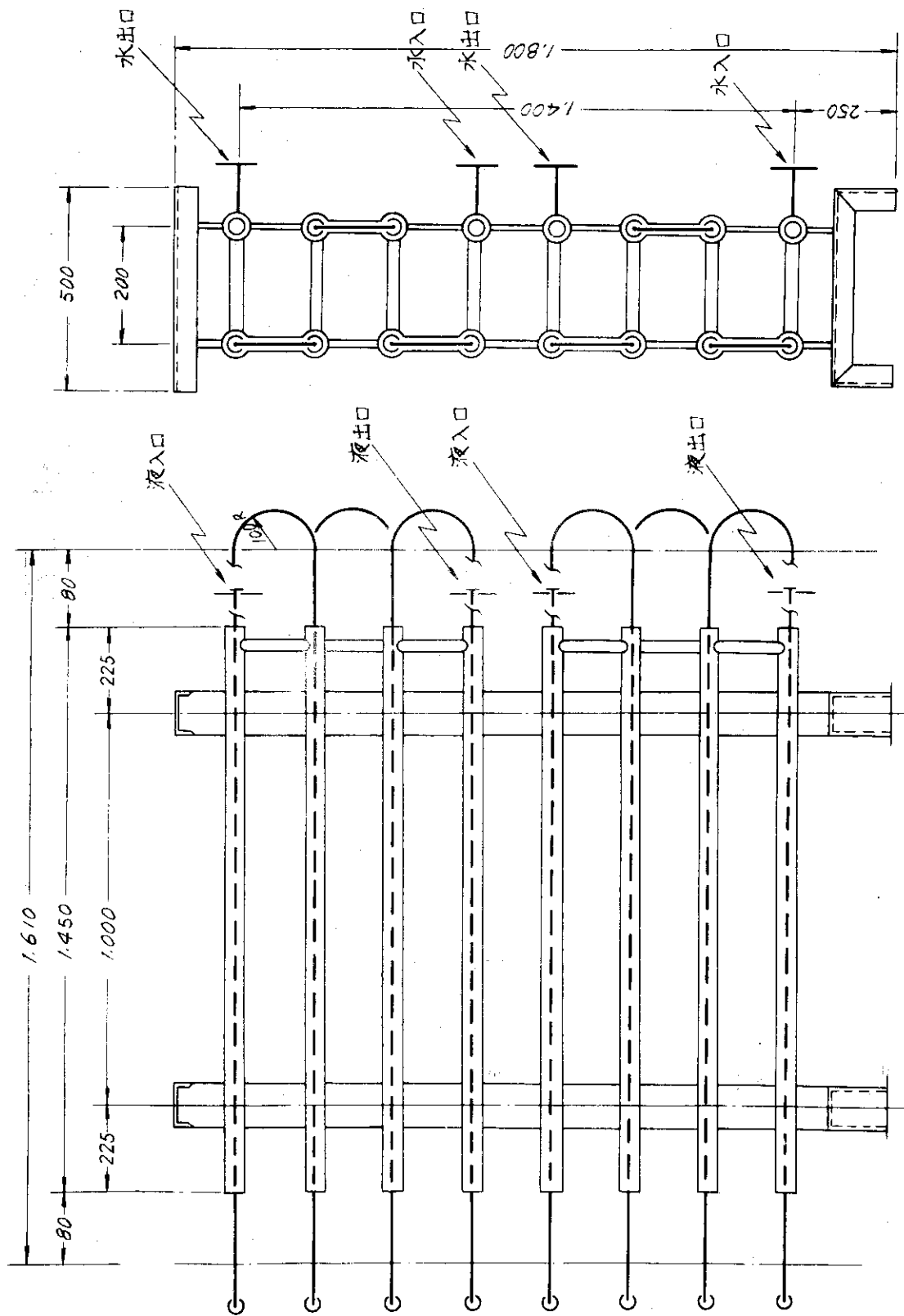


図7 循環液予熱器 (E303A, B)

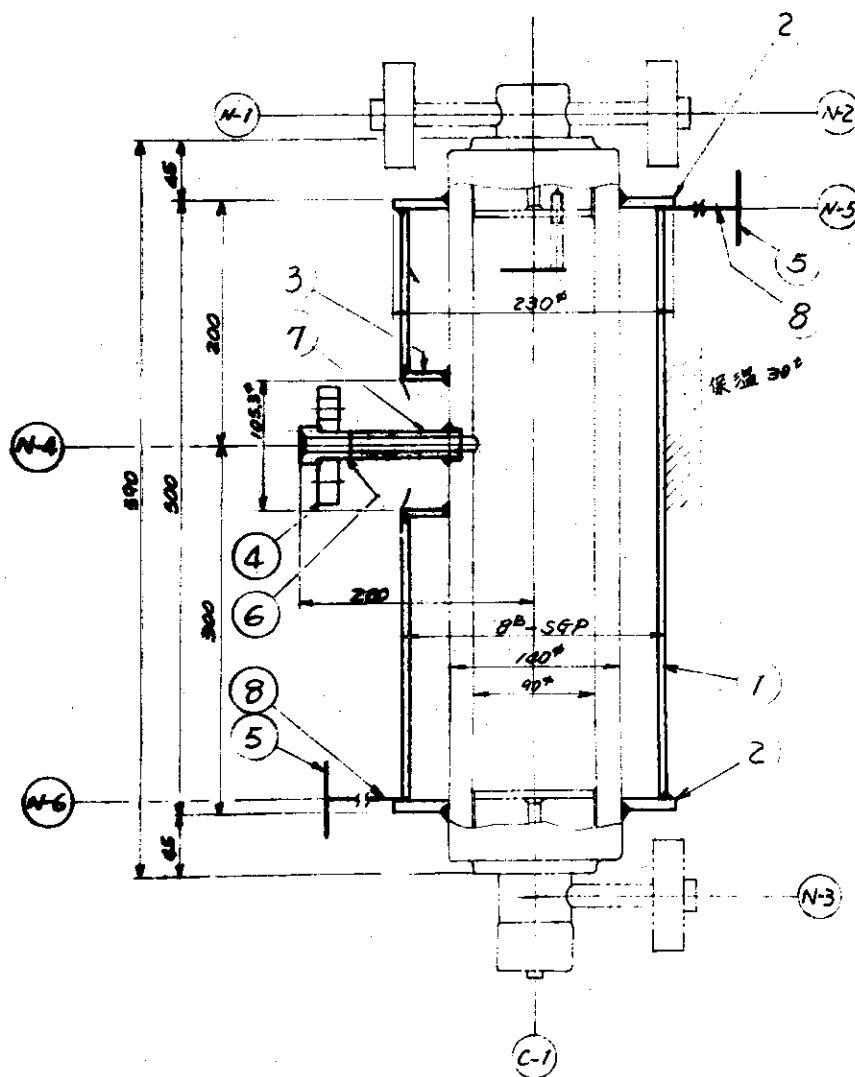
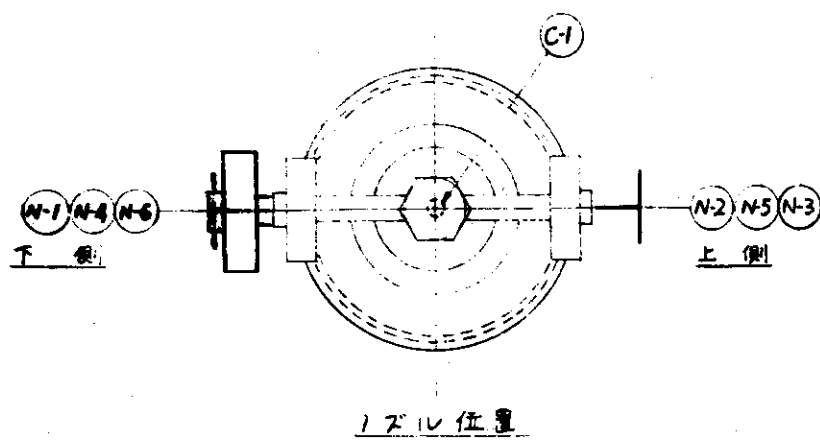


図8 バッファータンク No.1 (#111) 改造図

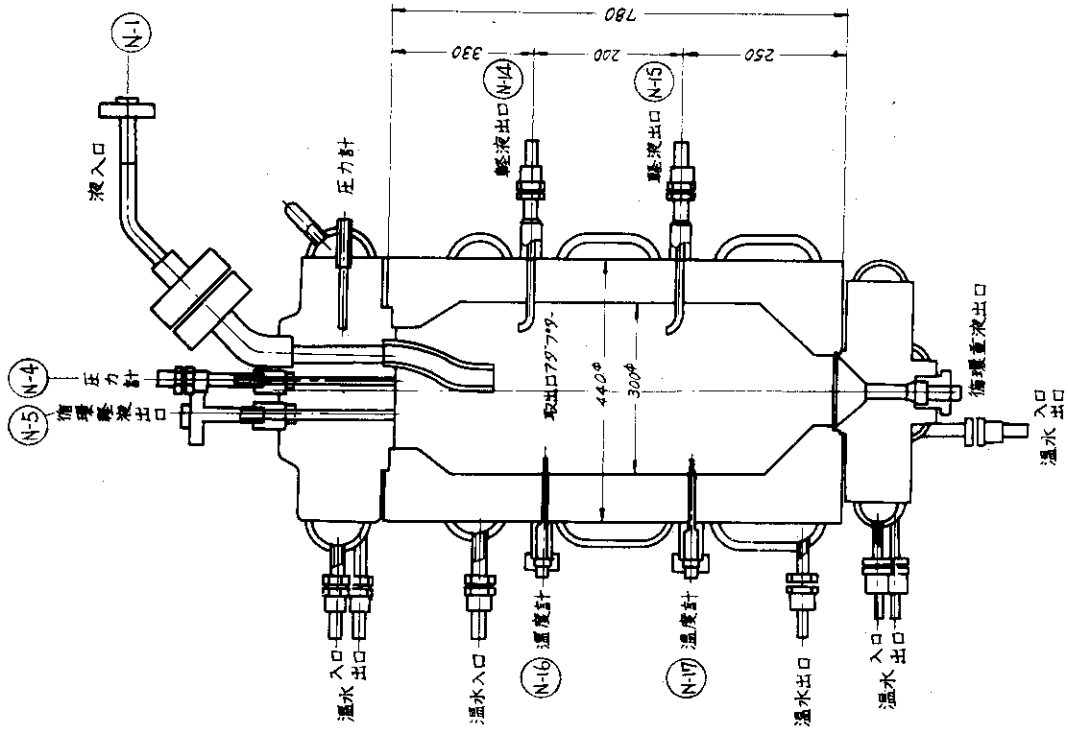


図 10 高压分離器 (#120B)

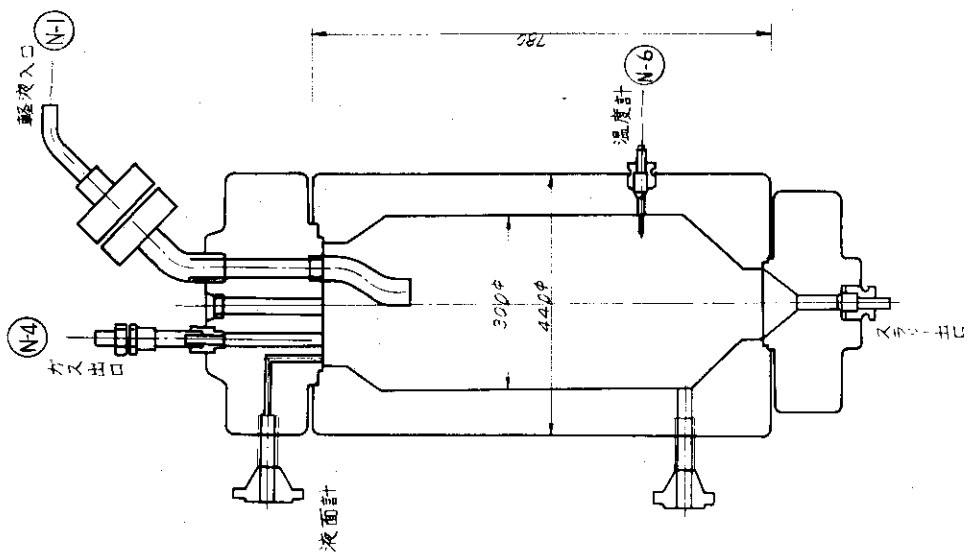


図 9 中压分離器 (#120A)

4. 安全性の検討資料

4.1 新設バージラインの背圧の計算

4.1.1 配管形状・寸法

新設バージラインの配管形状および寸法の詳細は図11に示した。

4.1.2 計算式

$$(1) \text{ 摩擦損失} \quad \Delta P = 4f \frac{\ell V^2 \rho}{d 2g_c}$$

$$R_c = \frac{d v \rho}{\mu}$$

$$(2) \text{ 速度エネルギー} \quad \Delta P = \frac{(V_2^2 - V_1^2) \rho}{2g_c}$$

4.1.3 計算条件

420 kg/cm², 温度30℃のガスが流れるものとする。

吹出ガス量

$$W = 230 A P \sqrt{\frac{M}{T}}$$

A : 安全弁口径 8mm および 10mm
M : エチレンの分子量 28.05
P : 吹出し圧力 421 kg/cm²
T : 吹出しガス温度 303°K

$$\begin{aligned} W &= W_1 + W_2 \\ &= 230 \times \frac{\pi}{4} \times \{ (0.008)^2 + (0.01)^2 \} \times 421 \times 10^6 \times \sqrt{28.05 / 303} \\ &= 3.79 \times 10^4 \text{ kg/hr} = 10.53 \text{ kg/sec} \end{aligned}$$

臨界圧力比より末端圧を推定した。

$$(P_0/P_1) = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{k/k-1} = 0.56$$

$$k = 1.225 \quad P_1 = 1.79 \text{ kg/cm}^2$$

末端圧力を2 kg/cm²として計算を進める。

$$P_1 = 2.0 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs} \quad P = \frac{1+k}{v_1 + kv_g} \quad k = \frac{b}{a}$$

$$P_1 = 1.18 \times 10 \text{ kg/m}^3 \quad \text{但し } v_1, v_g \text{ 液ガスの比容積}$$

k は 液ガスの組成比

配管末端における速度は

$$\bar{u}_1 = \frac{W}{\rho_1 A_2} = \frac{10.53}{1.18 \times 10 \times 5.14 \times 10^{-3}} = 1.74 \times 10^2 \text{ m/sec}$$

但し 3B管内径 0.081m

配管末端に於ける粘度(2atm, -92℃) μ_1 は

$$\mu_1 = 0.00008 \text{ poise} = 8 \times 10^{-6} \text{ kg/msec}$$

$$R_c = \frac{d \bar{u} \rho}{\mu_1} = \frac{dG}{\mu_1} = \frac{dW}{\mu_1 A_2} = \frac{4W}{\pi \mu_1 d}$$

$$= \frac{4 \times 10.53}{3.14 \times 8 \times 10^{-6} \times (0.081)} = 2.07 \times 10^7 \text{ (乱流)}$$

$f = 0.0065$ として計算を進める。

4.1.4 計算結果

計算結果を表 14 に示した。

その結果、 3^B 管末端部では、圧力 8.66，速度 49.5 m/sec となり、これより 2^B 管末端部の速度が得られる。

$$\bar{u} = \frac{W}{\rho A_1} = \frac{10.53}{41.4 \times 1.92 \times 10^{-3}} = 132 \text{ m/sec}$$

速度変化による圧損は、

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{(\bar{u}_2^2 - \bar{u}_1^2)}{2g_c} \rho = \frac{(132^2 - 49.5^2)}{2 \times 9.8} \times 41.4 \\ &= 31629 \text{ kg/m}^2 = 3.16 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

2^B 管末端圧力は、管路の圧損と速度変化の圧損との和で決まる。

$$8.66 + 3.16 = 11.84 \text{ kg/cm}^2$$

次に 2^B 管の 3^B 管側末端圧力が、 11.84 kg/cm^2 として同様に進めその計算結果を表 15 に示した。

この結果より 2^B 管末端部では、圧力 38.73 kg/cm²，速度 50.7 m/sec となり、これより $\frac{3^B}{2}$ 管末端部の速度が得られる。

$$\bar{u} = \frac{W}{\rho A_0} = \frac{10.53}{108 \times 1.13 \times 10^{-3}} = 86.3 \text{ m/sec}$$

速度変化による圧損は

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{(\bar{u}_2^2 - \bar{u}_1^2)}{2g_c} \rho = \frac{(86.3^2 - 50.7^2)}{2 \times 9.8} \times 108 = 26873 \\ &= 2.68 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$\frac{3^B}{2}$ 管の末端圧は管路の圧損と速度変化の圧損との和で決まる。

$$38.73 + 2.68 = 41.41$$

次に $\frac{3^B}{2}$ 管の 2^B 管側末端圧力が、 41.41 kg/cm^2 として同様に計算を行ないその結果を表 16 に示した。

4.1.5 結 論

以上の計算結果から、パーシラインにかかる背圧の最大値は、安全弁出口での 68.04 kg/cm^2 である。

安全弁からの吹出ガス量の計算では背圧を考慮していないので、実際の吹出ガス量は計算値よりも小さく、したがって背圧の最大値も計算結果よりも小さくなる。

4.2 エチレンの分解爆発実験

4.2.1 実験装置

実験装置の概略および爆発容器の詳細をそれぞれ図 12，図 13 に示した。

爆発容器は内径40mm、内容積200mlのステンレス製耐圧容器である。爆発容器本体の上部には、内径2mmφ、外径4mmφの熱電対保護管が、容器本体下部には着火用電極プラグが付属している。また、爆発容器本体の上部にあるノズルには、ガス導入管、ストレインゲージ型圧力計およびラプチャーディスクがそれぞれ取付けてある。

ラプチャーディスクの吹出面積は約0.8 cm²で、爆発に至り圧力が急激に上昇してもそれのみあうだけの十分な吹出能力を有している。

エチレンガスへの着火は、着火用電極プラグに取り付けた白金線(太さ0.3mmφ、長さ20mm)をバッテリー(12V, 30AH, 3個並列使用)による通電で加熱する方法を用いた。

4.2.2 実験方法

着火用電極プラグに白金線をはんだ付けて固定したのち、プラグを爆発容器に取付けた。爆発容器の蓋締め、温度計保護管、ストレインゲージおよび配管を取付けたのち、全系をエチレンで加圧置換を3回行なった。

試験圧力まで昇圧したのち、ガス漏れが無いことを確認し、電源のスイッチを入れ白金線に通電した。圧力、温度の経時変化を記録し、これらの記録から爆発の判定を行なった。

4.2.3 実験結果

エチレン単独およびエチレン-第3ブタノール-水成分系の2種類の組成についてスポット実験を行なった結果、表17に示したように、通電した電気エネルギーによる温度上昇のため、爆発容器内の圧力がラプチャーディスクの破裂圧(約500 kg/cm²G)よりも上昇して、ラプチャーディスクが破裂する場合があったが、通電を停止すると直ちに圧力、温度ともに低下したので、本実験条件下では爆発の自続性は無いことが明らかとなった。

4.3 除熱能力の計算

4.3.1 発熱量

反応器内での発熱としては、重合反応によるものと放射線の吸収によるものがあるが、後者は前者と比べると極めて小さいので、ここでは重合反応による反応熱のみを考慮する。

ポリエチレンの生成熱は約800 Kcal/kgで、ポリエチレンの最大生成量は2 kg/hrであるから、重合反応に伴なり最大発熱量は約1600 Kcal/hrである。

4.3.2 除熱量

除熱方法としては、(1) 循環重液相を熱交換器(E303A, B)により冷却する(2) 反応器内へ送入するエチレンガス又は反応媒体で除熱する(3) 反応器ジャケットを冷却するの3方法がある。

反応器の設計温度は80℃であるから、反応温度80℃の場合を基準にして、3方法による最大除熱量を計算する。

(1) 重液相循環による除熱

(i) 計算基準

反応器内温度	80℃
重液相循環量	300 l/hr
熱交換面積(A)	1.5 m ²

総括伝熱係数 $U = 100 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{C}$

冷却水温 20 C

重液相の比熱 $(C_p) = 0.72 \text{ Kcal/kg} \cdot \text{C}$

(a) 計算

重液相の温度が 80 C から 60 C まで低下すると仮定すると、平均温度差 $(\Delta t)_{lm}$ と除熱量 Q は

$$(\Delta t)_{lm} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln(\Delta t_1 / \Delta t_2)} = \frac{60 - 40}{\ln \frac{60}{40}} = 49.5$$

$$Q = U \cdot A \cdot (\Delta t)_{lm} = 7400 \text{ Kcal/hr}$$

熱交通過後の重液相の温度 t_2 は

$$t_2 = 80 - \frac{Q}{C_p \cdot G} = 41 \text{ (C)}$$

となり、最初の仮定は適当でない。

次に、重液相の温度が 80 C から 50 C まで低下すると

$$(\Delta t)_{lm} = \frac{60 - 30}{\ln \frac{60}{30}} = 43.3$$

$$Q = U \cdot A \cdot (\Delta t)_{lm} = 6500 \text{ Kcal/hr}$$

$$t_2 = 80 - \frac{Q}{C_p \cdot G} = 46 \text{ C}$$

となり、最初の仮定をほぼ満足する。

(2) 送入エチレンおよび反応媒体による除熱

(i) 計算基準

エチレン送入量 10 kg/hr (20 C)

反応媒体送入量 100 l/hr (20 C)

反応媒体の密度 0.79 kg/l

エチレンの比熱 $(C_{p1}) = 0.8 \text{ Kcal/kg} \cdot \text{C}$

反応媒体の比熱 $(C_{p2}) = 0.64 \text{ Kcal/kg} \cdot \text{C}$

(ii) 計算

送入エチレンおよび反応媒体が反応器中で 20 C から 80 C まで加熱されるのに要する熱量 Q は、

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 \\ &= (C_{p1} \cdot G_1 + C_{p2} \cdot G_2) \times \Delta t \\ &= 3500 \text{ Kcal/hr} \end{aligned}$$

(3) 反応ジャケットによる除熱

(i) 計算基準

反応器内温度 80 C

ジャケット伝熱面積	1 m ²
総括伝熱係数	100 Kcal/m ² ・hr・°C
冷却水温	20°C

(ロ) 計 算

ここでは、反応器内の温度および冷却水の温度が変わらないものとして、ジャケットによる最大除熱量 Q_{\max} を求める。

$$Q_{\max} = U \cdot A \cdot \Delta t$$

$$\approx 6400 \text{ Kcal/hr}$$

4.3.3 除熱能力の検討

重液相からの除熱量は、冷却水温が変わらないとしているため、実際はもう少し小さい。しかし、反応器内の温度が80°C以下にならないという最悪の場合の除熱量はもっと大きいはずである。送入エチレンおよび反応媒体による除熱と反応器ジャケットによる除熱は、反応器内の温度が変わらないとして得たもので、得られた値は最大除熱量である。

計算結果から明らかなように、発熱量はただか1600 Kcal/hrであるのに対し、除熱量の最大値はその約10倍の16,000 Kcal/hrであり、十分な除熱能力を有する。

4.4 水銀で満された反応器表面での線量率

反応器内筒の強度は、強度計算結果から明らかなように、十分であるが、仮定の事故としては、何らかの原因により内筒にそり入した線源が内筒から取出せなくなった場合が想定される。万一、このような事態に至った場合は、内筒内、反応器内および反応器ジャケット内に水銀を入れ、反応器周辺の空間線量率を下げ、内筒もしくは反応器カバーの取りはずしを行なって、線源を回収しようと考えている。

この場合、ケーブル内に立入って線源回収作業を行なうことができるかどうか問題であり、反応器内に水銀を満したときの反応器周辺の空間線量率を計算で求めた。

4.4.1 線源部における吸収

図14に示したように、線源内筒内の空間を全て水銀で満したとき、線源を含む内筒内の全ての物質による吸収を計算する。

線源 a ~ f の形状は、外径12mmφ、長さ30cmの棒状線源であるが、本計算では断面積を有しない線状線源として取り扱うものとする。

また、質量吸収係数を μ_m とすると、1MeV ~ 3MeV の範囲にあるコバルト-60のガンマ線に対しては

$$1/\mu_m = 19 \text{ g/cm}^2$$

の関係があるから、⁷⁾コバルト、水銀、鉄の線吸収係数はこの関係式と各々の密度からそれぞれ0.465, 0.715, 0.415の値を得た。

図14に示したように、反応器外周に代表的な3点を選び、各線源 a ~ f から各代表点に向う途中での吸収による減衰率 $\{ \exp(-\sum \mu x) \}$ を求め、その結果を表18 ~ 20に示した。ここで、 x は図14から得た距離 (cm)、 μ は各物質の線吸収係数 (cm^{-1}) である。

この結果、各点における減衰率は0.286 ~ 0.345の範囲で変化するが、以下の計算では、

線源部の吸収による減衰率としては最も小さい値であるC点の0.286を用いる。

4.4.2 1次ガンマ線の吸収による減衰(図15参照)

(1) 計算式

棒状線源からの1次線による線量率は一般に次式で表わされる。⁷⁾

$$I_0 = \frac{\alpha \cdot S_L}{x} [F(\Psi_1, \mu t) + F(\Psi_2, \mu t)]$$

ここで

$\alpha = 1 \text{ Ci}$ のコバルト-60線源から1cmの距離における線量率

$$= 1.3 \times 10^4 \text{ R} \cdot \text{hr}^{-1} \cdot \text{Ci}^{-1}$$

S_L = 単位長さあたりのキュリー数

$$= 7.2 \times 10^2 \text{ Ci} \cdot \text{cm}^{-1}$$

x = 線源から反応器外周までの最短距離

$$= 27.5 \text{ cm}$$

(2) 反応器ジャケット内が水の場合

$$\Sigma \mu t = 12.9$$

$$F(47^\circ, 12.9) = 8.8 \times 10^{-7}$$

であるから⁸⁾

$$I_0 = 0.60 \text{ R/hr}$$

となる。

(3) 反応器ジャケット内が水銀の場合

$$\Sigma \mu t = 15.8$$

$$F(47^\circ, 15.8) = 4.6 \times 10^{-8}$$

であるから⁸⁾

$$I_0 = 3.13 \times 10^{-2} \text{ R/hr}$$

となる。

4.4.3 ビルドアップ率の計算

図16に示した媒質中に点線源が存在するものと近似して、ビルドアップ率の計算を行なう。

Broderによれば⁹⁾、2種類以上の物質が層をなして重なっている場合のビルドアップ率(B)は次式で与えられる。

$$B = \sum_{n=1}^N B_n \left(\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot x_i \right) - \sum_{n=2}^N B_n \left(\sum_{i=1}^{n-1} \mu_i \cdot x_i \right)$$

ここで、水銀に対するビルドアップ率を鉛のデータで、コバルトに対しては鉄のデータを代用すると、反応器ジャケット内が水および水銀の場合のビルドアップ率として、それぞれ次に示す値を得た。

$$B_{\text{H}_2\text{O}} = 11.6$$

$$B_{\text{Hg}} = 11.9$$

4.4.4 反応器外周面の線量率

4.4.2および4.4.3の計算結果から、ジャケット内が水の場合の反応器外周面の線量率は

$$I = I_0 \times B \doteq 7.0 \text{ (R/hr)}$$

となる。

また、ジャケット内が水銀の場合の線量率は

$$I = I_0 \times B \doteq 0.37 \text{ (R/hr)}$$

となる。

4.4.5 反応器上部での線量率

図15に示したように、線源内筒を水銀で満した場合の内筒最上部における線量率を計算する。

一様に分布した線源の垂直方向における自己吸収率 β は、線源の垂直方向の長さを ℓ とすると、次式で与えられる。

$$\beta = \frac{\int_0^{\ell} e^{-\mu x} dx}{\int_0^{\ell} dx} = \frac{1 - e^{-\mu \ell}}{\mu \ell}$$

ここで、 $\mu = 0.465 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ 、 $\ell = 60 \text{ (cm)}$ であるから

$$\beta = 0.0358$$

つぎに、水銀の吸収による減衰率 ε は、水銀の線吸収係数 $\mu = 0.715 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ 、吸収層の厚さ $t = 40 \text{ (cm)}$ であるから、

$$\varepsilon = e^{-\mu t} \doteq 4.0 \times 10^{-13}$$

となる。

水銀部分におけるビルドアップ率としては、平面一方向線源の鉛の場合のデータ⁷⁾から外挿して得られた値9.0を用いる。

以上の値を用いて、反応器上部(内筒の最上部)における線量率 I は、線源のキュリー数 $C = 4.32 \times 10^4 \text{ (Ci)}$ (最大使用量)、線源からの距離 $x = 40 \text{ (cm)}$ 、Co-60のラム値 $R = 1.3 \text{ (R/hr} \cdot \text{Ci)}$ とすると、

$$I = \frac{10^4 R \cdot C \cdot \beta \cdot \varepsilon}{x^2} \times B \doteq 4.5 \times 10^{-8} \text{ (R/hr)}$$

となる。

表14 3^B管のページラインにおける背圧の計算結果

出口端 よりの長さ	$P+\Delta P$ kg/cm ²	ρ kg/m ³	\bar{u} m/sec	ℓ (cm)	d cm	ΔP kg/cm ²
0	2.00 (-92°C)	11.8	174	100	8.1	0.59
1	2.59 (-86°C)	15.5	132	100	8.1	0.44
2	3.03	16.8	122	200	8.1	0.82
4	3.85 (-77°C)	20.6	99.5	200	8.1	0.67
6	4.52	22.8	89.9	300	8.1	0.91
9	5.43	26.4	77.7	300	8.1	0.78
12	6.21 (-56°C)	28.4	72.2	400	8.1	0.97
16	7.18	32.8	62.5	400	8.1	0.84
20	8.02	34.4	59.6	320	8.1	0.64
23.2	8.66	41.4	49.5			

表15 2^B管のページラインにおける背圧の計算結果

3 ^B 管側 よりの長さ	$P+\Delta P$ kg/cm ²	ρ kg/m ³	\bar{u} m/sec	ℓ cm	d cm	ΔP kg/cm ²
0	11.84	45.9	119	100	4.95	1.74
1	13.58	48.0	114	100	4.95	1.67
2	15.25	52.8	104	100	4.95	1.53
3	16.78	57.1	96.0	200	4.95	2.82
5	19.60	63.5	86.3	300	4.95	3.80
8	23.40	72.2	75.9	300	4.95	3.34
11	26.74	80.8	67.8	400	4.95	3.98
15	30.72	88.8	61.7	400	4.95	3.62
19	34.34	101	54.3	550	4.95	4.39
24.5	38.73	108	50.7			

表16 3/2^B管のパーズラインにおける背圧の計算結果

2 ^B 管側 よりの長さ	P+ΔP kg/cm ²	ρ kg/m ³	\bar{u} m/sec	ℓ cm	d cm	ΔP kg/cm ²
0	41.41	115	81.0	100	3.8	2.63
1	44.04	132	70.5	100	3.8	2.29
2	46.33	140	66.5	200	3.8	4.32
4	50.65	277	33.6	200	3.8	1.09
6	51.74	277	33.6	400	3.8	4.36
10	56.10	294	31.7	500	3.8	5.16
15	61.26	303	30.7	680	3.8	6.78
21.8	68.04					

表17 爆発実験結果

Run No	反応組成	圧力 (kg/cm ²)	温度 (C)	通電時間 (sec)	爆発の 自続性	備 考
1	エチレン	100	常温	0.1?	無	瞬時に白金線が溶断 圧力の上昇無し
2	エチレン	200	常温	34.5	無	34.5秒後に500kg/cm ² に達しラプチャー破裂 圧力上昇速度 8.7kg/cm ² /sec
3	エチレン	300	常温	22.8	無	22.8秒後に475kg/cm ² に達しラプチャー破裂 圧力上昇速度 7.7kg/cm ² /sec
4	エチレン	400	常温	7.2	無	7.2秒後に510kg/cm ² に 達しラプチャー破裂 圧力上昇速度 15.3kg/cm ² /sec
5	{ エチレン 第3ブタノール 水	190	常温	8.4	無	8.4秒後で白金線が溶断 圧力上昇速度 2kg/cm ² /sec
6	{ エチレン 第3ブタノール 水	400	常温	13.5	無	13.5秒後に500kg/cm ² に達しラプチャー破裂 圧力上昇速度 7.4kg/cm ² /sec

表 18 A点における計算結果

	a	b	c	d	e	f
x_{Co}	1.7	1.35	0.6	0.6	1.35	1.7
x_{Hg}	1.05	0.9	0.5	0.5	0.9	1.05
x_{Fe}	1.25	0.2	0.2	0.2	0.2	1.25
$(\mu x)_{Co}$	0.79	0.63	0.28	0.28	0.63	0.79
$(\mu x)_{Hg}$	0.75	0.64	0.36	0.36	0.64	0.75
$(\mu x)_{Fe}$	0.52	0.08	0.08	0.08	0.08	0.52
$\Sigma \mu x$	2.06	1.35	0.72	0.72	1.35	2.06
$e^{-\Sigma \mu x}$	0.127	0.259	0.488	0.488	0.259	0.127
$(e^{-\Sigma \mu x})_{av}$	0.291					

表 19 B点における計算結果

	a	b	c	d	e	f
x_{Co}	0.6	1.8	0.6	0.6	0.6	1.6
x_{Hg}	1.95	0.9	0.6	0.3	1.3	0.9
x_{Fe}	1.55	0.9	0.6	0.15	0.2	1.2
$(\mu x)_{Co}$	0.28	0.84	0.28	0.28	0.28	0.74
$(\mu x)_{Hg}$	1.39	0.64	0.43	0.21	0.21	0.64
$(\mu x)_{Fe}$	0.64	0.08	0.08	0.06	0.06	0.50
$\Sigma \mu x$	2.31	1.56	0.79	0.55	0.55	1.88
$e^{-\Sigma \mu x}$	0.099	0.211	0.455	0.576	0.576	0.153
$(e^{-\Sigma \mu x})_{av}$	0.345					

表 20 C点における計算結果

	a	b	c	d	e	f
x_{Co}	1.8	1.7	0.6	0.6	0.6	1.7
x_{Hg}	1.25	1.5	0.9	0.3	0.9	1.5
x_{Fe}	1.05	0.2	0.2	0.15	0.2	0.2
$(\mu x)_{Co}$	0.84	0.79	0.28	0.28	0.28	0.79
$(\mu x)_{Hg}$	0.89	1.07	0.64	0.21	0.64	1.07
$(\mu x)_{Fe}$	0.44	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08
$\Sigma \mu x$	2.17	1.94	1.00	0.55	1.00	1.94
$e^{-\Sigma \mu x}$	0.114	0.144	0.368	0.577	0.368	0.144
$(e^{-\Sigma \mu x})_{av}$	0.286					

	安全弁側	3/2 ^B sch 80	2 ^B sch 80	3 ^B SGP	大気側
配管長		1.5 m	2.0 m	2.0 m	
エルボの数		6 個	3 個	1 個	
エルボ相当長		6.8 m	4.5 m	3.2 m	
全相当長		21.8 m	24.5 m	23.2 m	

図 11 新設パーシラインの配管形状と相当長

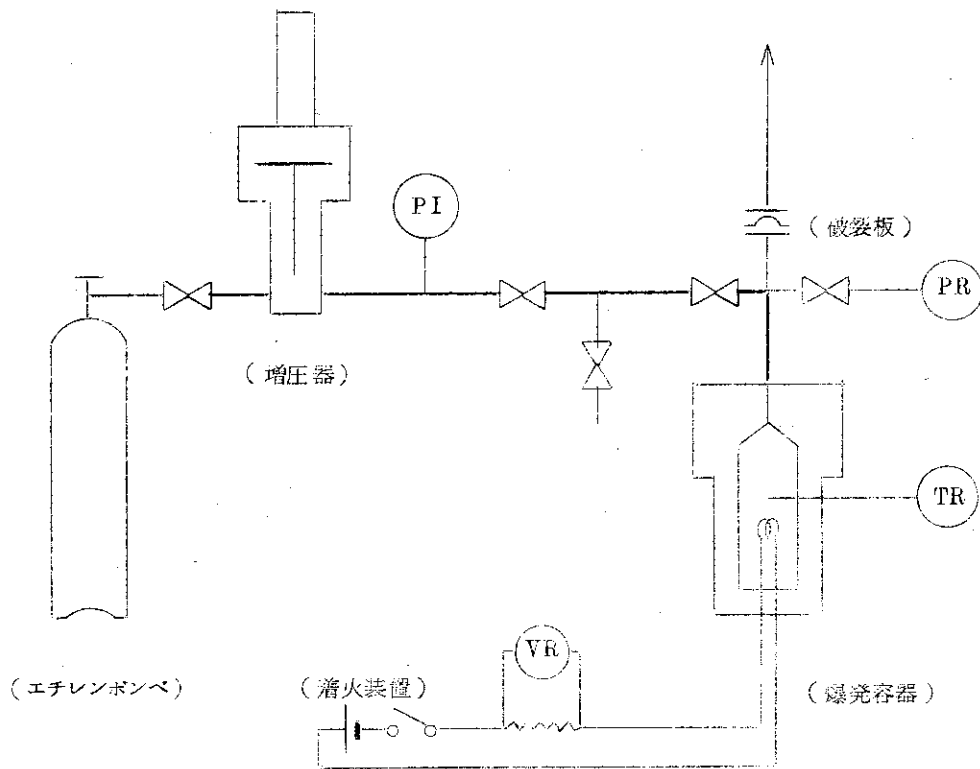


図 12 爆発実験装置

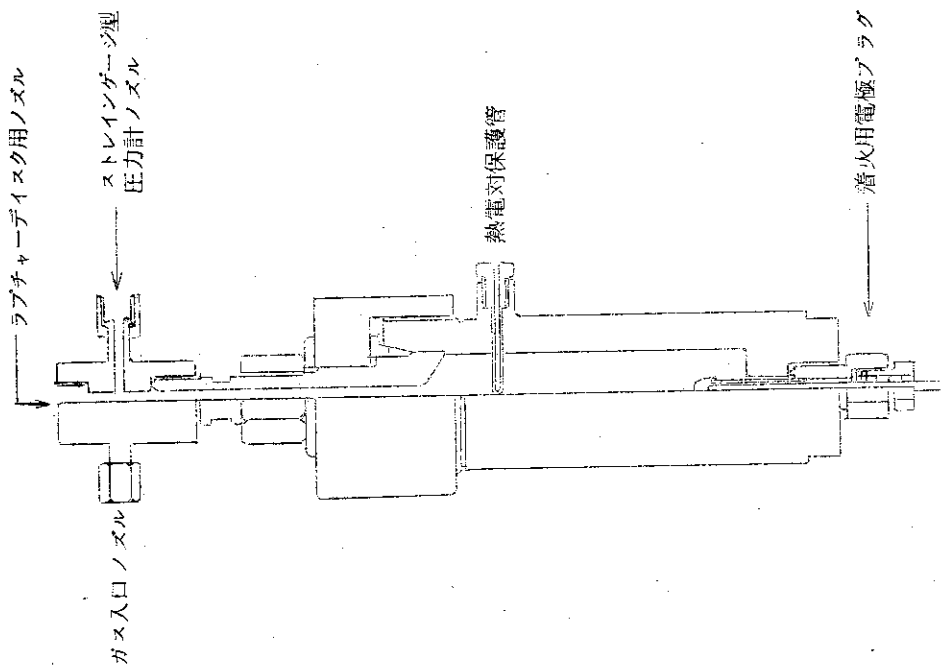


図13 線 発 容 器

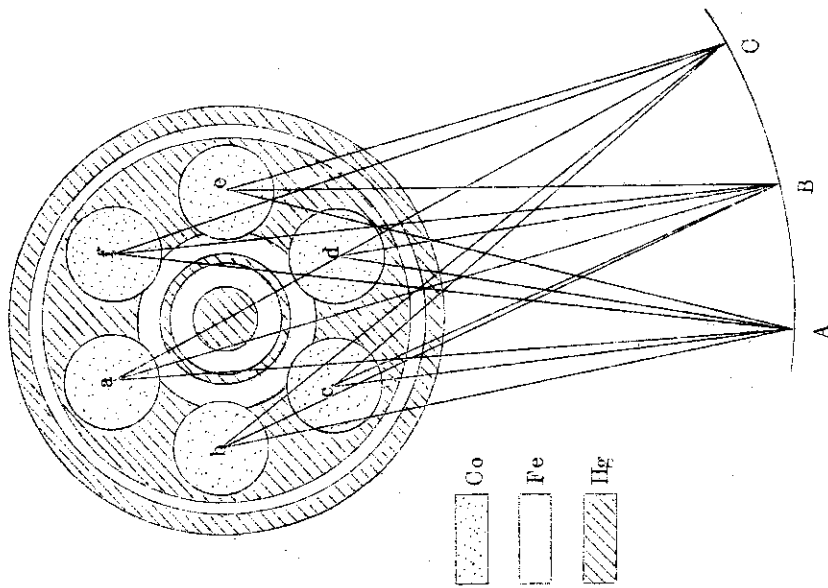


図14 線 源 部

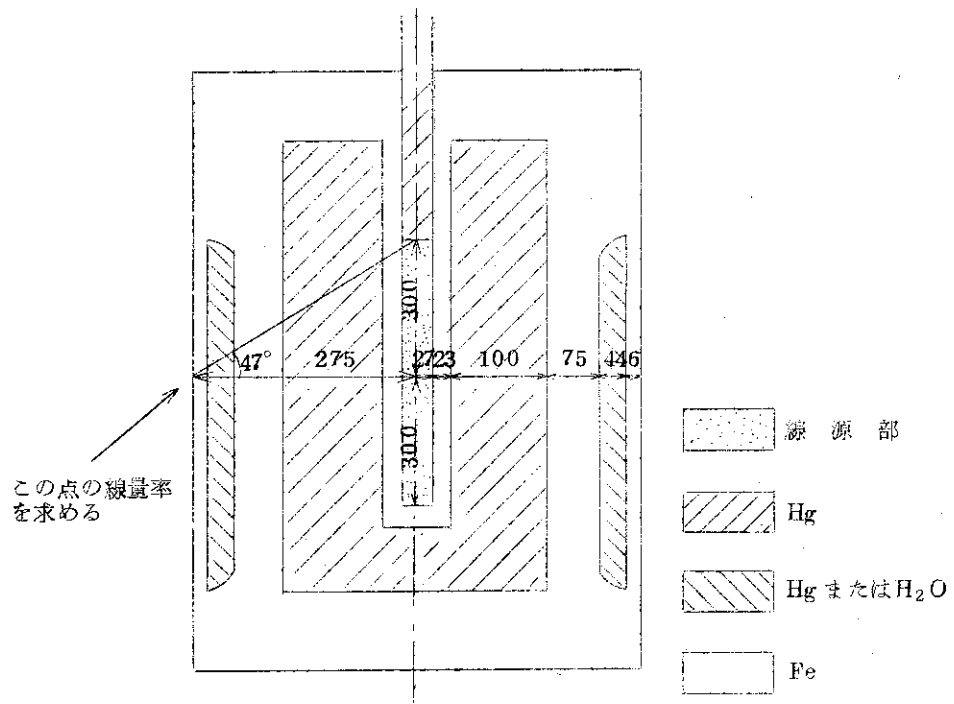


図15 反応器断面図

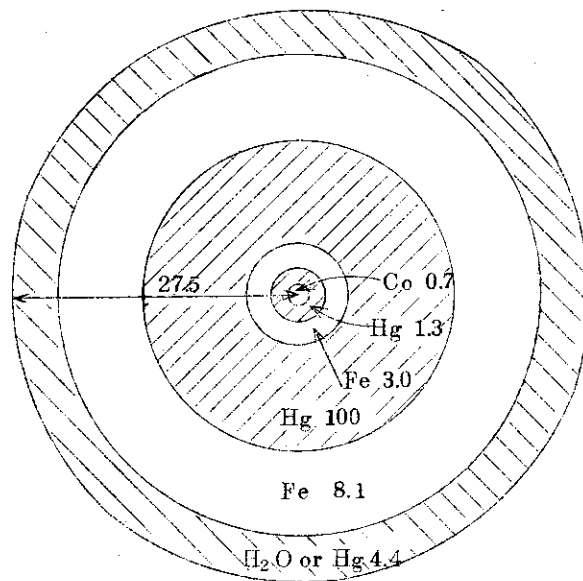


図16 ビルドアップ計算のための反応器近似図

5. 結 言 ・ 謝 辞

日本原子力研究所・高崎研究所・第2開発室では、エチレンの放射線重合の開発研究を終了するにあたり、未発表の研究成果のとりまとめを行なった。

本報告は、開発試験装置-PICWの建設に先立ち、昭和44年5月から7月にわたって本装置の安全性について検討したものである。

今振り返ってみると、検討内容は必ずしも十分なものではなく、やや厳密性に欠ける部分もあるが、放射性同位元素を用いる放射線化学プロセスの安全性を検討するうえでの一つの指針として、本報告が役立つものと確信するものである。

別に報告したように¹⁰⁾、開発試験装置-PICWは昭和44年12月の試験運転以来約2年間の長期間にわたって運転が行なわれたが、2~3のトラブルも安全装置により大事故になるのを未然に防止され、無事に初期の目的を達成し得たのは、Appendixに示したごとく、所内放射線安全審査専門部会員の熱心な御討論、疋田教授・北川教授の有益かつ貴重な御意見および安全管理課の全面的な協力によるところが多く、ここに深く感謝します。

6. 参 考 文 献

- 1) 武久正昭ら, 第8回日本RI会議報文集 P. 133(1968)
- 2) 栗原寛人ら, JAERI-M 5591(1974)
- 3) 渡辺博正ら, JAERI-M 5538(1974)
- 4) Hiroshi MITSUI et al.; J. Poly. Sci., A-1, 5, 1073(1967)
- 5) Inter National Critical Tables.
- 6) Hiroshi MITSUI et al.; J. Poly. Sci., A-1, 6, 2881(1968)
- 7) 兵藤知典著, 放射線遮蔽入門 (産業図書)
- 8) T. Rockwell III, ed, Reactor Shielding Design Manual, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1956
- 9) D.L. Broder, Yu.P.A.A. Kaurin, Atomnaya Energiya 12, 30(1962)
- 10) 渡辺博正ら, JAERI-M 5542(1974)
- 11) 開発試験場第二開発室, JAERI-M 投稿中

5. 結 言 ・ 謝 辞

日本原子力研究所・高崎研究所・第2開発室では、エチレンの放射線重合の開発研究を終了するにあたり、未発表の研究成果のとりまとめを行なった。

本報告は、開発試験装置-PICWの建設に先立ち、昭和44年5月から7月にわたって本装置の安全性について検討したものである。

今振り返ってみると、検討内容は必ずしも十分なものではなく、やや厳密性に欠ける部分もあるが、放射性同位元素を用いる放射線化学プロセスの安全性を検討するうえでの一つの指針として、本報告が役立つものと確信するものである。

別に報告したように、¹⁰⁾開発試験装置-PICWは昭和44年12月の試験運転以来約2年間の長期間にわたって運転が行なわれたが、2~3のトラブルも安全装置により大事故になるのを未然に防止され、無事に初期の目的を達成し得たのは、Appendixに示したごとく、所内放射線安全審査専門部会員の熱心な御討論、足田教授・北川教授の有益かつ貴重な御意見および安全管理課の全面的な協力によるところが多く、ここに深く感謝します。

6. 参 考 文 献

- 1) 武久正昭ら, 第8回日本RI会議報文集 P. 133(1968)
- 2) 栗原寛人ら, JAERI-M 5591(1974)
- 3) 渡辺博正ら, JAERI-M 5538(1974)
- 4) Hiroshi MITSUI et al.; J. Poly. Sci., A-1, 5, 1073(1967)
- 5) Inter National Critical Tables.
- 6) Hiroshi MITSUI et al.; J. Poly. Sci., A-1, 6, 2881(1968)
- 7) 兵藤知典著, 放射線遮蔽入門 (産業図書)
- 8) T. Rockwell III, ed, Reactor Shielding Design Manual, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1956
- 9) D.L. Broder, Yu.P.A.A. Kaurin, Atomnaya Energiya 12, 30(1962)
- 10) 渡辺博正ら, JAERI-M 5542(1974)
- 11) 開発試験場第二開発室, JAERI-M 投稿中

Appendix

1. 高崎研究所安全衛生委員会放射線安全審査専門部会議事録抄

1.1 第1回放射線安全審査専門部会議事録

1.1.1 議題等

- (a) 日時 昭和44年7月29日(火) 14:45~17:00
- (b) 場所 原研高崎研究所第2会議室
- (c) 出席者 大島裕之助(部会長), 岩下利, 阿部俊彦, 宮永賢久, 大道英樹
 欠席者 佐々木隆 (以上委員)
 説明者 武久正昭, 渡辺博正 (第2開発室)
 事務局 卓地信也, 藤島利興, 堀内威男 (安全管理課)
- (d) 議題 エチレン放射線重合開発試験装置の改造に係る安全性について

1.1.2 議事

第2開発室よりエチレン放射線重合開発試験装置の改造に伴い, 放射線障害防止法および高圧ガス取締法に基ずく許認可申請を行なうにあたり当専門部会による安全審査および疋田(東大)北川(横浜国大)両教授による技術指導の日程について説明があり了承された。

引続き同開発室より装置改造の概要および安全対策について説明があり, 次のような事項が審議され確認された。

(1) 高圧ガス設備について

(a) 高圧分離器のノズルについて

※ 高圧分離器等のノズルを新設または改造するが, 強度は計算で明らかのように十分であると認める。

(b) 高圧および中圧分離器の温度計保護管の内厚について

※ メーカーでは内圧による肉厚計算を行なっているが実際には外圧による肉厚計算を行わなければならない。しかし, 温度計保護管の場合, 外圧による肉厚計算式に適当なものが無いので実際にかかる圧力と許容される応力を比較してあるが, 強度は十分と認められる。

(c) 安全弁の設定圧力について

※ 安全弁の設定圧力は実験の遂行上, 常用圧力より若干高くしてあるが, これは装置の耐圧試験圧力の8割以下の圧力であり問題はない。また緊急放出弁による放圧も可能であり安全と認められる。

(d) ローターおよびバッファータンク(V-306)の緊急遮断弁設置について

※ 緊急遮断弁は法令上 5 m^3 以上の液化石油ガス貯槽について設けることになっている。バッファータンク(V-306)は 10 m^3 であるので設置してある。ローターは 4 m^3 であるので設置してないが, 法令上問題はない。

(2) プロセスの安全性について

(a) 反応媒体の圧力について

※ 反応媒体は反応媒体送込ポンプ(井205)により, $400\text{ kg/cm}^2\text{ G}$ に圧縮され反応

器に送入されるが改造前と変りはなく問題はない。

(b) メカニカルシール軸封液の圧送停止時について

※ メカニカルシール軸封液の圧送が停止した場合は、油圧トルクモーターも自動的に停止するようになっており、また、その他の機器にも影響がないので安全であると認められる。

(c) 酸素濃度異常時の運転措置について

※ 反応系内の酸素濃度および、反応媒体の溶存酸素濃度は連続的に測定し自動記録する。異常時に自動的に警報を発するような機構にはなっていないが、厳重な監視により直ちに運転を停止できるので安全であると認められる。

(d) パージによるエチレンガスの放出量および放出場所について

※ 放出量および放出場所は既設パージラインを使用するので、改造前ほとんど変りはなく安全であると認められる。

(3) その他

(a) 停止時の措置について

※ 停電した場合は非常電源がないので、電気設備全部が停止し、運転不可能となり、直ちにパージを行なうので安全と認められる。主要機器は電磁スイッチを使用しているので電再開時にも機器がすぐ作動することはない。

(4) 線源移動装置の安全性については資料の提出が遅れたので、次回の専門部会で審査することに決定した。

(5) 事務局により北川、疋田両先生による技術指導の結果は、部会に報告を行なう旨説明があり了承された。

1.2 第2回放射線安全審査専門部会議事録

1.2.1 議 題 等

(a) 日 時 昭和44年8月1日 9:30~12:00

(b) 場 所 原研高崎研究所第2会議室

(c) 出席者 大島裕之助(部会長)、岩下親、佐々木隆、宮永賢久、大道英樹

欠席者 阿部俊彦 (以上委員)

説明者 武久正昭、彦辺博正 (第2開発室)

事務局 卓地信也、藤島利興、堀内威男 (安全管理課)

(d) 議 題 エチレン放射線重合閉鎖試験装置の改造に係る安全性について

1.2.2 議 事

(1) 線源移動装置等について

第2開発室よりあらたに提出された線源移動装置等の資料について説明があり、次の事項について説明があり、確認された。

(a) 線源移動用ワイヤーロープの切断について

※ ワイヤーの引張強度は約1 tonである。線源の重量は約4 kgであり、また手動巻き上げによる荷重は約300~400 kgであるので切断することはないと認められる。

(b) ブーリーおよび線源とワイヤーの接合部について

※ ブーリーおよび線源とワイヤーの接合部についての図面はできていないが、ブーリーは

ワイヤーがはずれない構造で十分な強度をもたせ、また、線源とワイヤーとの接合部についても線源が移動中にははずれないような構造のものを照射施設課で設計発注するので安全性は確保されているものと考えられる。

(c) 線源の冷却について

- ※ 線源自体から発熱は小さいので冷却する必要はないと思われるが、冷却水は送水できるようになっているので問題はないと認められる。また、冷却水ホースの取付は線源を反応器に設置してからマニプレーターで行うので、線源吊上ワイヤーに対する影響はないと認められる。

(d) 線源の操作について

- ※ 線源挿入時において、線源と反応器内筒とのクリアランスは全体で5.4 mm であるので、中心がずれた場合等、反応器内筒への線源の挿入は困難であると思われる。

したがって、反応器内筒の線源挿入口にガイドを設置する等考慮する必要がある。

(e) 反応器からの線源の回収不可能時の措置について

- ※ 反応器内筒からの線源回収が万一、不可能な事態が生じた場合にはエチレンガス用パイプおよび反応媒体用パイプから水銀の送入を行い、反応器まわりの空間線量率を下げたのち、線源の回収を行なうので、万一の場合についても、線源の回収には問題はないと認められる。

引続き装置全般について次のような事項が審議され確認された。

(1) 高圧ガス設備について

(a) バルブについて

- ※ 大部分のものは既設バルブを転用するが、新設バルブについては既設バルブの仕様と同じであるので安全であると認められる。

(b) 反応器破裂板からのガス吹出量について

- ※ 新設パージラインの背圧の計算で、吹出しガスの温度を30℃として吹出量を求めているが実際のガス温度は不明である。しかし、吹出量を求める計算式でも明らかなように吹出量は温度にあまり依存しないので、吹出量はガス温度を30℃と仮定して計算してもそれほど背圧に影響しない。したがって新設パージラインは計算して明らかなように、強度上問題はない。

(2) プロセスの安全性について

(a) アセチレンの生成について

- ※ アセチレン生成の計算においてはポリマーの分子量を4万と仮定しているが、最大ポリマー生成量2 kg を得ようとする場合は、分子量は数十万とならなければならない。この点安全側で計算を行なっている。分子量が小さい場合は、それにほぼ比例して生成量も低下するのでアセチレン生成量の絶対値はほとんど変わらず、アセチレン濃度が2600 ppm をこえることはなく安全であると認められる。

(3) 防爆対策について

(a) エチレンガスのリークについて

- ※ 過去の運転でも運転開始前には毎回常用圧力(400 kg/cm² G)で窒素によるリークテ

ストを行っており、今後もこれを継続するので、リークは問題なく、安全であると認められる。

2. 足田強東大教授、北川徹三横浜国大教授による安全性検討要旨

2.1 東京大学足田教授御意見

2.1.1 日時等

- (a) 日時 昭和44年8月6日 13:45~15:45
- (b) 場所 東京大学足田教授居室
- (c) 出席者 武久正昭, 渡辺博正 (第2開発室)
卓地信也, 藤島利興 (安全管理課)

2.1.2 検討要旨

原研側からエチレン放射線重合開発試験装置の改造の概要ならびに安全対策について説明の後検討に移り、次のような御意見をいただいた。

(※印は原研側の説明または対策である)

(1) 高圧ガス設備の安全性について

(a) 既設配管等の腐蝕検査について

既設配管等の高圧ガス設備について腐蝕検査を行ない、エチレンガスリーク防止に十分な注意が必要である。

※ 配管等の高圧ガス設備の腐蝕検査はいままでも装置改造毎になってきたが、今回の改造でも既設配管等をサンプリングして検査を行なう。

ガスのリーク防止についても運転開始前に窒素によるリークテストを行ない、また運転中はガス検知器で連続的に検知しており、リークが認められれば直ちに緊急ガス放出装置によりバージする等の措置を講ずるので安全である。

(b) 安全弁等の作動試験について

安全弁等緊急ガス放出装置の作動試験を定期的に行なっているか、また過去の運転中緊急ガス放出装置が作動した例はあるか。

※ 安全弁、破裂板については年1回定期的に行なってきた。また、緊急放出弁は運転終了時度々使用している。なお、運転中緊急ガス放出装置(安全弁、破裂板)の作動した例はない。

(c) バージラインの放出口について

バージラインの放出口は避雷針から離して設置する必要があるが、設置場所に問題はないか

※ バージラインの放出口は既設放出口をそのまま使用する。避雷針までの距離は約15mあり安全である。

(2) プロセスの安全性について

(a) 分解爆発について

常用圧力(400 kg/cm² G)位ではエチレンの分解爆発はないと認められるが、配管が放射線重合物等により閉塞すると、断熱圧縮により温度が上昇し部分的にはあるが、分解反応が起こるので注意する必要がある。

※ 過去の運転経験では配管の閉塞はなかったが、もし、配管の閉塞により圧力の上昇があった場合は、安全弁等の緊急ガス放出装置の作動により直ちに常用圧力以外にもどすことができるので安全である。

(b) 圧力の制御について

エチレンガス圧送時のバッファータンク(V-306)の壁に対する耐圧と圧送開始時および停止時に於ける動圧について検討を行ない、資料中に入れたほうがよい。

※ バッファータンク(V-306)は通常 $20 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ で使用するが、設計圧力は $33 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ である。緊急時高圧系内のガス全量を回収しても圧力上昇分はたかだか 5 kg/cm^2 程度であり十分に安全である。

圧送開始時および圧送停止時におけるV-306に対する動圧は、V-306との送入管内径が 21.4 mm であり最大流入速度は 1 l/sec (コントロールバルブのオリフィス径できまる)で、線速はたかだか 2.8 m/sec であるので、動圧は十分小さく安全である。

(c) 温度制御について

定常時での反応熱の除熱については問題はないと認められるが、非定常時での温度上昇に対する除熱効果についても検討しておく必要がある。

※ 非定常時で温度勾配がある場合でも、計算結果によると最高温度はたかだか 100°C にしかならず、材料の強度への影響もなく、またエチレン分解爆発も起こらないと考えられるので安全である。

(3) 防爆対策

(a) 照射室内の既設炭酸ガス消火器について

炭酸ガス消火器の吹出速度があまり急速であると静電気が発生し、着火源となることがあるので検討する必要がある。

※ ^{60}Co 棟照射室内の炭酸ガス消火器の定期作動試験は行なっているが、吹出口の帯電については検討していない。早速実験を行い帯電が認められた場合には、炭酸ガス放出速度を調整するなど、帯電防止策を講ずる。

2.2 横浜国立大学 北川教授御意見

2.2.1 日時等

- (a) 日時 昭和44年8月12日 14:00~16:30
 (b) 場所 原子力産業会議室
 (c) 出席者 北川教授, 小木曾助手
 武久正昭, 渡辺博正 (第2開発室)
 大島裕之助 (放射線安全審査専門部会部会長)
 卓地信也 (安全管理課)

2.2.2 検討要旨

原研側からエチレン放射線重合開発試験装置の改造の概要ならびに安全対策について説明があり、本装置の安全性について次のような評価をいただいた。

(※印は原研側の説明または対策である)

(1) 高圧ガス設備の安全性について

高圧ガス設備としての安全性については最高使用圧力 $410 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ に対し、強度上特に問題はなく、安全性は確保されるものと確認された。

ただし、次の点に注意を要することが指摘された。

破裂板は直径 10 mm ステンレス製であるが、他の例から常用圧力以下で破裂する場合がありますので、比較的信用がおけない。十分注意を要する。

※ メーカーとも十分協議し、指摘された事項について配慮する。

なお、緊急放出装置が作動した場合、放出塔の周囲で、エチレンが高濃度になるおそれがあるのではないかとの御意見に対し、次の通り説明し了承された。

※ 実際にエチレンガスの放出実験を行ないガス検地管およびガスクロでエチレンガス濃度を測定した結果、エチレンの最大吹出量 10 kg/sec の場合で風力、風向、位置、時間等の諸条件が最も悪い条件下でもエチレンガス濃度の最大値は 0.36% で、爆発下限界濃度の約 $1/10$ であった。

(2) プロセスの安全性について

(a) 反応系内への酸素侵入の防止、アセチレンの蓄積等に対する安全性について検討された。

反応系内への酸素侵入防止ならびにアセチレンの高濃度蓄積の防止がなされれば、反応圧力 $400 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 反応温度 80°C 以下の条件下では分解爆発は起こらず安全であることが確認された。

(b) 圧力の制御、温度の制御、流量の制御について検討されたが、安全性は確保されるものと認められた。

(3) 防爆対策について

照射室内の防爆対策、防爆室内の防爆対策について検討されたが、安全性は確保されるものと認められた。

(4) 放射線安全対策について

線源移動装置の安全性、線源ケースの強度、仮想事故対策についても検討されたが、安全性は確保されるものと認められた。

以上