

T

SJ 3/2 79-01

本資料はH13年11月12日付けで登録区分
変更する。

[技術情報グループ]

B M I - 1 輸 送 物 安 全 解 析 書

原作成年月日:

動力か・核燃料開発事業団
新型転換炉開発本部

T
SJ319 79-01

O.I.



輸送物の要約

1. 輸送容器の型名 B M I - 1
2. 輸送物の型別 B () 型輸送容器
3. 輸送物の種別 放射性物質
4. 輸送指數 7.6 以下
5. 輸送物の最大総重量 約 1,0,800 kg (2,3,600 lbs)
6. 輸送容器の外寸法 直径 828 mm (33.37 in)
高さ 1832 mm (72.12 in)
7. 輸送容器の重量 約 1,0,000 kg (2,1,800 lbs)
8. 輸送容器の材質 内筒、外筒、積層外筒
蓋、蓋外板、底板 } ステンレス鋼
遮蔽体 鉛
インナーバスケット、サブバスケット
..... ステンレス鋼
架台、固縛装置など 軟鋼
9. 輸送容器に収納する
放射性物質の仕様
イ) 名 称 A T R 壓力管照射試験片
ロ) 最 大 重 量 約 9.6 kg
ハ) 最大放射能強度 1 0,0 8 8 C i
ニ) 最 大 発 热 量 2 9 W



10. 輸送形態	トラックによる陸上輸送および船による海上輸送
11. 冷却方法	自然冷却

目 次

イ章 輸送物の説明

A. 目的及び条件	イ - 1
B. 輸送容器	イ - 2
C. 輸送容器の収納物	イ - 10

ロ章 輸送物の安全設計

ロ章A. 構造解析	ロ-A-1
A.1 構造設計	ロ-A-1
A.1.1 概要	ロ-A-1
A.1.2 設計基準	ロ-A-1
A.2 重量及び重心	ロ-A-12
A.3 材料の機械的性質	ロ-A-13
A.4 輸送物の基準	ロ-A-16
A.4.1 化学的及び電気的反応	ロ-A-16
A.4.2 密封装置	ロ-A-17
A.4.3 吊上用具	ロ-A-18
A.4.4 固縛装置	ロ-A-24
A.5 通常時試験条件	ロ-A-28
A.5.1 热的試験	ロ-A-28
A.5.1.1 圧力及び温度の要約	ロ-A-28
A.5.1.2 热膨張	ロ-A-28
A.5.1.3 応力計算	ロ-A-34
A.5.1.4 許容応力との比較	ロ-A-39
A.5.1.5 低温強度	ロ-A-39
A.5.2 圧力	ロ-A-39
A.5.3 振動	ロ-A-39

A.5.4 水 噴 霧	ロ-A-40
A.5.5 自由落下	ロ-A-40
A.5.5.1 コーナー落下	ロ-A-40
A.5.6 貫 通	ロ-A-40
A.5.7 圧 縮	ロ-A-40
A.6 事故時条件	ロ-A-41
A.6.1 落下試験 I	ロ-A-41
A.6.1.1 垂直落下	ロ-A-42
A.6.1.2 水平落下	ロ-A-46
A.6.1.3 コーナー落下	ロ-A-50
A.6.1.4 傾斜落下	ロ-A-51
A.6.1.5 結果の要約と検討	ロ-A-52
A.6.2 落下試験 II	ロ-A-52
A.6.2.1 結果の要約と検討	ロ-A-53
A.6.3 热的試験	ロ-A-53
A.6.3.1 圧力及び温度の要約	ロ-A-53
A.6.3.2 热膨張	ロ-A-54
A.6.3.3 許容応力との比較	ロ-A-55
A.6.4 浸漬	ロ-A-56
A.6.5 破損の要約	ロ-A-61
A.7 特別形	ロ-A-61
A.8 放射性収納物	ロ-A-61
A.9 付属書類	ロ-A-62

ロ章B. 热 解 析	ロ-B-1
B.1 概 要	ロ-B-1
B.2 材料の热的性質	ロ-B-15
B.3 構成要素の仕様	ロ-B-19
B.4 通常時試験条件	ロ-B-20

B.4.1 熱解析モデル	ロ-B-20
B.4.1.1 形状モデル	ロ-B-20
B.4.1.2 試験モデル	ロ-B-22
B.4.2 最高温度	ロ-B-23
B.4.3 最低温度	ロ-B-27
B.4.4 最大内圧	ロ-B-30
B.4.5 最大熱応力	ロ-B-30
B.4.6 通常時条件下における輸送物 性能の総合的評価	ロ-B-31
B.5 事故時条件	ロ-B-33
B.5.1 热評価モデル	ロ-B-33
B.5.2 輸送物の評価条件	ロ-B-34
B.5.3 輸送物温度	ロ-B-35
B.5.4 最大内圧	ロ-B-37
B.5.5 最大熱応力	ロ-B-38
B.5.6 事故時条件下における輸送物の 性能の総合的評価	ロ-B-39
B.6 付属書類	ロ-B-41

ロ章C. 密封解析	ロ-C-1
C.1 密封装置	ロ-C-2
C.1.1 密封装置	ロ-C-2
C.1.2 密封装置の貫通部	ロ-C-2
C.1.3 パッキン及び溶接部	ロ-C-3
C.1.4 蓋	ロ-C-6
C.2 通常時条件	ロ-C-6
C.2.1 放射性物質の漏洩	ロ-C-6
C.2.2 密封装置の加圧	ロ-C-9
C.2.3 冷却材汚染	ロ-C-9

C.2.4 冷却材損失	ロ-C-9
C.3 事故時条件	ロ-C-9
C.3.1 核分裂生成ガス	ロ-C-9
C.3.2 収納物の漏洩	ロ-C-9
C.4 付属文書	ロ-C-12

ロ章D. 遮蔽解析	ロ-D-1
D.1 検討と結果	ロ-D-1
D.2 線源仕様	ロ-D-6
D.2.1 ガンマ線源	ロ-D-6
D.3 遮蔽計算	ロ-D-9
D.4 遮蔽評価	ロ-D-23
D.5 付属文書	ロ-D-27

ロ章F. 安全基準に対する適合性の評価	ロ-F-1
---------------------------	-------

ハ章 輸送容器の製作

ハ章A. 輸送容器の製作法	ハ-A-1
A.1 概要	ハ-A-1
A.2 材料の説明	ハ-A-2
A.3 溶接	ハ-A-3
A.4 遮蔽体の製作法	ハ-A-3
A.5 弁等の付属機器の製作方法	ハ-A-3
A.6 組立、その他の製作法	ハ-A-3

ハ章B. 試験検査方法等	ハ-B-1
B.1 材料検査	ハ-B-1
B.2 尺法検査	ハ-B-1
B.3 溶接検査	ハ-B-1

B.4	外観検査	ハ-B-1
B.5	構造及び耐圧検査	ハ-B-1
B.6	漏洩検査	ハ-B-2
B.7	構成機器の検査	ハ-B-2
B.8	遮蔽確認検査	ハ-B-2
B.9	熱検査	ハ-B-2

ハ章C. 輸送容器の製作スケジュール ハ-C-1

ハ章D. 品質管理 ハ-D-1

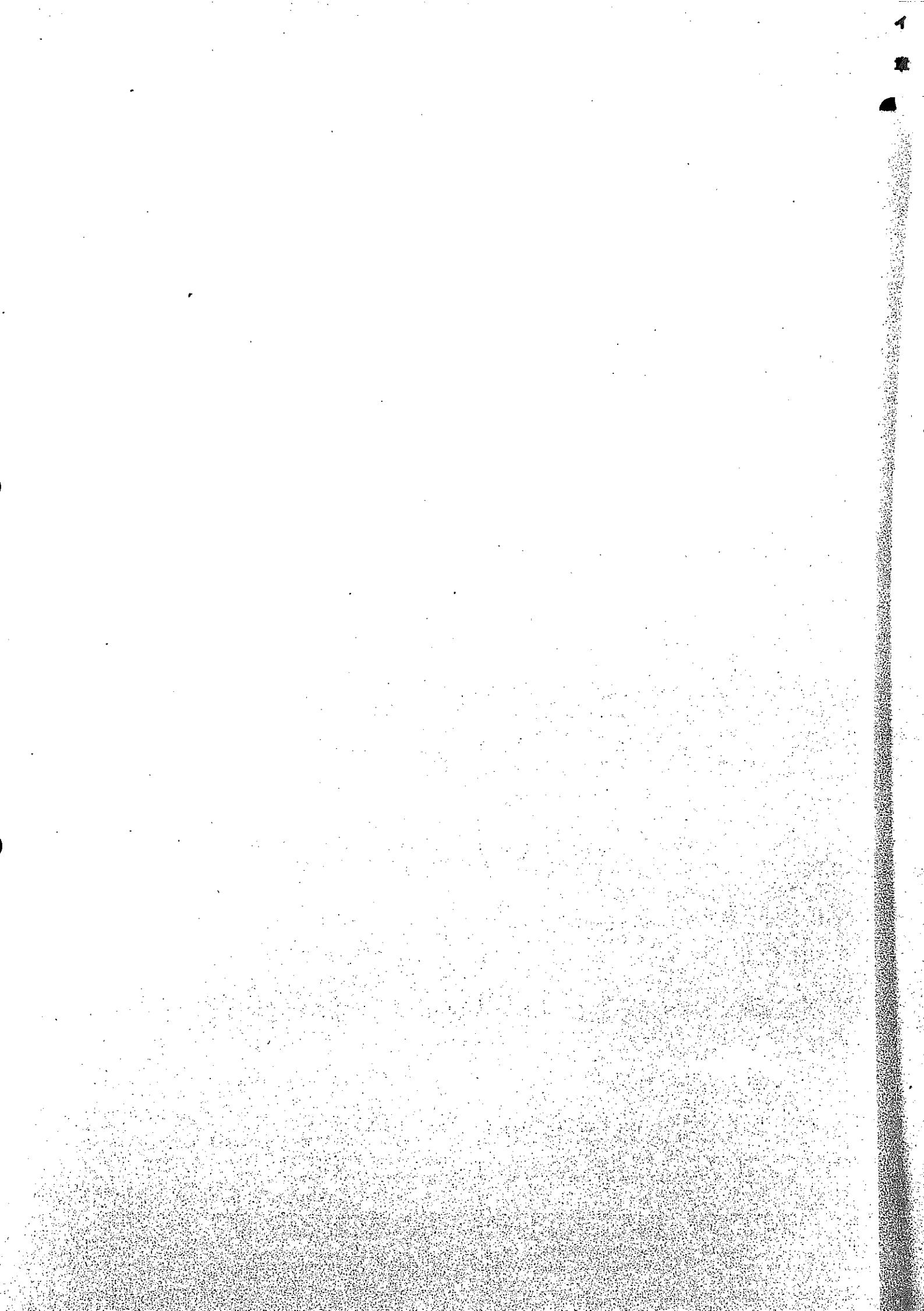
ニ章 輸送物の取扱い方法及び保守条件

ニ章A.	輸送物取扱い方法	ニ-A-1
A.1	装荷方法	ニ-A-1
A.2	取出し方法	ニ-A-4
A.3	空容器の準備	ニ-A-4
A.4	付属文書	ニ-A-4
A.5	受取検査Ⅰ	ニ-A-4
A.6	受取検査Ⅱ	ニ-A-4

ニ章B. 保守条件 ニ-B-1

B.1	構造及び耐圧検査	ニ-B-1
B.2	漏洩検査	ニ-B-1
B.3	補助系の保守	ニ-B-1
B.4	密封装置の弁、ガスケット等の保守	ニ-B-1
B.5	遮蔽検査	ニ-B-1
B.6	熱検査	ニ-B-1

ホ章 安全設計、安全輸送に関する特記事項 ホ-1



イ 章 輸 送 物 の 説 明

イ章 輸送物の説明

A. 目的および条件

- (1) 使用目的 ATR圧力管照射試験片を、JMT-Rより米国へ輸送する。
- (2) 輸送容器の型名 BMI-1
- (3) 輸送物の型別 B()型輸送物
- (4) 輸送物の種別 放射性物質
- (5) 輸送指數 7.6 以下
- (6) 輸送物の最大総重量 約10,800kg (23,600lbs)
- (7) 輸送容器の外寸法
直径 848mm (33.37in)
高さ 1832mm (72.12in)
- (8) 輸送容器の重量 約10,000kg (21,800lbs)
- (9) 輸送容器の材質
内筒、外筒、積層外筒
蓋、蓋外板、底板 } ステンレス鋼
遮蔽体 鉛
インナーパスケット、サブバスケット
..... ステンレス鋼
架台、固縛装置など 軟鋼
- (10) 輸送容器に収納する
放射性物質の仕様
イ) 名称 ATR圧力管照射試験片
ロ) 最大重量 約9.6kg
ハ) 最大放射能強度 10,038Ci
ニ) 最大発熱量 29W

B. 輸送容器

(1) 設計

(a) 設計の概要

イ-図B.1は、容器の全体図を示す。

イ-図B.2は、容器の垂直断面図を示し、イ-図B.3は、容器の水平断面図を示す。

イ-図B.4は、輸送容器荷姿図を示す。輸送容器はイ-図B.4に示すように、縦置きの状態で輸送され、発送側および受取側においても、同様に縦置きの状態で、輸送容器の上部から、収納物の出し入れをする。

また、輸送容器の取扱いは、容器に取り付けられたトラニオンにより行なわれる。

図に示すように、輸送容器は多層円筒形状であり、重量が約10,000 kg (21,800 lbs)で、トラニオンを含む最大外形は、直径が1,502 mm (59.12 in)で、高さが1981 mm (78 in)である。

容器は、1,829 mm (6 ft) × 2,438 mm (8 ft) × 178 mm (7 in)の鋼製架台上に取付けられる。この架台は、容器の重量を床に均等に分散させることと、輸送中に輸送物を安定させることに役立つ。

4組のタイロッドは、直径38.1 mm (1.5 in)で、ターンバックルにより、長さを調整できるようになっており、架台端部と容器中央部の間を固縛している。

更に8組の直径25.4 mm (1.0 in)のボルトが、容器を架台に固定しているが、架台と容器の間で、ボルトを剪断しないために、バンパープロックを用いている。

19.1 mm (0.75 in)厚さのステンレス鋼板が、容器胴体と架台台板との間に、本体台板としてあり、同様のバンパープロックで架台台板に固定される。

これは荷降し用に使用されると共に、その積層効果により、耐火試験時の底部からの入熱を防ぐ目的にも使用される。その効果は、容器本体円筒部の積層効果よりも大である。

基本的な容器寸法は、 848mm (33.37in) の直径で $1,832\text{mm}$ (72.12in) の高さであり、その形状は、ステンレス鋼製の同心3重円筒から成るが、円環部分は、鉛が充填されている。

外筒は、 12.7mm (0.5in) の厚さのステンレス鋼板で、その外側に 1.52mm (0.06in) 離れて $3,05\text{mm}$ (0.12in) の積層外筒があるが、容器の端部および貫通部に溶接された上、更に約 203mm (8in) 間隔にスポット溶接されている。

内筒は、 6.35mm (0.25in) 厚さのステンレス鋼板で、 394mm (15.5in) の内径と 1372mm (54in) の高さである。この上面に、蓋の形状に合せて、約 471mm (18.5in) の直径の約 203mm (8in) の高さの円錐空間部がある。

容器上部は、 19.1mm (0.75in) の厚さのステンレス鋼板で内筒および外筒などに、溶接されている。

鉛遮蔽は、円筒部は 203mm (8.0in) 、上部は 197mm (7.75in) 、底部は 191mm (7.5in) の厚さがあり、省令に合致している。

鉛の膨張部は、容器底部の外円周部に設けてある。

ドレン配管は、内筒底部中央に接続され、他端は底部より約 140mm (5.5in) 上の外筒部に接続される。

ステンレス鋼製ニードル弁が、ドレン配管の密封を構成する。更に、密封を確実にするために、ニードル弁には、プラグがしてある。この弁は外筒に設けた 12.7mm (0.5in) の厚さの弁箱により機械的な破損を防ぐようになっている。

安全栓（特許番号 3,466,444）が、容器壁と蓋に溶接されているが、これは、鉛充填部に水が入った場合、または、耐火試験以上の大規模な火災にさらされた時の安全性を保つためのものである。

容器を車両に固定するために、金具を容器上端に溶接してあるが、これは 2G の各方向荷重に耐えるよう設計され、省令に合致している。

容器上部には、12本のステンレス鋼製のスタッドが、直径 594mm

(2 3 . 3 7 i n) のピッチ円周上に溶接され、蓋を固定する。

また、同ピッチ円周上に、2本のガイドピンが取付けられ、組立てに便利なようにしている。これらを イ-図B.5 に示した。

容器上部と内筒の接続部の円周部は、円錐状に機械加工され、シリコンラバー製O-リングの溝として使われ、内筒上部の密封境界となっている。これを、イ-図B.6 に示した。

蓋は、668 mm (26.3 i n) の直径で、254 mm (10 i n) の厚さである。その側面は、内筒上部に合うようになっており、側壁は9.53 mm (0.375 i n) の厚さ、底は19.1 mm (0.75 i n) の厚さのステンレス鋼板である。蓋板は、28.6 mm (1.125 i n) のステンレス鋼板であり、上面には断熱のための、蓋外板がある。蓋外板は、3.05 mm (0.12 i n) の厚さのステンレス鋼板であり、その外周と蓋吊具などの貫通部は全て蓋板に溶接され、汚染が内部に侵入しないようになっている。

蓋吊具は、2板の6.35 mm (0.25 i n) の厚さのステンレス鋼板である。蓋の鉛充填部は、197 mm (7.75 i n) の厚さがあり、9.40 mm (0.37 i n) の空間が鉛充填部と蓋板の間にある。これを、イ-図B.7 に示した。

トラニオシは、直径89 mm (3.5 i n) であり、容器側面の上部に取付けられている。この位置であれば、トラニオンが、事故時に容器を貫通することはない。これを、イ-図B.8 に示した。

本容器は、圧力計、安全弁、ベントバルブを容器上部に設けてあるが、ドレンバルブと同様に、12.7 mm (0.50 i n) の厚さのステンレス鋼製の弁箱により保護されている。

インナーバスケットを、イ-図B.9 に、また、サブバスケットを、イ-図B.10 に示した。

インナーバスケットは、その収納筒に収納物を収納するが、収納物の落下時の荷重等に耐えるようになっている。また、サブバスケットは収納物の長さが収納筒より短いもののため、輸送中の移動などを防ぐために

バスケットに挿入するものである。

上記インナーバスケットに収納物を収納した後、ドレンバルブより排水し、乾燥状態で輸送を行なう。

イー図B. 6に示すように輸送容器の密封境界は、内筒、蓋、同O-リング、ニードル弁、安全弁、圧力計で構成されている。

表面汚染の観点から、容器下部には近接防止金網をもうけている。これをイー図B. 11に示した。

(b) 構造設計

内筒内設計圧力は、 7 kg/cm^2 (100 psi)、同温度は 160°C (320°F)として解析し、充分な余裕率を有している。

また、落下試験についても、通常時及び事故時において充分な強度を有している。

吊り上げ装置は、吊り上げ重量の3倍の荷重に対しても充分耐え、固縛装置は、 2 G の各方向荷重に耐える。

(c) 熱設計

1.5 kWの最大崩壊熱の下で、耐火試験を行う。鉛が溶融し、鉛遮蔽が最大 41.9 mm (1.65 in) 減少するが、容器に有意な破損を生ぜず、かつ鉛溶融後の線量率も省令に合致している。また、その際の圧力、温度により構造解析などを行っている。なお、最大崩壊熱 29 W の際の日陰における表面温度は、 40°C であり、同様に省令を満足している。

(d) 密封設計

輸送容器、蓋のO-リング、ドレン弁、ペント弁などにより密封されるものとしている。なお、本容器の密封性能は通常時 $1.7 \times 10^{-7} \text{ Ci/W}$ であり、事故時 $1.05 \times 10^{-5} \text{ Ci/W}$ であるので省令に合致している。

(e) 遮蔽解析

通常輸送時及び通常時条件下において表面で $6\ 4.4\ m\ rem/h$ 、 $1\ m$ 離れた位置で $7.5\ 1\ m\ rem/h$ 以下である。

また、事故時条件下の落下試験において垂直(蓋部及び底部)水平及びコーナ落下の際、それぞれ約 $37\ mm$ 、約 $39\ mm$ 、約 $49\ mm$ 及び $115\ mm$ の鉛厚さの減少になるが、これだけ遮蔽厚さが減少しても、表面より $1\ m$ 離れた点で、最大 $7.8\ 4\ m\ rem/h$ 以下である。

したがって、省令に合致している。

上記の理由により、輸送指数は 7.6 となる。

(2) 材 質

(a) 本 体

イ) 内 筒	ステンレス鋼
ロ) 内 筒 底 板	"
ハ) 上 部 端 板	"
ニ) 外 筒	"
ホ) 外 筒 底 板	"
ヘ) 遮 蔽 体	鉛
ト) ト ラ ニ オ ン	ステンレス鋼
チ) 弁	"
リ) 積 層 外 筒	"
ヌ) 蓋取付ボルト	高張力鋼

(b) 蓋

イ) 蓋 板	ステンレス鋼
ロ) 底 板	"
ハ) 側 板	"
ニ) 蓋 外 板	"
ホ) O - リ ン グ	シリコンラバー

ヘ) 遮蔽体 鉛

(c) 架台及び固縛装置	軟 鋼
(d) インナーバスケット	ステンレス鋼
(e) サブバスケット	ステンレス鋼
(f) 近接防止金網	軟 鋼
(g) ヨーク	ステンレス鋼

(3) 寸法

(a) 本体	参考図
イ) 内筒内径	394mm(15.5in)
長さ	1,372mm(54.0in)
板厚	6.35mm(0.25in)
ロ) 外筒外径	848mm(33.37in)
長さ	1,832mm(72.12in)
板厚	12.7mm(0.50in)
ハ) 鉛厚さ	203mm(8.0in)
二) 底部内筒板厚	19.1mm(0.75in)
外筒板厚	25.4mm(1.0in)
鉛厚さ	191mm(7.5in)
ホ) 積層外筒外径	859mm(33.8in)
"板厚	3.05mm(0.12in)
(b) 蓋	イ-図B.7
イ) 蓋板外径	668mm(26.3in)
厚さ	28.6mm(1.125in)
ロ) 蓋外板厚さ	9.53mm(0.375in)

ハ) 鉛 厚 さ 197mm(7.75 in)

(c) インナーバスケット

イー図B.9

イ) 全 長 1,359.5mm

ロ) 支持板外径 386 mm

厚 さ 25 mm

(d) 架台、固縛装置及び近接防止金網

イ) 架 台 長 さ 2438mm(8 ft)

イー図B.2

巾 1829mm(6 ft)

高 さ 178mm(7 in)

ロ) 固縛タイロッド直径 38.1mm(1.5 in)

イー図B.4

ハ) 近接防止金網

イー図B.11

巾 1829mm(6 ft)

長 さ 2438mm(8 ft)

(e) サブバスケット

イー図B.10

全 長 1052mm

外 径 60.5mm

(f) ヨ 一 ク

イー図B.12

巾 1,308mm(48 in)

高 さ 1,219mm(51.5 in)

(4) 重 量

- (a) 本 体 約 8,750 kg (19,200 lbs)
- (b) 蓋 約 550 kg (1,200 lbs)
- (c) 架台固縛装置及び
近接防止金網 約 900 kg (1,800 lbs)
- (d) 収納物 (収納可能重量) 約 620 kg (1,400 lbs)
(バスケットなどを含む)
- （実 重 量） 収納物実重量 約 96 kg
バスケットなど 約 110 kg
- (e) ヨ ー ク 約 150 kg (330 lbs)
- (f) 輸送総重量 (最大)
[(a)+(b)+(c)+(d)+(e)] 約 1,080 kg (2,360 lbs)
- (g) 吊上げ総重量 (最大)
[(a)+(b)+(d)+(e)] 約 1,000 kg (2,180 lbs)

C . 輸送容器の収納物

本輸送容器の収納物は、 A T R 壓力管の照射試験片である。

本試験片は、カプセルに入れ、さらにスペシメンホルダーに格納するか、また、直接スペシメンホルダーに収納する。

収納物 6 9 M - 1 9 P 及び 2 0 P は、疲労試験片数個を 3 6.5 mm の直径の 1 2 0 mm 長さのカプセルに組込み、さらに、このカプセル 5 個を直径 4 0 mm の長さ 1,0 3 4 mm のスペシメンホルダーに収納する。これを イ-図 C . 1 に示した。

収納物 7 0 M - 4 3 P 、 4 4 P 、 4 5 P 、 4 6 P および 7 4 M - 2 6 P は、バースト試験片を、スペシメンホルダーに収納する。これを イ-図 C . 2 に示した。

収納物 7 0 LM - 8 P - I および 7 4 LM - 1 2 P は、腐食、引張り、曲げ、バースト試験片などから構成されているが、サブバスケットに格納したのち、インナーバスケットに収納される。これを イ-図 C . 3 に示した。

各ホルダーは、インナーバスケットの各収納筒に収納され、輸送される。
イ-図 B . 9 はインナーバスケットを示す。

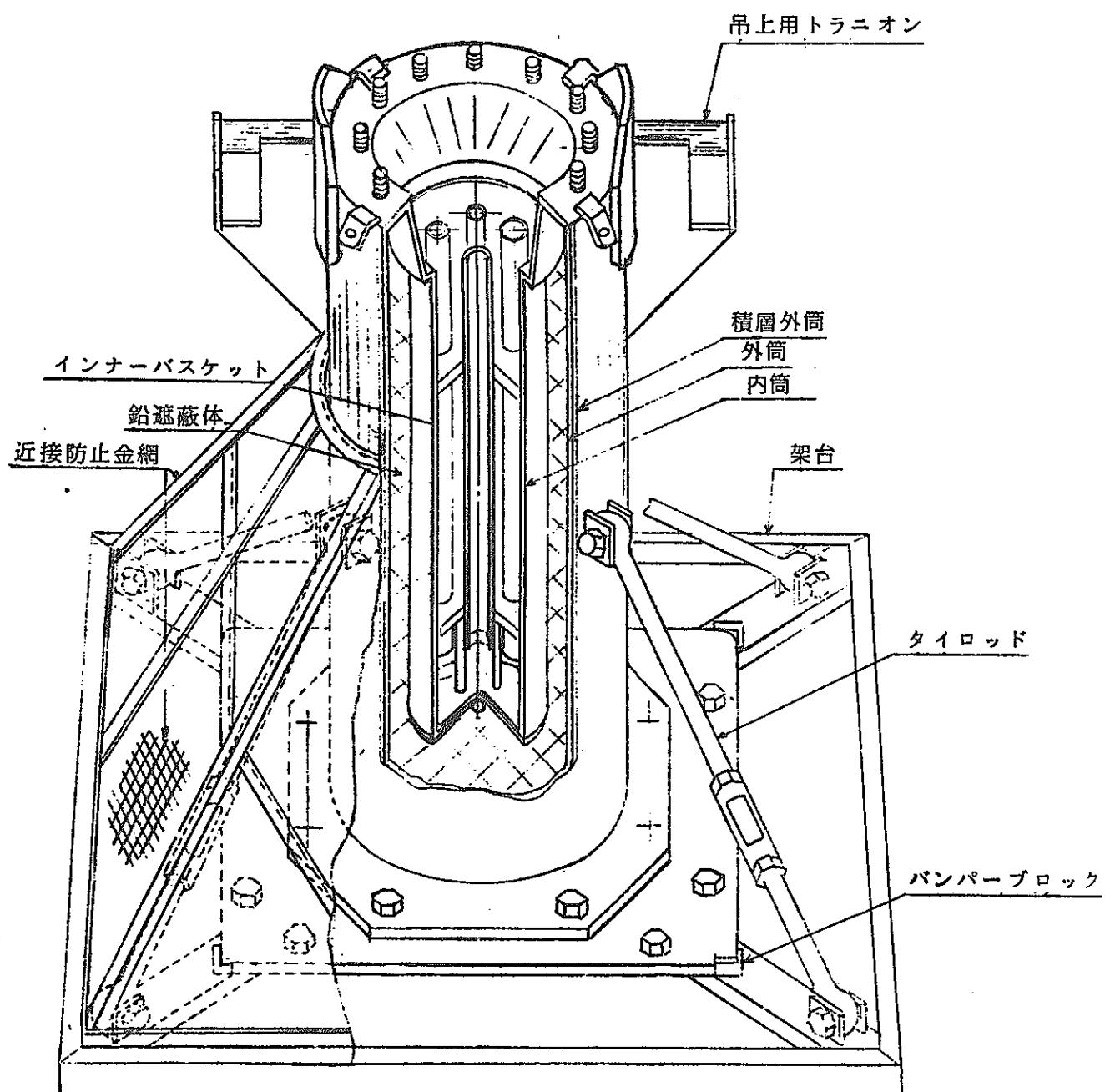
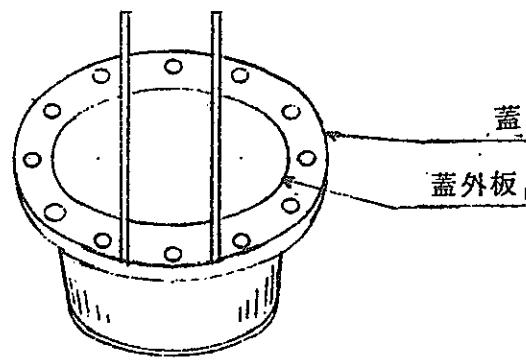
イ-表 C . 1 は、収納物の一覧表であり、本収納物の中性子照射履歴を イ-表 C . 2 に示した。

イー表C . 1 収納物一覧表

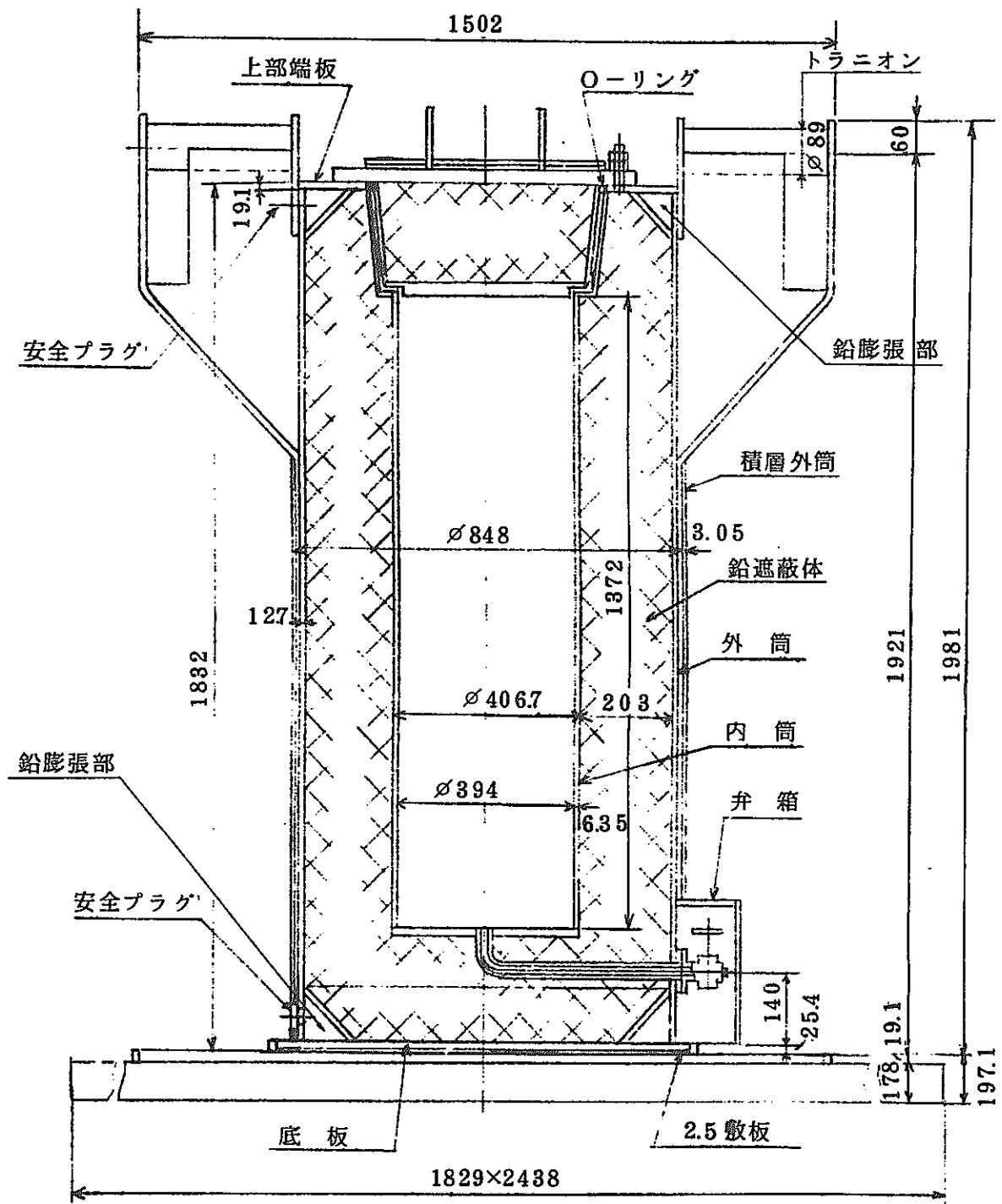
仕様 収納物名称	放射能強度 Ci	発熱量 W	試験目的	重量 約 kg	備考
69M - 19P	330	0.462	疲労	6.0	カプセル、スペシメンホルダー付き
69M - 20P	338	0.474		6.0	
70M - 43P	327	0.467		13.0	
70M - 44P	327	0.467		13.0	
70M - 45P	571	0.83	バースト	13.0	スペシメンホルダー付き
70M - 46P	1056	1.56		13.0	
74M - 26P	4237	18.7		13.0	
70LM- 8P-II	1044	1.54	腐食、引張り 曲げ、バースト	9.3	カプセル、スペシメンホルダー付き
74LM- 12P	1088	4.38		9.3	
小計	10,038	28.88		約95.6	

イ-表C.2 収納物の照射履歴

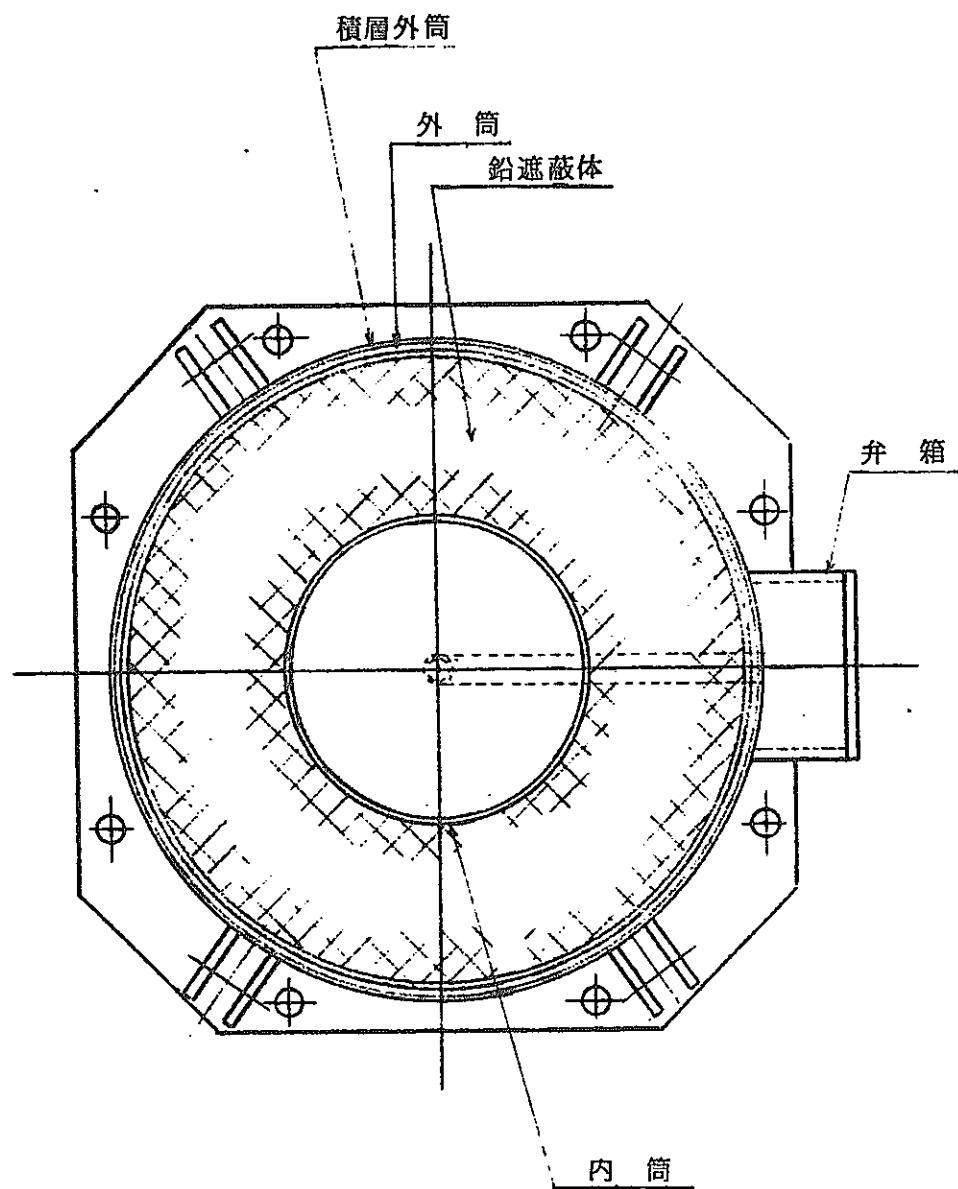
収納物名称 履歴	1 Mev以上の中性子の照射量			
	平 均		最 大	
69M-19P	7.5448	$\times 10^{20}$	9.9585	$\times 10^{20}$
69M-20P	7.8518	$\times 10^{20}$	1.0364	$\times 10^{21}$
70M-43P	7.6406	$\times 10^{20}$	1.0008	$\times 10^{21}$
70M-44P	7.3173	$\times 10^{20}$	9.6589	$\times 10^{20}$
70M-45P	8.8719	$\times 10^{20}$	1.1051	$\times 10^{21}$
70M-46P	5.3102	$\times 10^{20}$	7.0095	$\times 10^{20}$
74M-26P	3.7749	$\times 10^{20}$	4.9829	$\times 10^{20}$
70LM-8P-■	5.6308	$\times 10^{19}$	7.4327	$\times 10^{19}$
74LM-12P	7.6305	$\times 10^{19}$	1.0072	$\times 10^{20}$



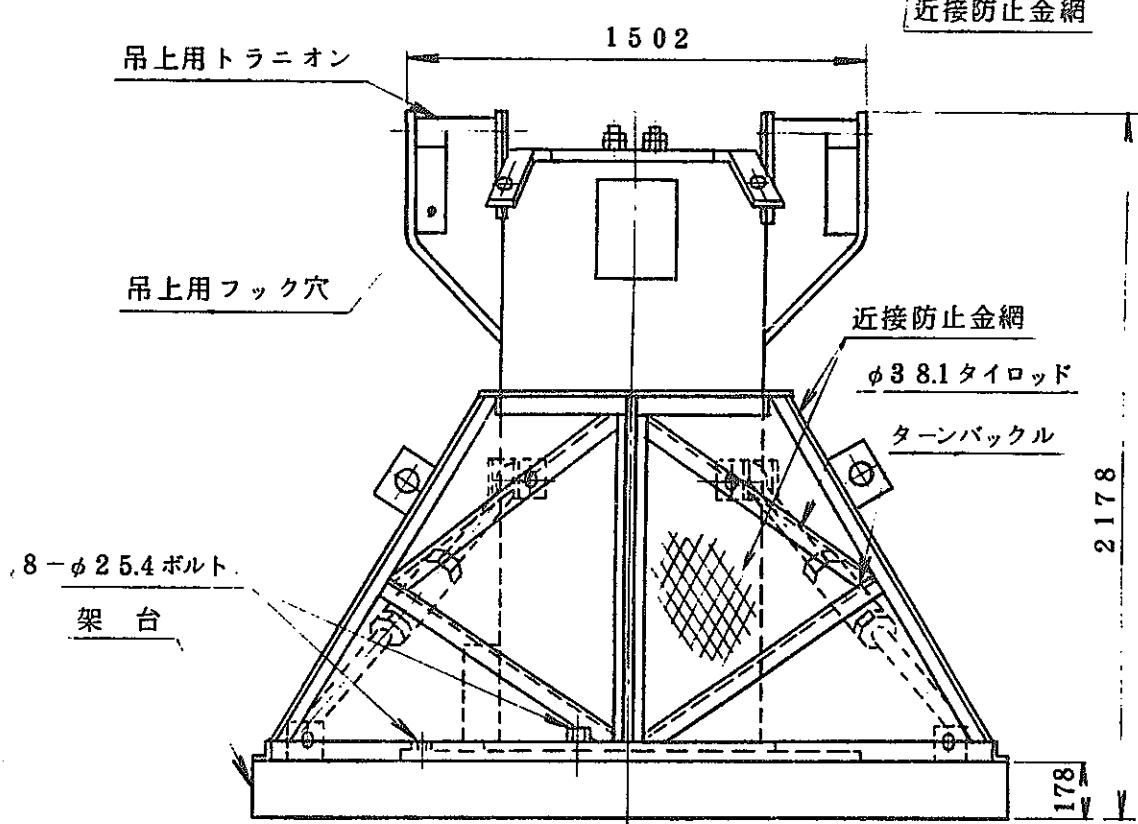
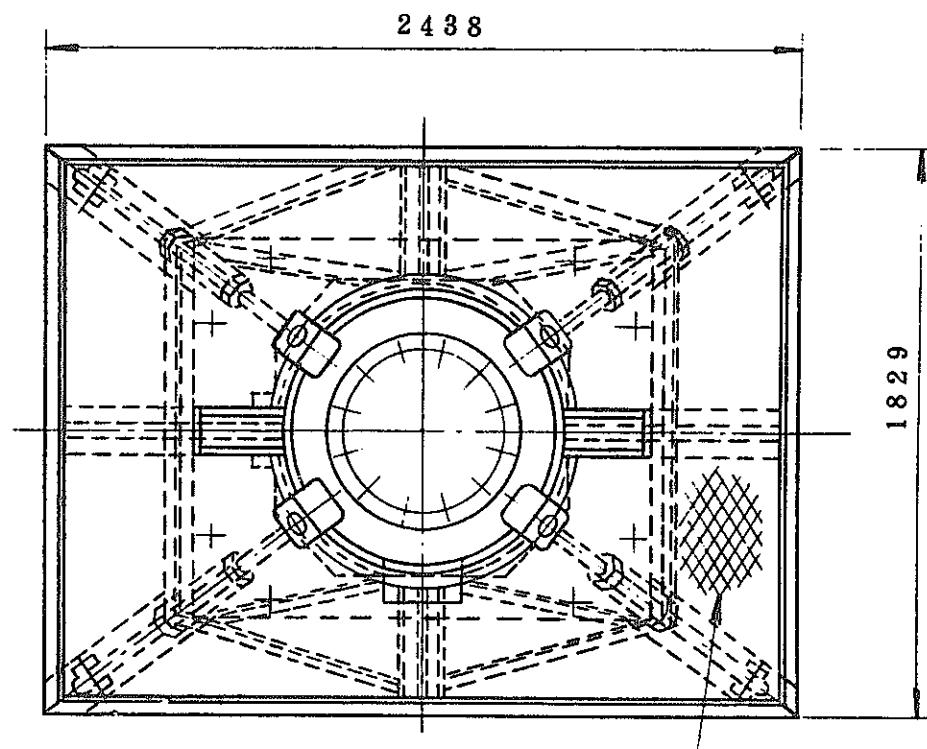
イ-図B.1 BM 1-1 輸送容器全体図



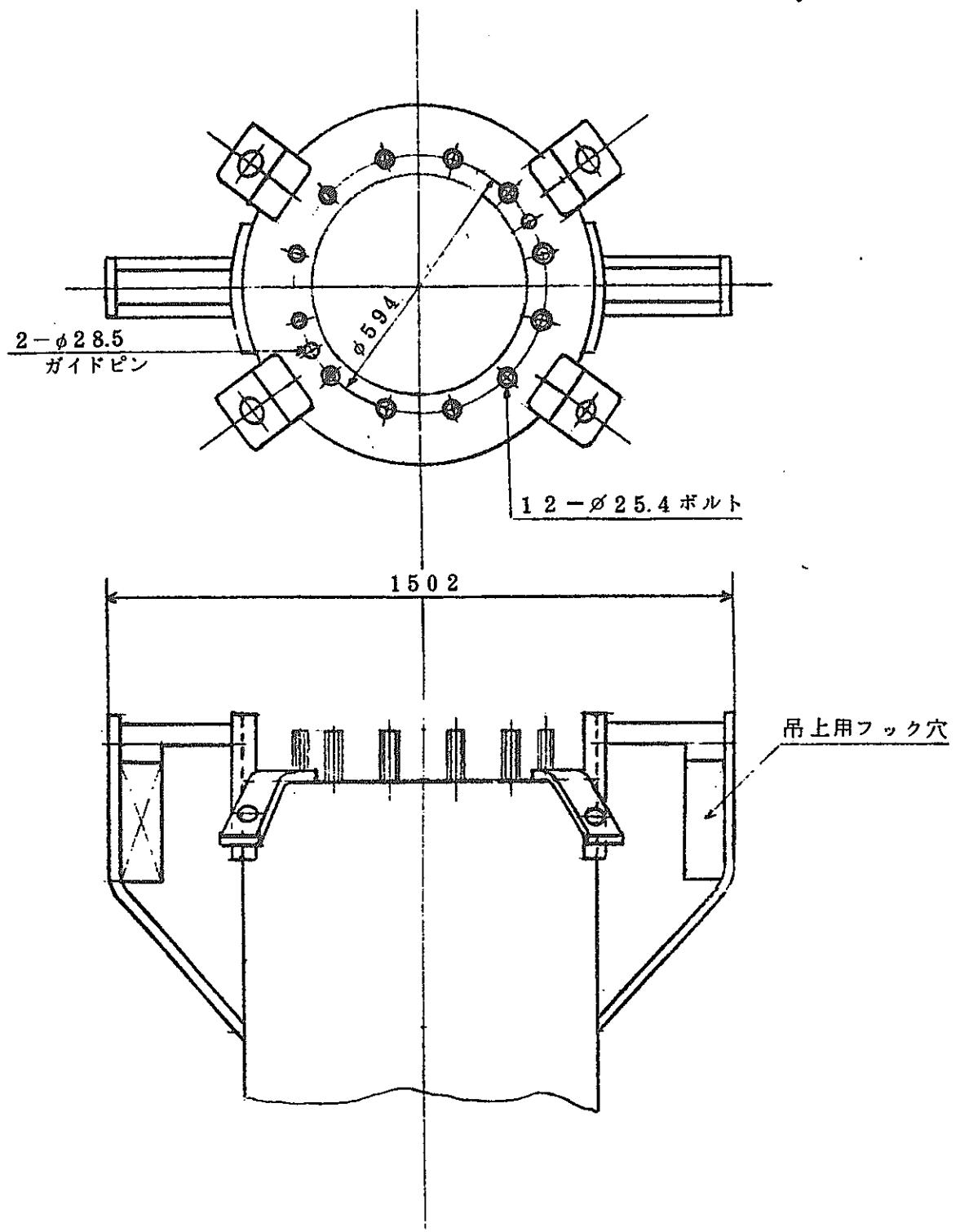
イ-図 B. 2 BM1-1 輸送容器垂直断面図



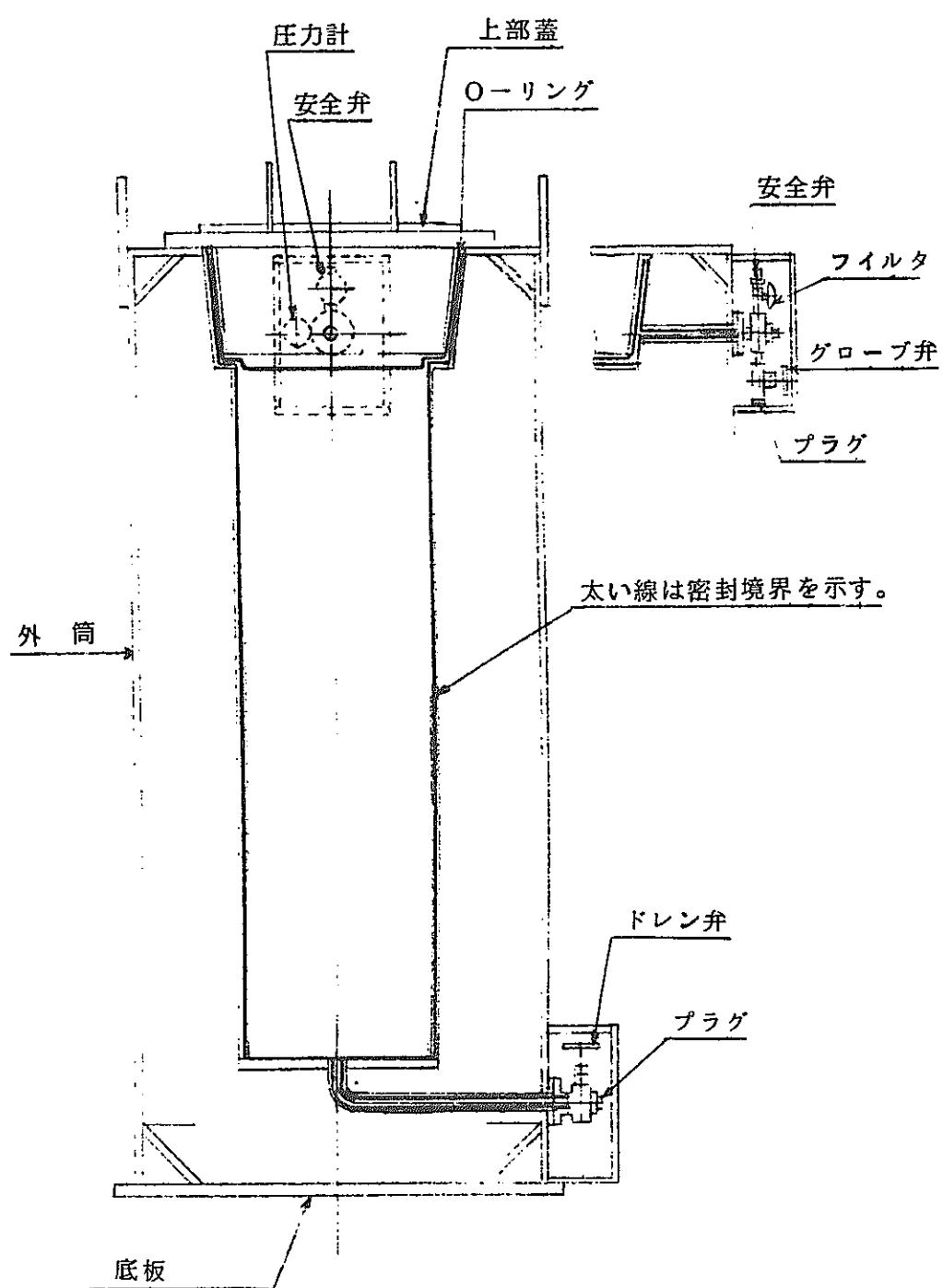
イ-図B.3 BM1-1輸送容器水平断面図



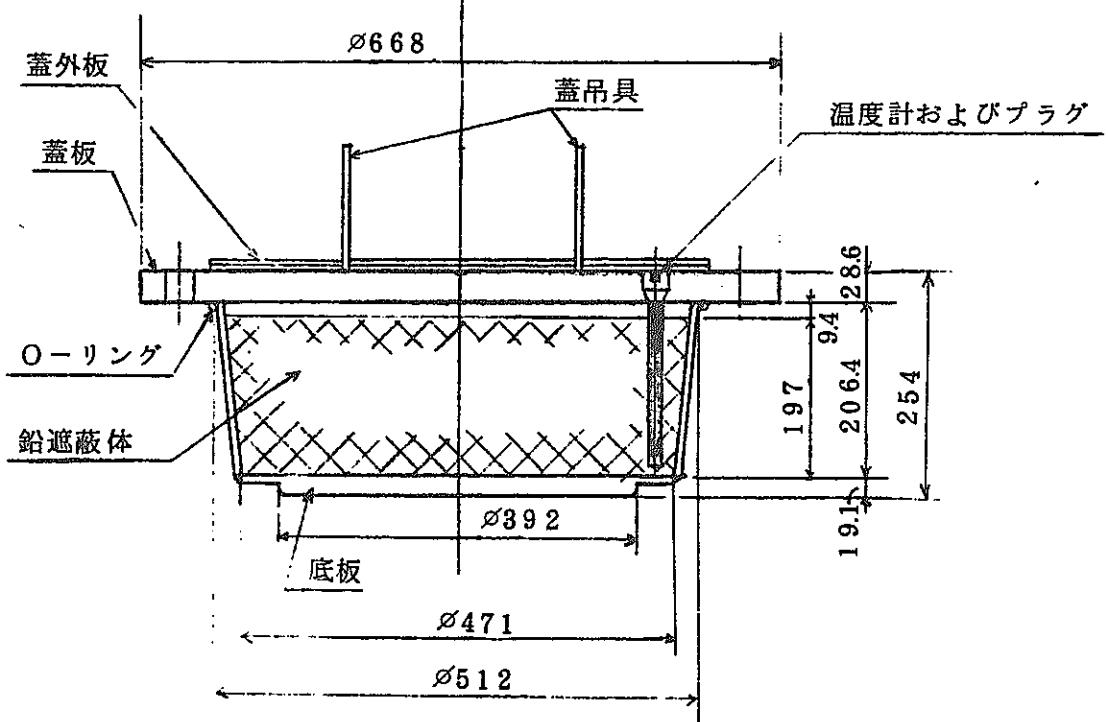
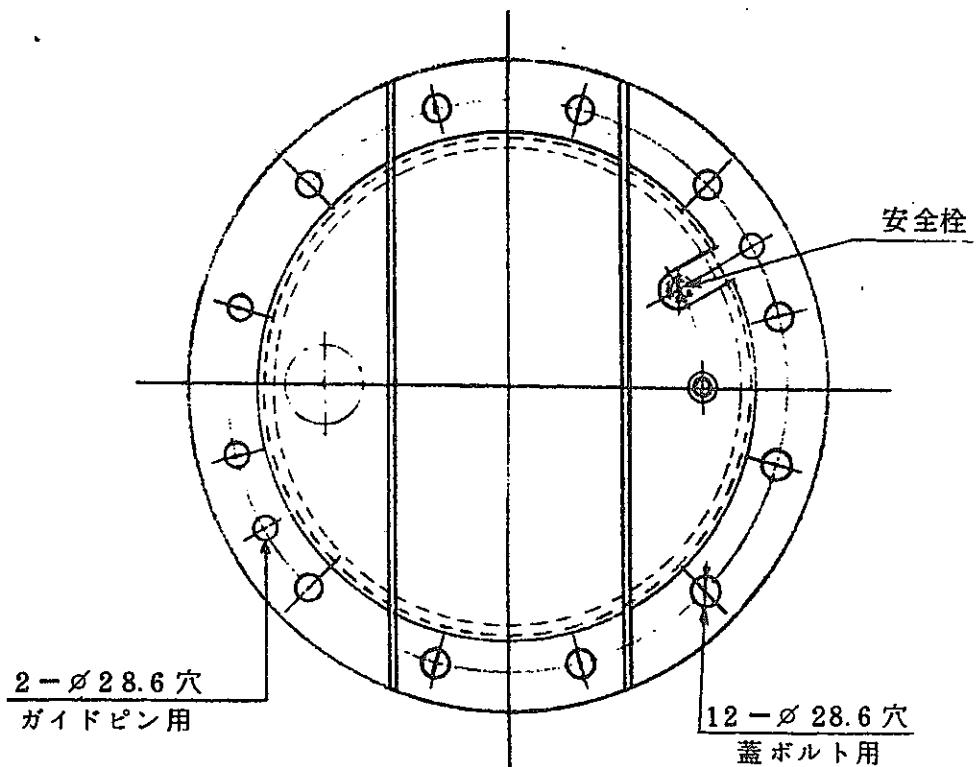
イ一図B.4 BM1-1輸送容器荷姿図



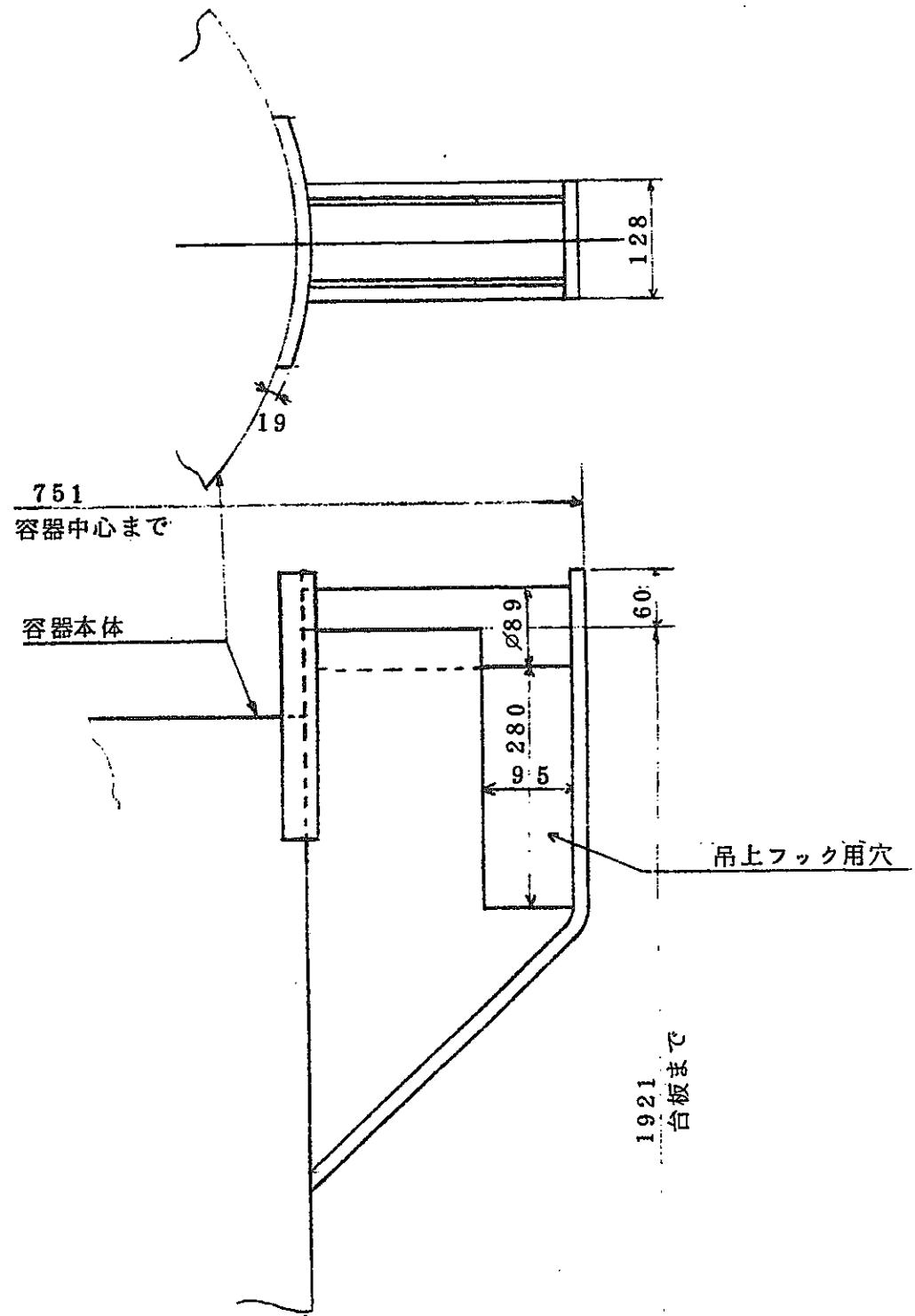
イ-図 B. 5 BM1-1 輸送容器上部本体



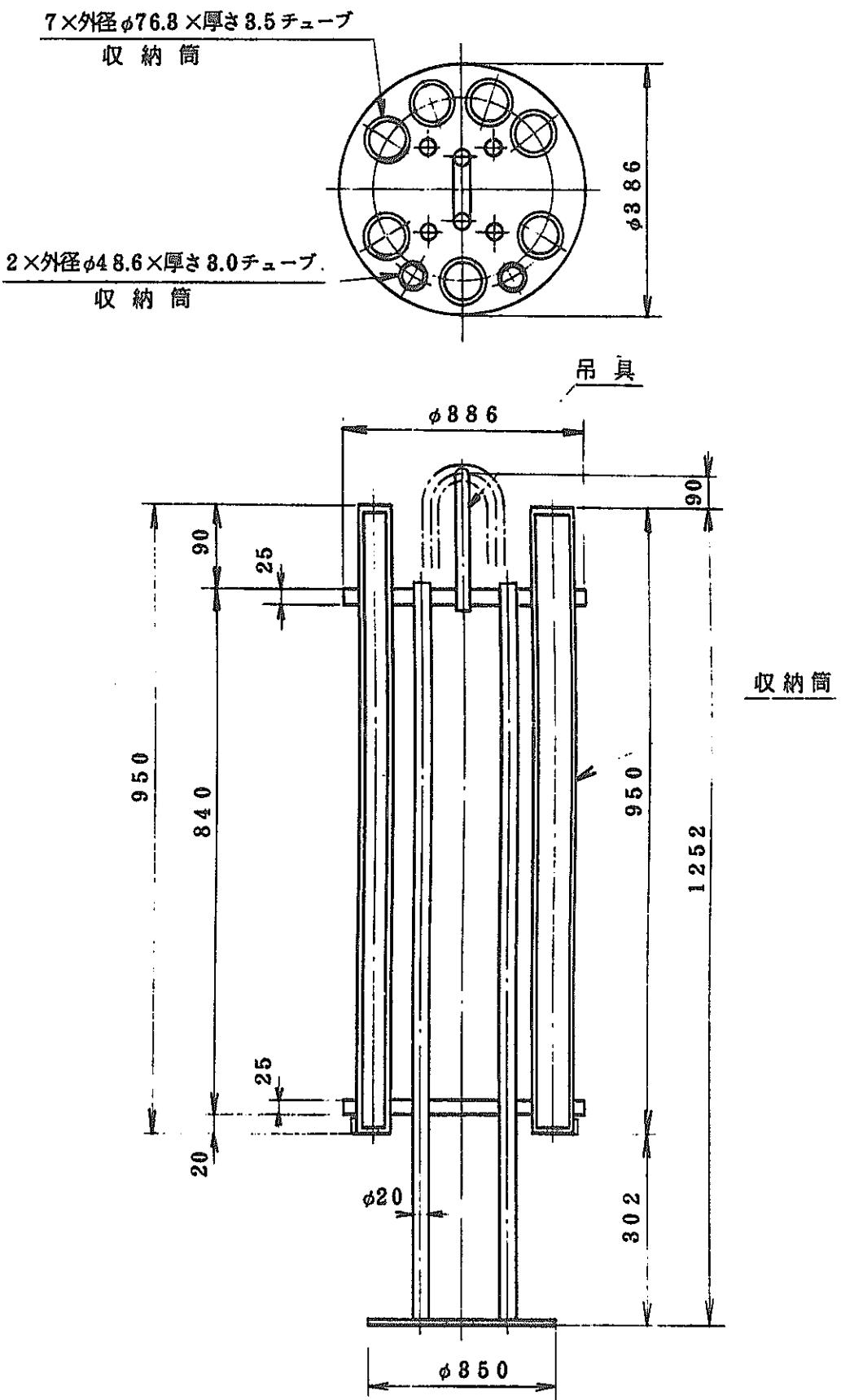
イ-図 B. 6 BM 1 - 1 輸送容器密封境界



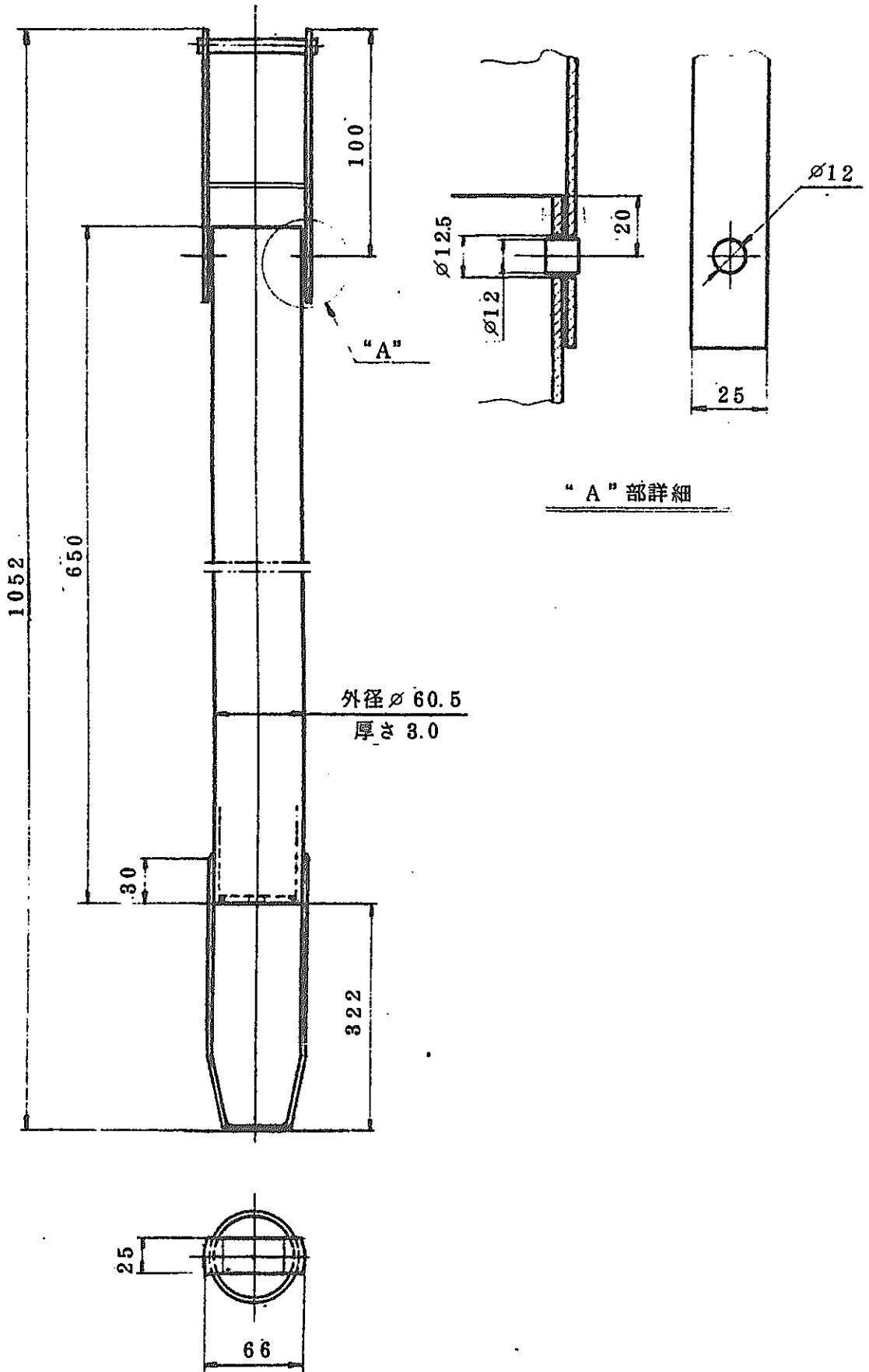
イ - 図 B. 7 BM1-1 輸送容器 蓋



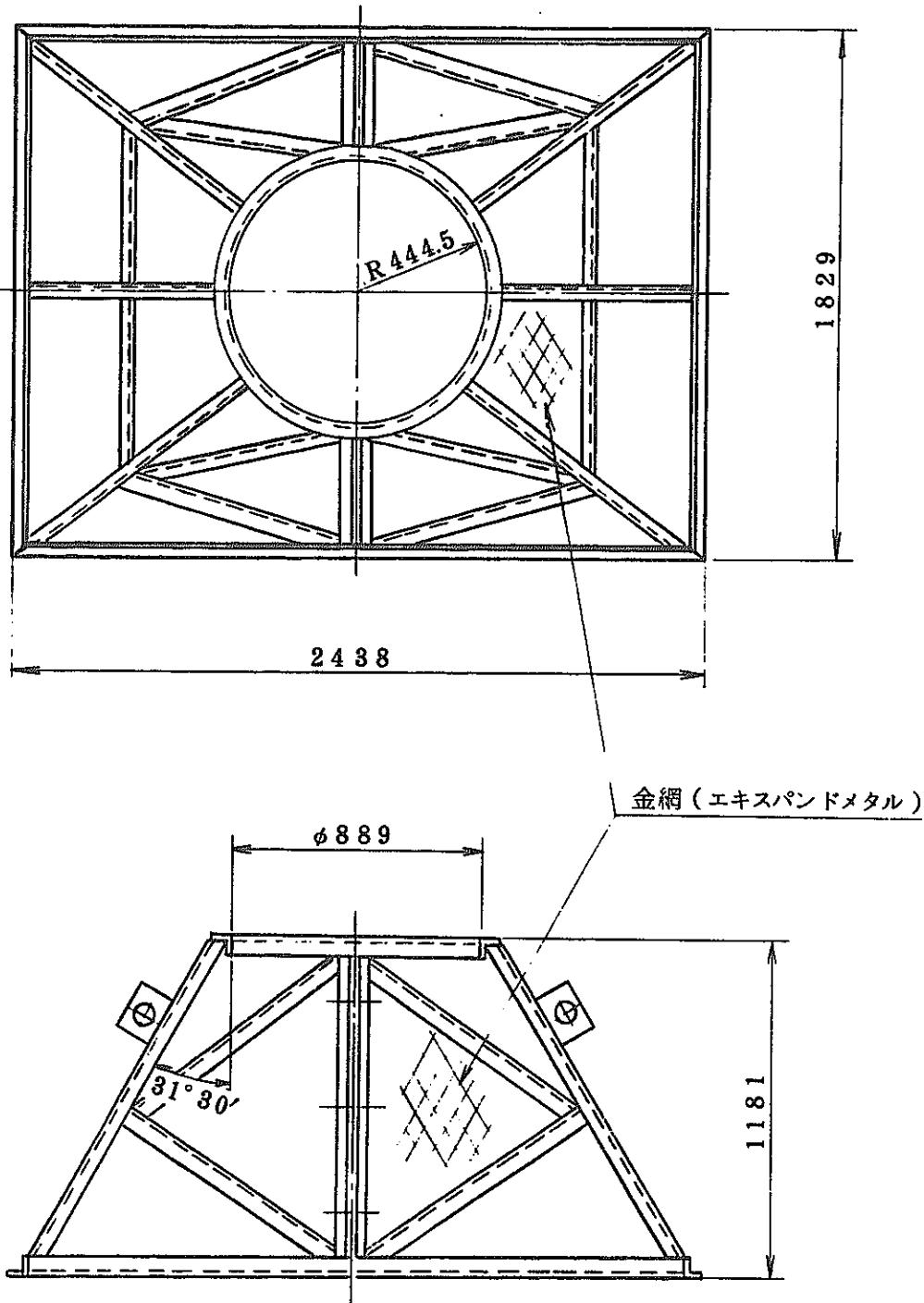
イ-図B.8 BM1-1輸送容器トランイオン



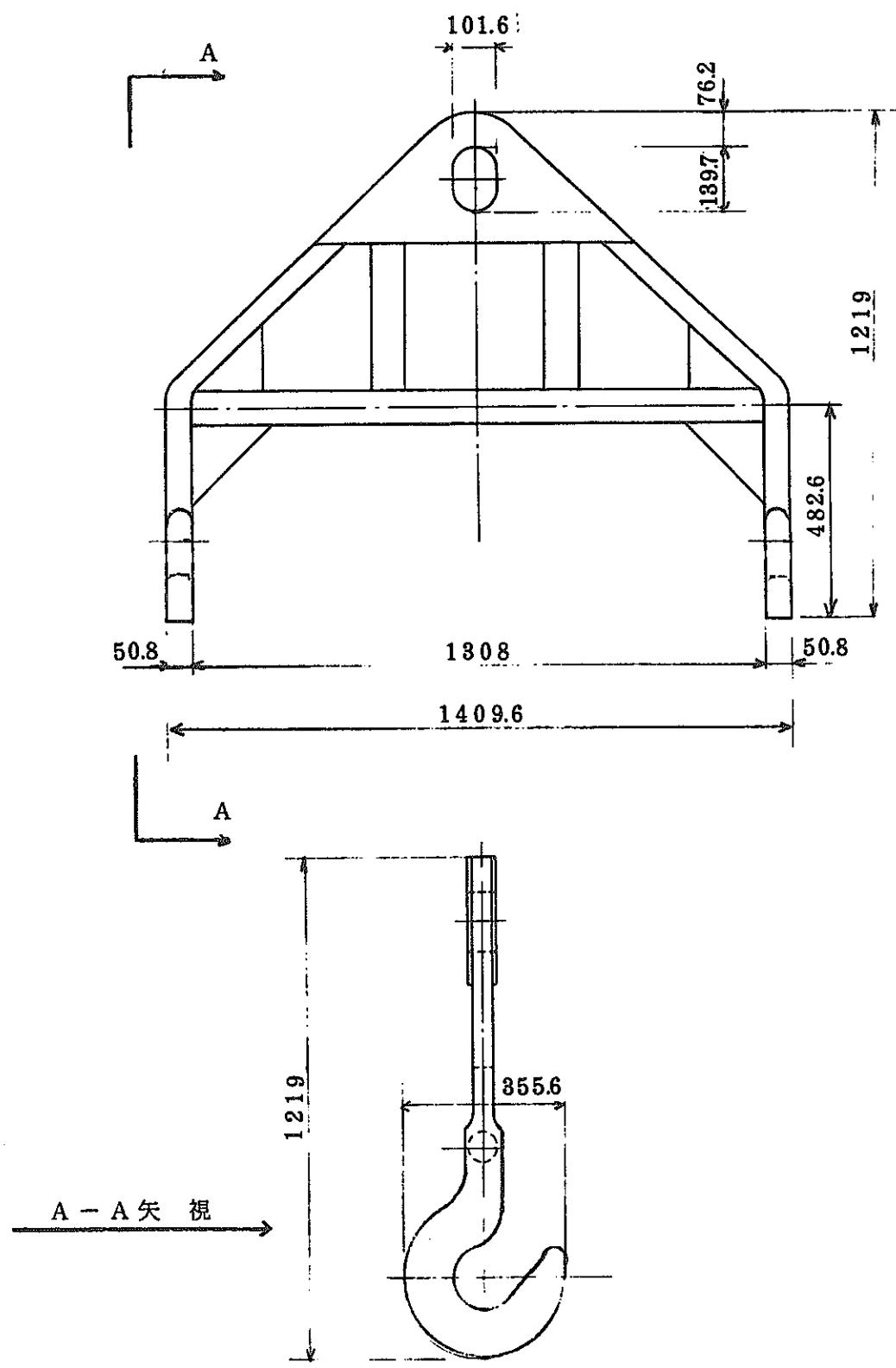
イー図B.9 インナーバスケット



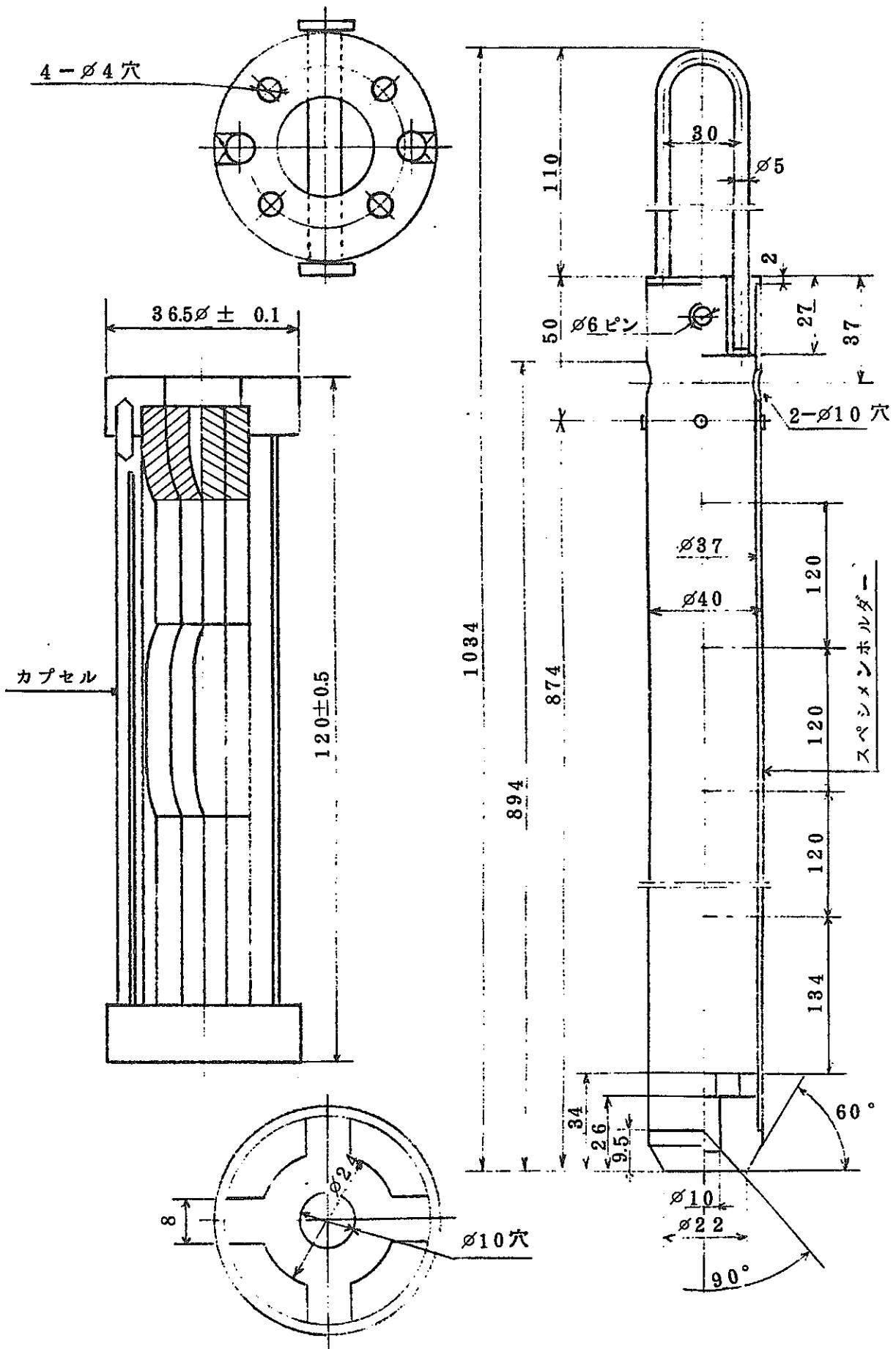
イ-図 B. 10 サブバスケット



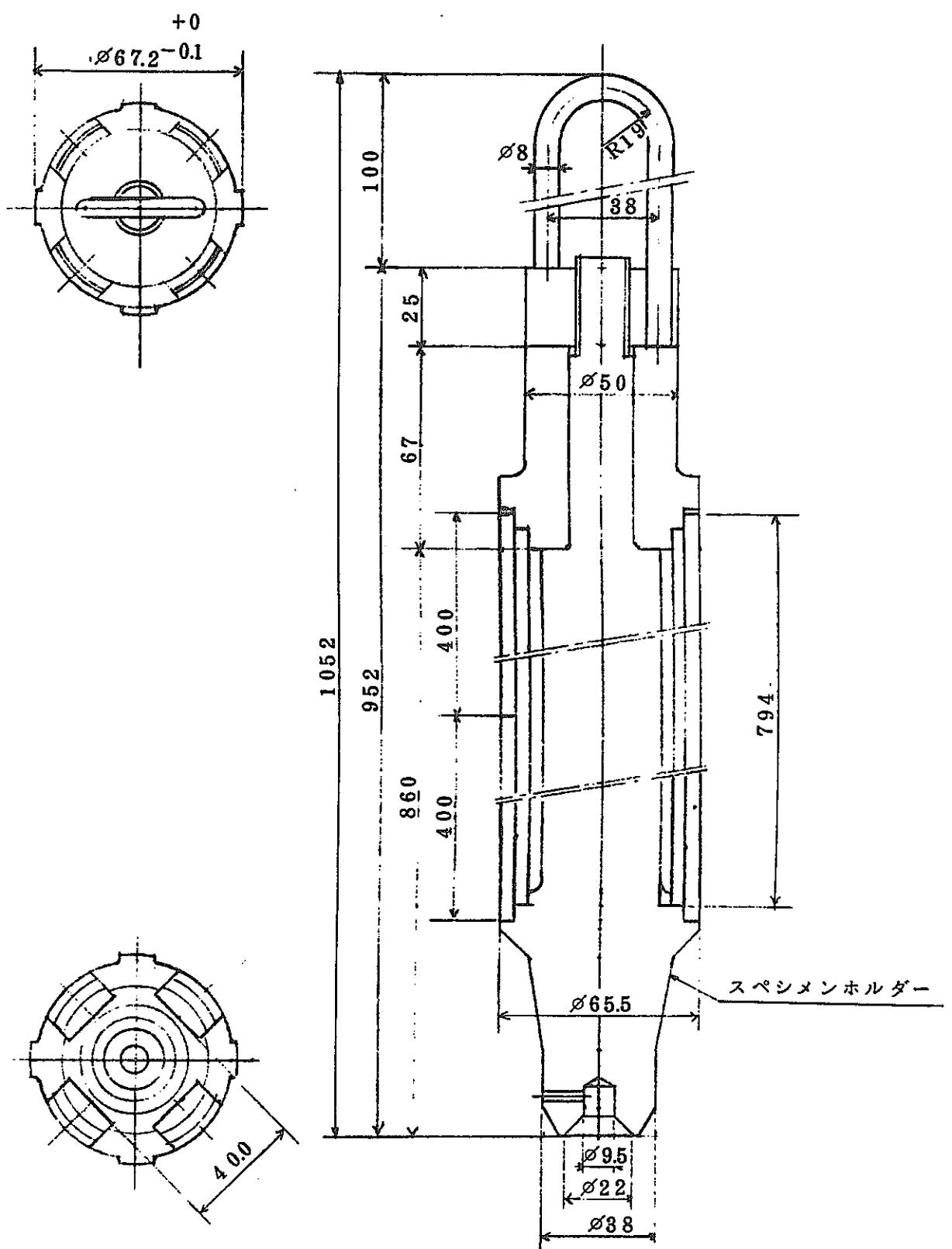
イ一図B.11 近接防止金網



イ一図B.12 ヨ一ク

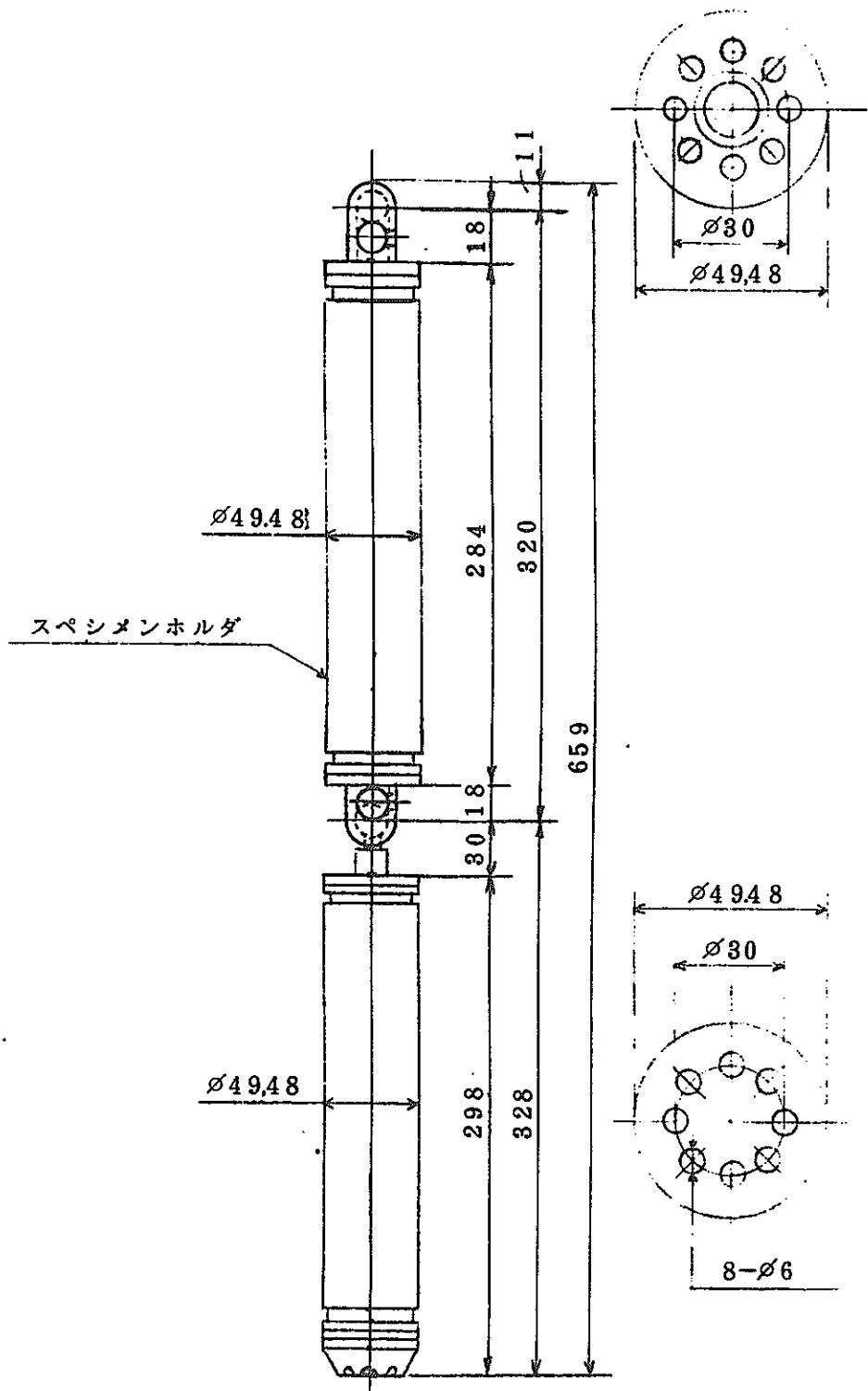


イ-図 C.1 収 納 物 (69M-19P 及び 69M-20P)



イ-図 C. 2 収 納 物 (7 0 M - 4 3 P , 7 0 M - 4 4 P , 7 0 M - 4 5 P ,

7 0 M - 4 6 P 及 7 4 M - 2 6 P)



イ-図 C. 3 収 納 物 (70 LM-8P-III 及び 74 LM-12P)

□章 A. 構 造 解 析

□章 A. 構造解析

A.1 構造設計

A.1.1 概要

輸送容器本体は、イー図B.2に示すように多層円筒構造である。内筒は、イー図B.5に示す弁及びイー図B.7に示す蓋とともに、密封容器を構成しており、内筒内部の圧力に耐えられる構造になっており、外筒は、鉛のγ線遮蔽体を保持する構造になっている。外筒及び内筒は、通常時条件及び事故時条件に耐えられる構造になっている。また、輸送容器は、熱膨張や振動に対しても耐えられる構造になっている。

蓋は、イー図B.7に示すように、ボルトで本体に固定される。本体とのシールは、Oーリングを用いて行ない、Oーリングは、密封境界構成要素として圧力等の負荷に耐えられる構造になっている。

弁は、イー図B.6に示すように、弁箱内に取り付けられており、輸送中には、弁箱に保護蓋を取付け保護する。

インナーバスケットは、円筒内において収納物が分散集合しないように支持する構造になっている。

サブバスケットは、小型のホルダーを取り扱いやすくするために使用され、イー図B.10にその構造図を示した。

輸送容器の吊り上げは、本体上部のトラニオンを用いて行なわれるため、輸送容器の吊り上げ荷重に耐えられる構造になっており、その構造をイー図B.8に示した。蓋の吊り上げは、イー図B.7に示される蓋吊具により行なわれる。

輸送容器は、輸送中の各方向加速度に対して耐えられるようイー図B.4に示す架台に取り付けられた固縛装置で固定される。

A.1.2 設計基準

本輸送容器は、構造上以下に述べる設計の基本にもとづき、設計基準にしたがって解析した。

1. 設計の基本

設計の基本として、以下の諸条件等を考慮した。

(I) 一般条件及び通常時条件を満足する条件。

- (1) 容器の材質間または材質と放射性収納物質間に、化学的物理的作用のないこと。
- (2) 密封装置は不注意に開かれないこと。
- (3) 吊り上げ装置としての蓋吊具及びトラニオンは、吊り上げ荷重の3倍に耐えること。
- (4) 固縛装置は、輸送中発生する各方向加速度2Gに耐えること。
- (5) 内筒及び蓋の応力が、使用圧力下において、降伏点以下であること。
- (6) 低温下において材料が、低温脆性を起さず、かつ内筒内の水が凍結しないこと。
- (7) 輸送中の加速度及び振動について考慮すること。
- (8) 水噴霧試験に耐えること。
- (9) 0.3m自由落下及び6kg棒落下試験に耐えること。
- (10) 5倍の荷重による圧縮試験に耐えること。

(II) 事故時条件を満足する基準

- (1) 9m落下試験に耐えること。
- (2) 1m貫通試験に耐えること。
- (3) 耐火試験に耐えること。
- (4) 1.5kg/cm²の外圧試験に耐えること。
- (5) 前記試験を連続しても除熱、遮蔽、密封能力に変化のこと。

(III) その他の条件

- (1) ドレン弁などは、通常または事故時条件に耐えること。
- (2) インナーバスケットは、通常及び事故時条件に耐えること。

2. 設計基準

設計の基本にしたがい、解析項目に対して参考図、材質、温度、負荷及び安全係数等の設計条件を考慮して、解析方法を決定する。

実際の負荷に対し、安全係数を乗じたものを設計負荷とする。

各種の負荷により発生する負荷の要素を検討し、解析すべき要素のみ記載した。

負荷の要素及び温度等を考慮して適用数式、要素及び解析基準を決定した。

解析基準は、適用数式または要素より求められる結果を解析するために用いる。

設計条件及び解析方法は、ロ－表A.1－1に示す。

適用数式及び要素による解析結果の内、定量的な基準のあるものについては、次に示す余裕率MSを用いて評価する。

$$\text{余裕率 } MS = \frac{\text{解析基準値}}{\text{解析結果}} - 1$$

したがって、余裕率は、0以上あれば良いとする。

余裕率を用いられないものは、該当箇所にその基準等を記載した。

なお、解析基準値は、ロ章A.3に示す材料の機械的性質及びロ章Bに示す温度等にもとづいて決定する。

ロー表 A.1-1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(1/8)

条件	解析項目及び その詳細	設計条件					解析方法		備考	
		参考図	材質	温度	設計負荷			適用数式または 要素	解析基準	
					種類	安全係数	要素			
一般 条件	化学的及び電気的反応									
	化学的反応	ロー表A.4-1	表による		腐食	1	活性	活性の有無	無	ローA-16
	電気的反応	"	"		"	"	電位差	水分の有無	無	ローA-16
	密封装置 蓋 弁	イー図B.6 イー図B.7			誤操作による開放		誤操作の可否		否	ローA-17
			—	—	"		"	保誤蓋にカバーされての誤操作の可否	否	ローA-17
			—	—						

ロー表A.1-1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(2/8)

条件	解析項目及び その詳細	設計条件					解析方法		備考	
		参 照 図	材 质	温 度	設計負荷			適用式または 要 素	解析 基準	
					種 類	安 全 係 数	要 素			
一 般 条 件	吊 上 用 具	ロー図A.4-3 ロー図A.4-4 ロー図A.4-5	AISI 304	常 温	吊り上げ重	3	引 張 り 曲 げ	$\sigma = \frac{Q}{A}$	σ_y	ローA-19
	2) 蓋 吊 具							$\sigma_b = \frac{M}{Z}$	"	ローA-20
								$\sigma_b = \frac{WL\ell}{IN_A}$	"	ローA-21
								$\sigma_c = \frac{P}{A}$	"	ローA-22

ロー表 A.1-1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(3/8)

条件	解析項目及び その詳細	設計条件					解析方法		備考	
		参考図	材質	温度	設計負荷			適用数式または 要素	解析基準	
					種類	安全係数	要素			
一般 条件	固縛装置									
	1) 垂直方向	ロー図A.4-7	ASTM A325	常温	輸送容器				ロ-A-24	
	2) 進行方向	ロー図A.4-8		"	に対し2G の加速度				ロ-A-24	
	3) 横方向	ロー図A.4-9		"					ロ-A-25	
	a) 上部ボルト	ロー図A.4-10		"			剪断	$\sigma_S = \frac{F}{2A}$	σ_{ys}	ロ-A-26
	b) 上部ヒンジ			"			圧縮	$\sigma_C = \frac{F}{A}$	σ_y	ロ-A-26
	c) タイロッド			"			引張	$\sigma = \frac{F}{A}$	σ_y	ロ-A-27

口一表A.1-1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(4/8)

条件	解析項目及び その詳細	設計条件						解析方法		備考	
		参考図	材質	温度	設計負荷			適用式または 要素	解析 基準		
					種類	安全 係数	要素				
通常時 条件	熱的試験										
	(1) 热膨張	口一図A.5-1	A I S I 3 0 4	外筒 74°C	温度差	1	引張	$\sigma_t = E\alpha(T_2 - T_1) \frac{t_1}{t_1 + t_2}$	σ_y	口-A-32	
	(2) 応力計算										
	内筒肉厚		"	常温	内部圧力 7 kg/cm²		引張	$t = \frac{P R}{S E - 0.6 P}$	T	口-A-34	
	内筒底部		"		"		"	$t = D \sqrt{\frac{C P}{S}}$	T	口-A-35	
	蓋										
	蓋板		"		"		"	$t = d \sqrt{\frac{C P}{S} + \frac{1.78 W h}{S d^3}}$	T	口-A-36	
	蓋板ボルト		"		"		"	$\sigma = \frac{P}{a}$	σ_y	口-A-38	

ロー表A.1-1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(5/8)

条件	解析項目及び その詳細	設計条件					解析方法		備考	
		参 照 図	材 質	温 度	設計負荷			適用数式または 要 素	解 析 基 準	
					種 類	安 全 係 数	要 素			
通常時 条件	(3) 低 温 強 度		A I S I 3 0 4	-40°						
	压 力	より厳しい 1.5 kg/cm^2 の解析結果により評価する。								
	振 動		A I S I 3 0 4		ボルトの ゆるみ 固縛装置	1 1	しめつけ 力 "	しめつけトルク 固縛装置強度	$\text{kg}\cdot\text{m}$ 6.9 2G	ロ-A-39 ロ-A-39
	水 噴 霧				水 噴 射	1	水 溜	吸 水 性 水 切 り	無 良	ロ-A-40 ロ-A-40
	自 由 落 下	A.6.1落下試験Ⅰの解析結果により解析する。								
	1) 垂 直 落 下									
	2) 水 平 落 下									
	コ ー ナ 落 下									
	貫 通	A.6.2落下試験Ⅱの解析結果により解析する。								
	压 缩		A I S I 3 0 4		容器重量 の5倍	1	压 缩	$\sigma_C = \frac{W}{A}$	σ_y	ロ-A-40
	1) 半 径 方 向									

ロ一表 A.1-1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(6/8)

条件	解析項目及び その詳細	設計条件					解析方法		備考	
		参照図	材質	温度	設計負荷			適用数式または 要素	解析基準	
事 故 時 条 件	落 下 試 験 I				種類	安全 係數	要素			
	1) エネルギ吸收と 減速度	ロ一図A.6-1 ロ一図A.6-2 ロ一図A.6-5 ロ一図A.6-7 ロ一図A.6-6	鉛 SUS 304	常温	落下 エネルギー	1	変形 エネルギー	$E = S \times W$ $\sigma = \frac{E}{PA}$ $G = \frac{H}{\sigma}$ $\sigma_c = \frac{Wg}{A}$	吸收 可能 エネ ルギ が落 下エ ネル ギよ り大 σ_y	ロ-A-42 ロ-A-46 ロ-A-48 ロ-A-50 ロ-A-51
	垂 直 落 下									
	水 平 落 下									
	コ ー ナ 落 下									
	傾 斜 落 下									
	2) インナーバスケット									
	垂 直 落 下									
	水 平 落 下									

ロー表 A.1-1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(7/8)

条件	解析項目及び その詳細	設計条件件					解析方法		備考	
		参考図	材質	温度	設計負荷			適用数式または 要素	解析 基準	
					種類	安全 係数	要素			
事 故 時 条 件	落下試験Ⅱ		AISI 304				圧縮	$t = 25.4 \left(\frac{0.154W}{F_{tu}} \right)^{0.71}$	T	ロ-A-52
	外筒肉厚									

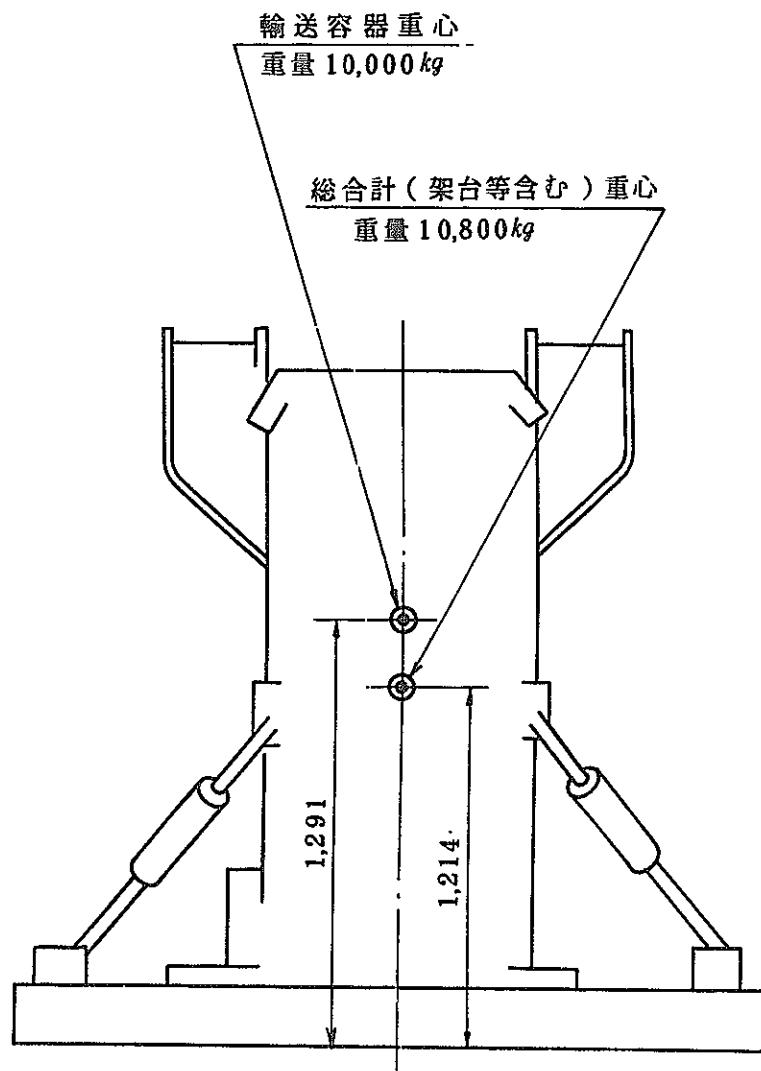
ロー表 A.1-1 輸送容器の構造設計の条件及び解析方法(8/8)

条件	解析項目及び その詳細	設計条件					解析方法		備考	
		参考図	材質	温度	設計負荷			適用数式または 要素	解析 基準	
事故時条件	熱的試験				種類	安全 係数	要素			
	1) 热膨張と応力計算 (1) 热膨張 (2) 応力計算		AISI 304	—	温度差	1	胴部の板厚	$\sigma_t = \alpha \Delta t \frac{E t_1}{(t_1 + t_2)}$ $t = \frac{P R}{S E - 0.6 P}$	σ_y T	ロ-A-54 ロ-A-55
	浸漬試験 1. 脇部 2. 上部端板 及び底板		AISI 304		外圧	1	引張	$\sigma = \frac{P D}{2 t}$ $\sigma = \frac{3 P r^2}{8 m t^2} (3m + 1)$	σ_y	ロ-A-56

A.2 重量及び重心

輸送物の重量は、イ章イ－B.4に記載したとおりである。

輸送物の重心は、図A.2－1に示すとおりである。



図A.2－1 輸送物の重心位置

A.3 材料の機械的性質

構造解析に用いる材料の機械的性質を表A.3-1に示す。

304-ステンレス鋼の使用温度は、最高471°Cであるので、降伏点、引張り強さ、弾性率などについて350°C迄の温度変化に対する値を図A.3-1に示す。これらの値は、参考文献A.1及びA.2より引用した。

304-ステンレス鋼は、AISI及びJIS規格である。

炭素鋼のボルトは、ASTM A325であり、架台等の軟鋼はJIS、SS41相当とした。

溶接材料は、母材と同等またはそれ以上の機械的強度をもつものである。剪断抵抗は、ダイスによる剪断によって測定される。

材料の流動抵抗値 (Dynamic flow pressure)は、落下試験の解析に用いるが、参考文献A.3より引用した。流動抵抗は参考文献A.4に示されるような方法によって測定される。

ロー表 A.3-1 材料の機械的性質

材 質	降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	弾性率 kg/mm ²	歪 (%)	密 度 g/cm ³	熱膨張率 10^{-5}	剪断抵抗 kg/mm ²	流動抵抗 kg/mm ²
AISI 304	21.1	52.7	20,400	—	7.9	1.8×10^{-5}	28.1	—
ASTM A325	84.4	—	—	—	—	—	62.5	—
軟 鋼	25	41	21,000	—	—	—	—	35.2
鉛	—	—	—	—	—	—	—	7.03 kg/mm^2 (1000 psi)

—の個所は、解析には使用しないため記載しない。

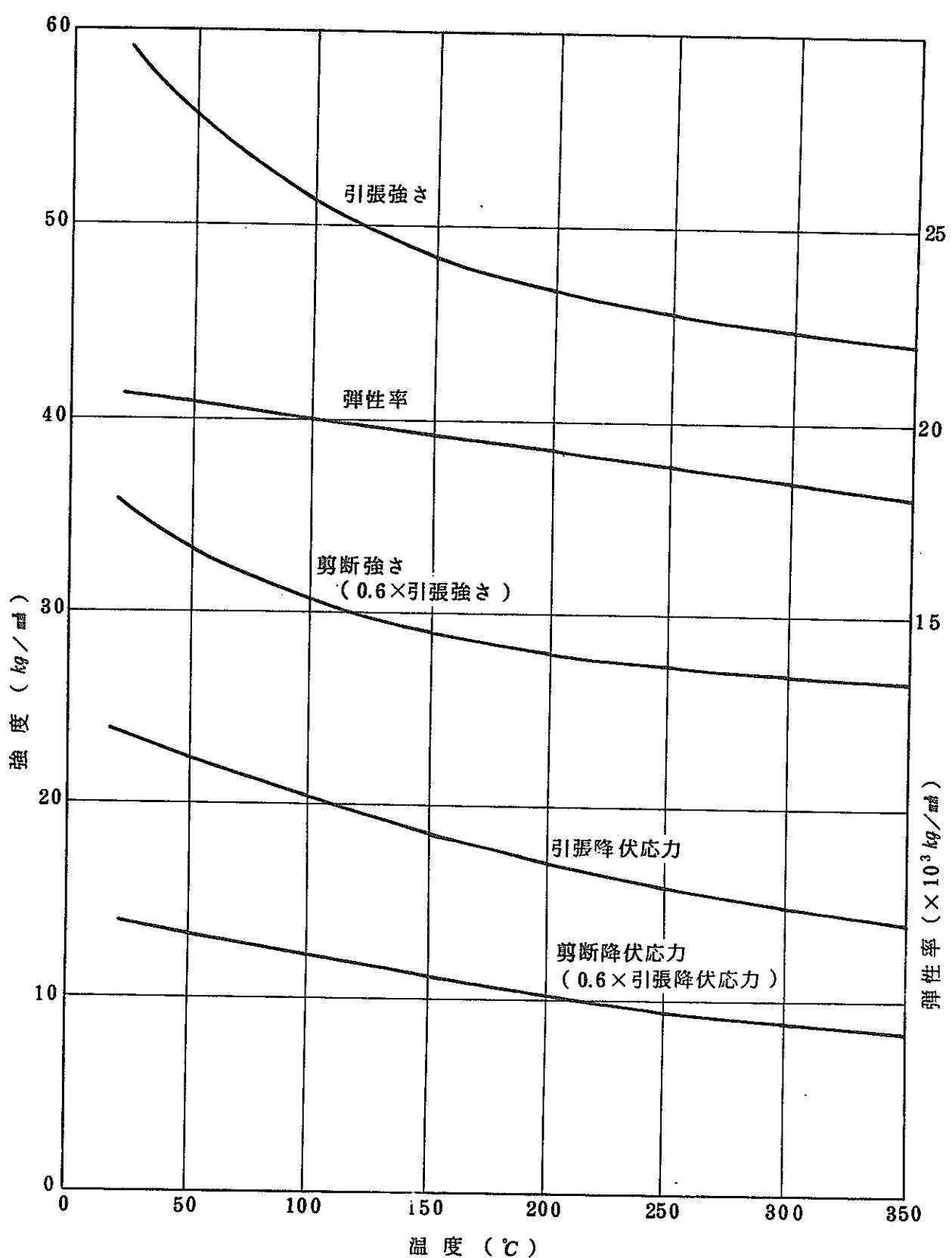


図 A.3-1 304ステンレス鋼の機械的性質の温度による変化

A.4 輸送物の基準

A.4.1 化学的及び電気的反応

輸送容器内及び輸送容器と収納物の間で接触する異種材料の一覧表をローテーブル A.4-1 に示す。

ローテーブル A.4-1 接触する異種材料の一覧表

接觸する異種材料一覧表			
材質	部位	材質	部位
ステンレス鋼	内筒	鉛	ガンマ線遮蔽体
"	外筒	"	"
"	上部端板	クロムモリブデン鋼	ボルト
"	上部端板	シリコンラバー	O-リング
"	蓋板	"	"
ステンレス鋼	内筒、サンプルホルダ		
シリコンラバー	O-リング	空気	内筒冷却材
Zr-Nb	収納物外面		

ステンレス鋼と鉛は、乾燥状態で接觸しており、電気的に反応することはなく、直接反応する程活性ではない。（参考文献 A.5）

ステンレス鋼と、クロムモリブデン鋼の間には悪影響を生じるよう接觸腐蝕は生じない（参考文献 A.5）。

ステンレス鋼と、空気の間では、安定な不働体を生ずるので電気的及び化学的に作用して問題になるような腐食を起すことはない。

（参考文献 A.6）

A.4.2 密封装置

輸送容器の蓋及び蓋ボルトは、通常の輸送時には 図 A.4 - 1 に示すように、ナット締付後、針金によりとめるので、みだりにナットを緩め不用意に蓋を開けられることはない。

また、弁は、規定外の操作をされないように、通常輸送時には、図 A.4 - 2 に示すように、弁箱を設け保護蓋をかぶせてあるので、不用意に開けられることはない。

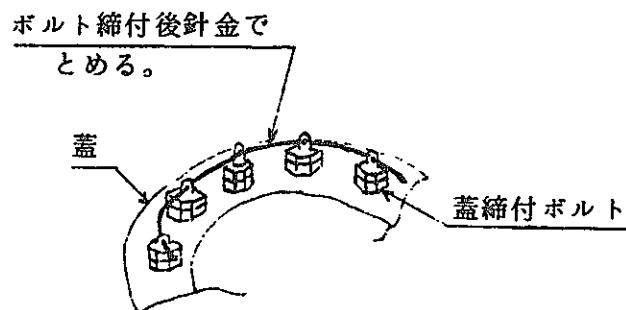


図 A.4 - 1 蓋の密封装置

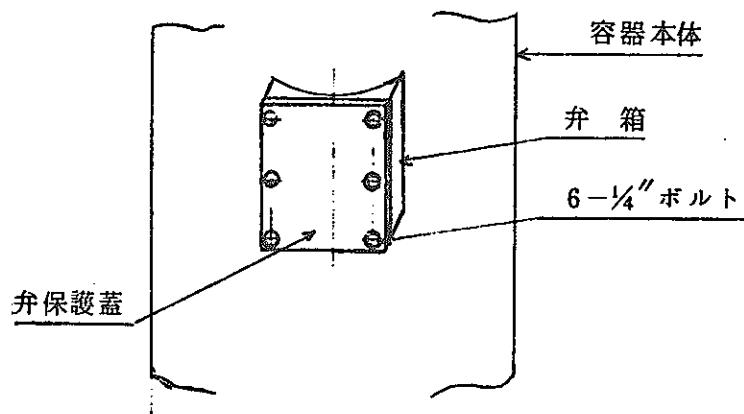


図 A.4 - 2 弁箱の密封装置

A.4.3 吊上用具

輸送容器の吊上用具は、本体上部にあるトラニオンであり、蓋の吊上用具は、蓋にある吊具である。本体上部のトラニオンについては、通常の吊上げ状態で、2個を使用して吊上げる場合の解析を行い、強度的に十分耐えられることを以下に示す。

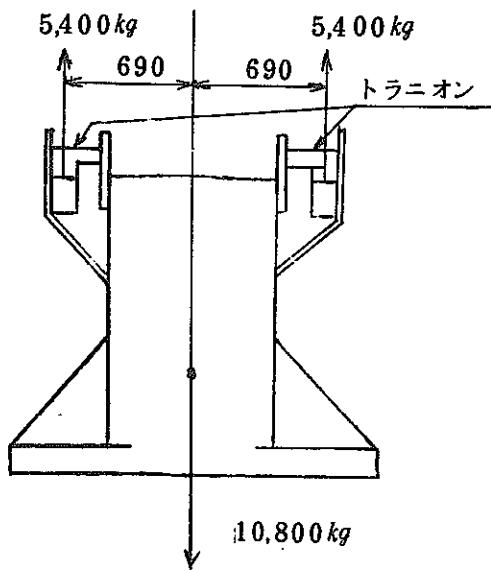
1. トラニオン

1.1 応力の要約（ローツ A.4-3 参照）

輸送物の重量は、 $10,800\text{kg}$ でこれを2個のトラニオンを使用して吊上げる場合を考える。

この場合1個のトラニオンの荷重は、 $5,400\text{kg}$ となるが、負荷係数3を考慮し、解析に使用する荷重は、 $5,400\text{kg} \times 3 = 16,200\text{kg}$ とする。

トラニオン部分の詳細をローツ A.4-4に示す。



ローツ A.4-3 トラニオン荷重図

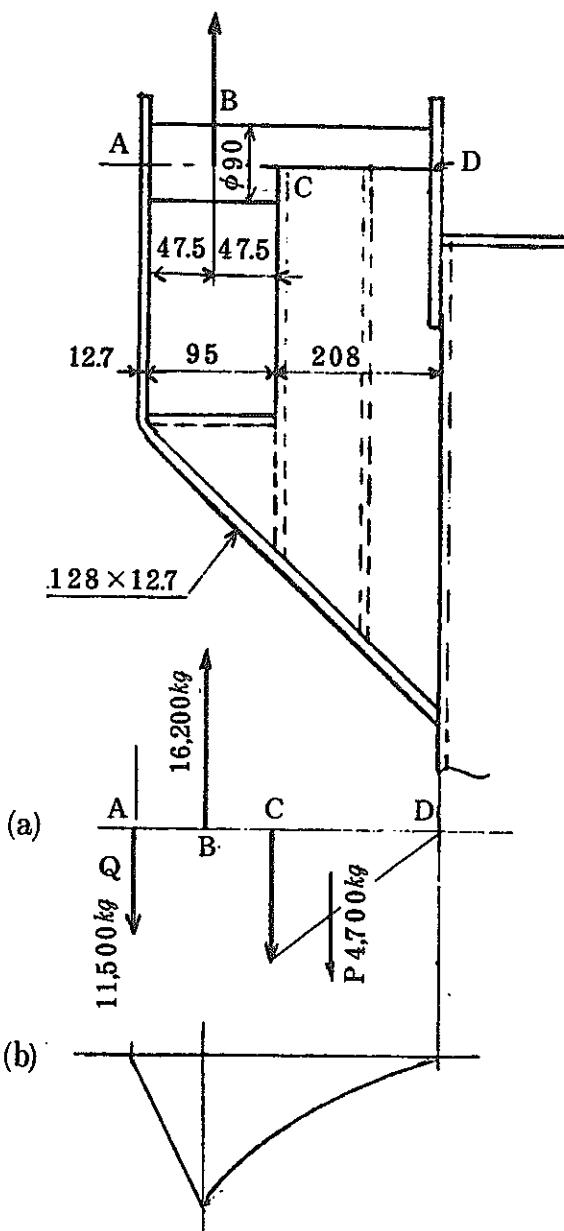
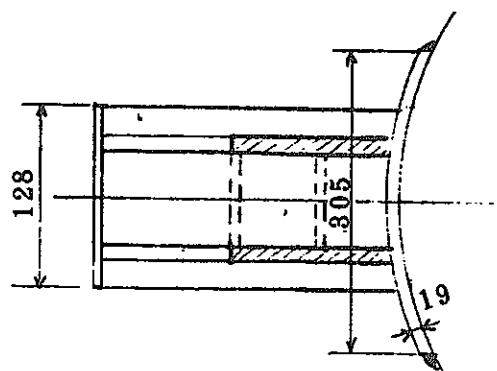


図-A.4-4 トランニオンの詳細

(a)は荷重曲線を示し、

(b)はモーメント曲線を示す。

ここで $\phi 90$ のトランニオンを 1 つのビームと考え、荷重は B 点に $16,200 \text{ kg}$ 作用した場合、A 点では集中荷重 $Q \text{ kg}$ 、C.D. 間では分布荷重 $P \text{ kg}$ を、支持すると考える。

A 点回りの曲げモーメントがバランスしたとすれば、次の式が成り立つ。

$$16,200 \times 47.5 - P(95 + 208/3) = 0$$

$$\text{これより、 } P = \frac{769,500}{164} = 4,700 \text{ kg}$$

よって、A 点の荷重は次の通りである。

$$\begin{aligned} Q &= 16,200 - 4,700 \\ &= 11,500 \text{ kg} \end{aligned}$$

分布荷重の最大値 $P \text{ kg/mm}$ は次の通りである。

$$P = \frac{P}{208/2}$$

よって、

$$P = \frac{4,700}{104} = 45.19 \text{ kg/mm}$$

また、荷重 Q の支持板の引張応力 $\sigma \text{ kg/mm}^2$ は、

$$\sigma = \frac{Q}{A}$$

$$Q : \text{荷重} = 11,500 \text{ kg}$$

$$A : \text{荷重がかかる面積} = 128 \times 12.7 \text{ mm}^2$$

したがって、

$$\sigma = \frac{11,500}{128 \times 12.7} = 7.07 \text{ kg/mm}^2$$

荷重 Q に対する支持板の余裕率 MS は、

$$MS = \frac{\sigma_y}{\sigma} - 1 = \frac{21.1}{7.07} - 1 = 1.9$$

ここに、 σ_y : 降伏応力 = 21.1 kg/mm²

直径 φ 90 の棒の曲げ応力 σ_b kg/mm² は、

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに、M : B 点曲げモーメント = 11,500 kg × 47.5 mm

$$Z : \text{棒の断面係数} = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi \times 90^3}{32} = 71,500 \text{ mm}^3$$

d : 棒 の 直 径 = 90 mm

$$\text{したがって、} \sigma_b = \frac{11,500 \times 47.5}{71,500} = 7.64 \text{ kg/mm}^2$$

また、この棒に荷重が剪断力として働いたとして検討すると、棒の剪断応力 σ_s kg/mm² は、

$$\sigma_s = \frac{P}{A}$$

ここに、P : 荷 重 = 16,200 kg

$$A : \text{棒 の 面 積} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 90^2}{4} = 6,360 \text{ mm}^2$$

d : 棒 の 直 径 = 90 mm

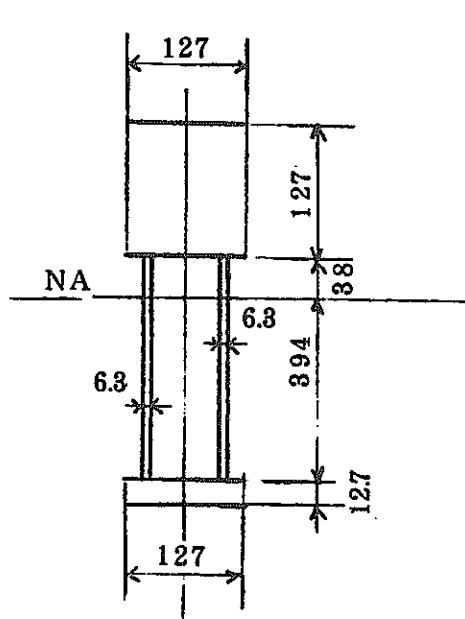
$$\sigma_s = \frac{16,200}{6,360} = 2.55 \text{ kg/mm}^2$$

以上、種々の場合を検討し、最も応力の大きいのは $\phi 90$ の棒の曲げ応力 7.64 kg/mm の場合であるので、この場合の余裕率 MS を求めると、

$$\begin{aligned} MS &= \frac{\sigma_y}{\sigma_b} - 1 \\ &= \frac{21.1}{7.64} - 1 = 1.76 \end{aligned}$$

ここに、 σ_y : 降伏応力 $= 21.1 \text{ kg/mm}$

つぎに、トラニオンが容器本体に取付く部分の最大曲げ応力を求める。トラニオンが、容器に取付く部分の形状をローグ A.4-5 に示す。この部分の最大曲げ応力 $\sigma_b \text{ kg/mm}$ は、



$$\sigma_b = \frac{W \times L \times \ell}{I_{NA}}$$

ここに、

W : 荷重 $= 16,200 \text{ kg}$

L : 荷重点と取付部との距離 $= 255 \text{ mm}$

ℓ : NA 軸から最も遠い距離 $= 407 \text{ mm}$

I_{NA} : NA 軸の慣性モーメント $= 212 \times 10^7 \text{ mm}^4$

$$\sigma_b = \frac{16,200 \times 255 \times 407}{212 \times 10^7} = 0.79 \text{ kg/mm}$$

ローグ A.4-5 トラニオンが
容器本体に取付く部分

また、この部分の見掛けの剪断応力 $\sigma_s \text{ kg/mm}$ は、

$$\sigma_s = \frac{P}{A} = \frac{16,200}{23,200} = 0.70 \text{ kg/mm}$$

ここに、 A : トラニオン溶接部剪断面積 $= 23,200 \text{ mm}^2$

最大曲げ応力の余裕率 MS は、

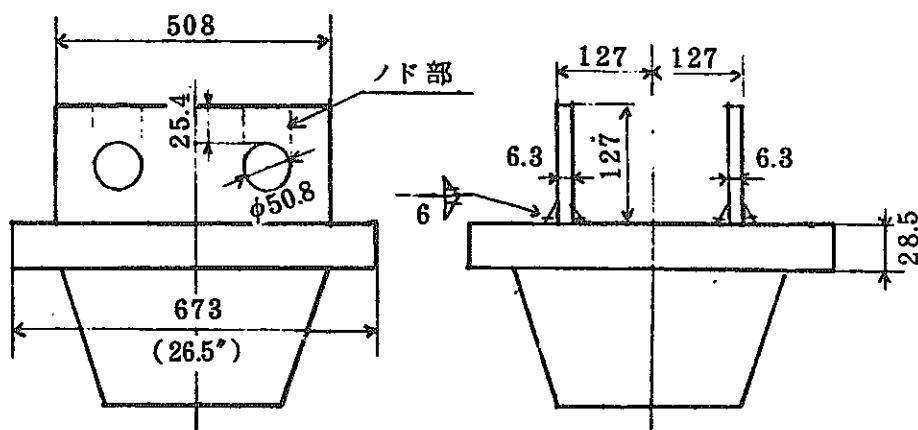
$$MS = \frac{\sigma_y}{\sigma_b} - 1 = \frac{21.1}{0.79} - 1 = 25.7$$

ここに、 σ_y : 降伏応力 = 21.1 kg/mm^2

以上のことより、トラニオンの強度は、充分余裕があると考えられる。

2. 蓋 吊 具

蓋吊具は、蓋板に溶接した 2 枚の板である。（ローツ A.4-6 参照）



ローツ A.4-6 蓋 吊 具

蓋の重量は、 550 kg ($1,200 \text{ lbs}$) であり、吊上装置の負荷係数は、3 であるから、蓋吊上げに要する荷重は、 $550 \text{ kg} \times 3 = 1,650 \text{ kg}$ ($3,600 \text{ lbs}$) として解析する。

いま、2つのフックを使用した場合の吊具のノド部の圧縮応力 σ_c kg/mm^2 は、

$$\sigma_c = \frac{P}{A} = \frac{825}{640} = 1.29 \text{ kg/mm}^2$$

ここに、 P : 1個の吊具の荷重 $\frac{1,650}{2} = 825 \text{ kg}$

$$A : 面積 = 50.8 \times 6.3 \times 2 = 640 \text{ mm}^2$$

吊具の溶接部の引張り応力 $\sigma \text{ kg/mm}^2$ は、

$$\sigma = \frac{P}{AC}$$

$$P : 荷重 = 825 \text{ kg}$$

$$A : 溶接面積 = 2(50.8 + 6.3) \times 3.1 = 3,188 \text{ mm}^2$$

$$C : 溶接効率 = 0.8$$

$$\sigma = \frac{825}{3188 \times 0.8} = 0.32 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{蓋吊具の余裕率 } MS = \frac{\sigma_y}{\sigma_c} - 1 = \frac{21.1}{1.29} - 1 = 15.3$$

$$\text{ここに、 } \sigma_y : \text{降伏応力} = 21.1 \text{ kg/mm}^2$$

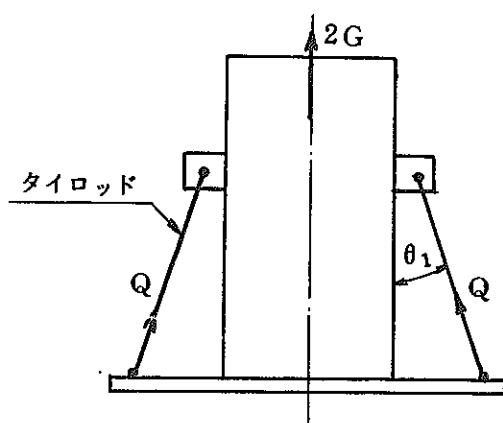
$$\sigma_c : ノド部の圧縮応力 = 1.29 \text{ kg/mm}^2$$

蓋吊具は、引張り応力に対し充分余裕がある。

A.4.4 固縛装置

輸送容器は、輸送中 図B.1 に示すように、架台上に底板が位置するよう据え付けられ、4本のタイロッドの固縛装置により架台に固定される。固縛装置は、輸送中の輸送容器に 2G の加速度がかかった場合にも耐えられるよう設計されており、その上、コンテナーにも固定され、車輛または船舶に積付けられる。

(1) 垂直方向に 2G かかる場合 (図A.4-7 参照)



引張りタイロッド 1本あたりにかかる荷重 $Q \text{ kg}$ は、

$$Q = Wg / 4 \cos \theta_1$$

ここに、

W : 容器重量 = 10,800 kg

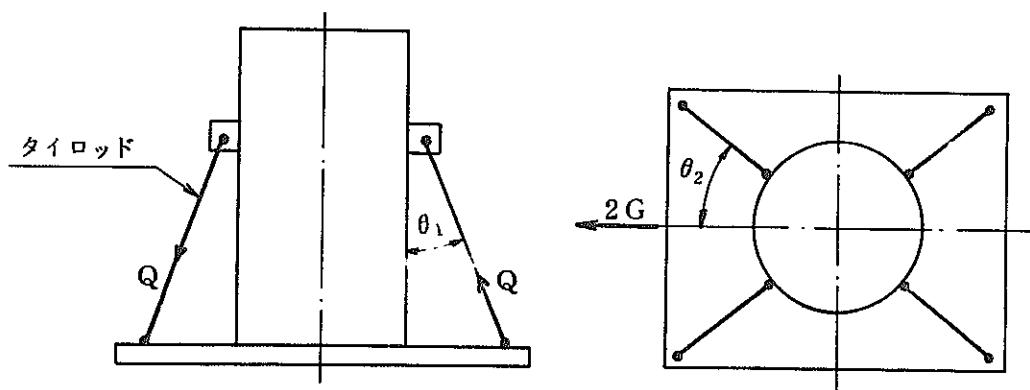
g : 加速度 = 2G

θ_1 : タイロッドの傾斜角度 = 40°

図A.4-7 垂直荷重モデル図

$$\begin{aligned} Q &= 10,800 \times 2 / 4 \times \cos 40^\circ \\ &= 7,050 \text{ kg} \end{aligned}$$

(2) 進行方向に 2G かかった場合 (図A.4-8 参照)



図A.4-8 進行方向荷重モデル図

引張りタイロッド 1本にかかる荷重 Q kg は、

$$Q = W g / 4 \sin \theta_1 \cos \theta_2$$

ここに、 W : 容器重量 = 10,800 kg

g : 加速度 = 2G

θ_1 : タイロッドと容器軸の角度 = 40°

θ_2 : ラジカルと進行方向の角度 = 38°

$$Q = 10,800 \times 2 / 4 \sin 40^\circ \times \cos 38^\circ$$

$$= 8,948 \text{ kg}$$

(3) 横方向に 2G かかった場合 (図 A.4-9 参照)

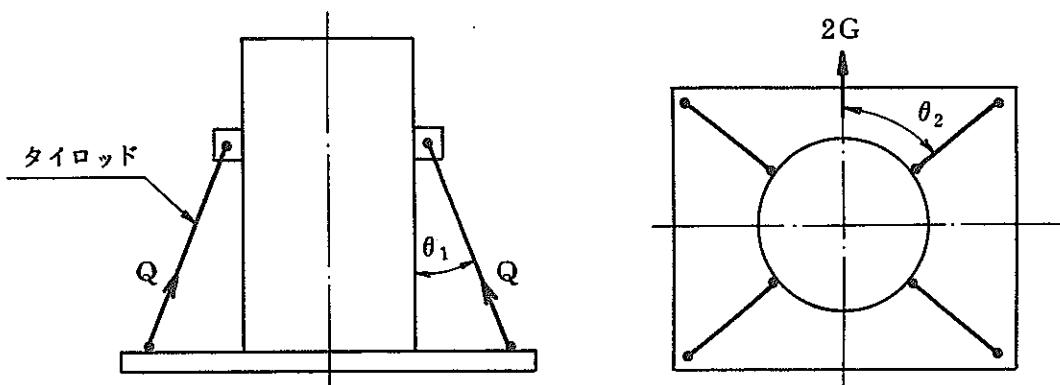


図 A.4-9 横方向荷重モデル図

引張りタイロッド 1本あたりにかかる荷重 Q kg は、

$$Q = W g / 4 \sin \theta_1 \cos \theta_2$$

ここに、 W : 容器重量 kg = 10,800 kg

g : 加速度 = 2G

θ_1 : タイロッドと容器軸の角度 = 40°

θ_2 : タイロッドと横方向の角度 = 52°

$$Q = 10,800 \times 2 / 4 \sin 40^\circ \times \cos 52^\circ$$

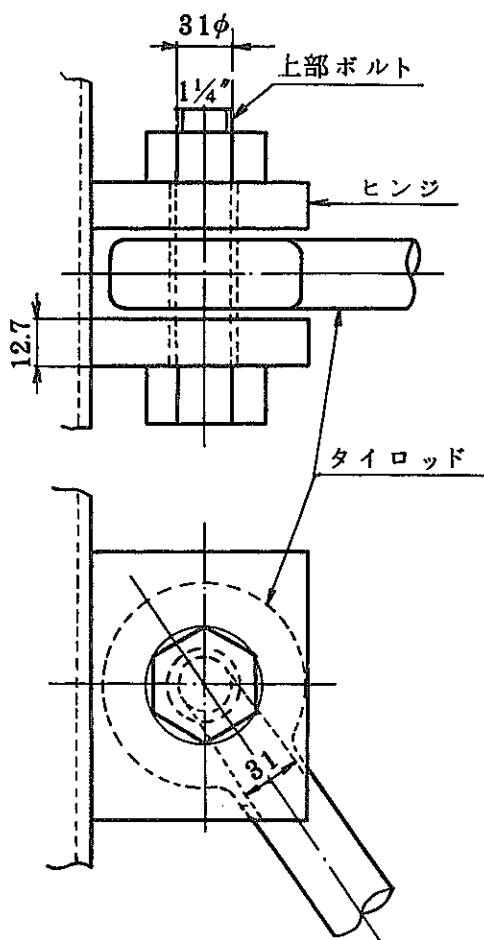
$$= 11,450 \text{ kg}$$

(4) 以上より、タイロッドに最大荷重がかかるのは、横方向に 2 G かかった場合であり、その荷重 $F \text{ kg}$ は、

$$F = 11,450 \text{ kg} \text{ である。}$$

このときの固縛装置の応力を以下に求める。

(a) 上部ボルト (図 A.4-10 参照)



上部ボルトに働く剪断応力 $\sigma_s \text{ kg/mm}^2$ は、

$$\sigma_s = \frac{F}{2 \times A} = \frac{11,450}{2 \times 754} = 7.6 \text{ kg/mm}^2$$

ここで、 F : ボルトにかかる荷重
 $= 11,450 \text{ kg}$

A : ボルトの断面積

$$= \frac{\pi \times 31^2}{4} = 754 \text{ mm}^2$$

したがって、余裕率 MS は、

$$MS = \frac{\sigma_{ys}}{\sigma_s} - 1 = \frac{31}{7.59} - 1 = 3.0$$

ここで、 σ_{ys} : 剪断降伏応力
 $= 31 \text{ kg/mm}^2$

図 A.4-10 タイロッド上部取付部

(b) 上部ヒンジ

上部ヒンジに働く圧縮応力 $\sigma_c \text{ kg/mm}^2$ は、

$$\sigma_c = \frac{F}{A} = \frac{F}{2LT}$$

ここに、F：ヒンジにかかる荷重 $kg = 11,450 kg$

A：ヒンジの圧縮面積 mm^2

L：ヒンジの孔径 $mm = 31 mm$

T：ヒンジの厚さ $mm = 12.7 mm$

$$\text{したがって、} \sigma_c = \frac{11,450}{2 \times 31 \times 12.7} = 14.5 \text{ kg/mm}^2$$

ヒンジの降伏応力 $\sigma_y \text{ kg/mm}^2$ は、ロ-図 A.3-1 より、 23.0 kg/mm^2 であるので、

余裕率 MS は、

$$MS = \frac{\sigma_y}{\sigma_c} - 1 = \frac{23.0}{14.5} - 1 = 0.58$$

(c) タイロッド

タイロッドに働く引張応力 $\sigma \text{ kg/mm}^2$ は、

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d^2}$$

ここに、F：タイロッドにかかる荷重 $kg = 11,450 kg$

A：タイロッド断面積 mm^2

d：引張ボルトネジ底径 $mm = 32.6 mm$

$$\text{したがって、} \sigma = \frac{11,450 \times 4}{\pi \times (32.6)^2} = 13.7 \text{ kg/mm}^2$$

タイロッドの余裕率 MS は、

$$MS = \frac{\sigma_y}{\sigma} - 1 = \frac{25.0}{13.7} - 1 = 0.82$$

ここに、 σ_y ：降伏応力 $= 25.0 \text{ kg/mm}^2$

(d) タイロッドが架台に取付く下部の構造は、上部のヒンジの構造とほとんど同じ構造なので、同等の余裕率を有する。

A.5 通常時条件

A.5.1 热的試験

A.5.1.1 圧力及び温度の要約

通常時における輸送容器の温度及び圧力等は、ロ表B.4.3 及びB.4.4に記載してあるが、その圧力と温度を要約してロ表A.5-1に示す。ただし、本解析では“BMI-1”の製作時に用いられた解析をそのまま利用することとした。

すなわち、今回輸送する試験片の最大崩壊熱量は約29Wで、“BMI-1”的解析は、最大崩壊熱を1.5kWとして行なっており、非常に安全側にあるからである。

熱解析の結果から容器内圧力及び温度は、ロ表A.5-1のようになる。

ロ表A.5-1 通常時の圧力と温度の要約

	温 度	压 力
通常輸送時(大気温38°C) 及び	103 °C	0.28 kg/cm ²
通常時条件下(大気温54°C)	120 °C	0.34 kg/cm ²

A.5.1.2 热 膨 張

本項では、輸送容器各部の温度差より生じる熱膨張差から輸送容器に生じる変形並びに応力について検討する。

輸送容器の構造解析モデルをロ図A.5-1に示す。

内筒は、上部端板によってのみつながっており、熱膨張によって他と拘束しあうことではなく、熱膨張差による変形や応力は生じない。

内筒と外筒の間には、熱膨張係数の大きい鉛が入っているが、

この鉛は、高温溶融状態で充填されて凝固したものである。口章B.4に記載されているように、通常時に鉛は溶融しない。したがって、鉛の熱膨張は内筒及び外筒に影響をおよぼすことではなく、無視してよい。

上部端板は、外筒及び積層外筒と溶接されている。蓋は、ボルトによって上部端板に固定される。

底板は、積層外筒及び外筒と溶接されている。

インナーバスケットは、内筒内空気中にあり、これによって温度が均一化されているので、実際には温度差は小さい。

また、インナーバスケットが熱膨張した場合、すきまがあるので、インナーバスケットが、内筒に拘束されることはない。

したがって、熱膨張による変形や応力は無視できる。

外筒と積層外筒は、上部端板と底板につながっており、軸方向の熱膨張は互に拘束し合う。したがって、外筒及び積層外筒には、その熱膨張差による応力が生ずる。

積層外筒及び外筒に生ずる応力を求めるために、周方向の単位長さをもった、幅が t_1 , t_2 の棒A. B. を考える。

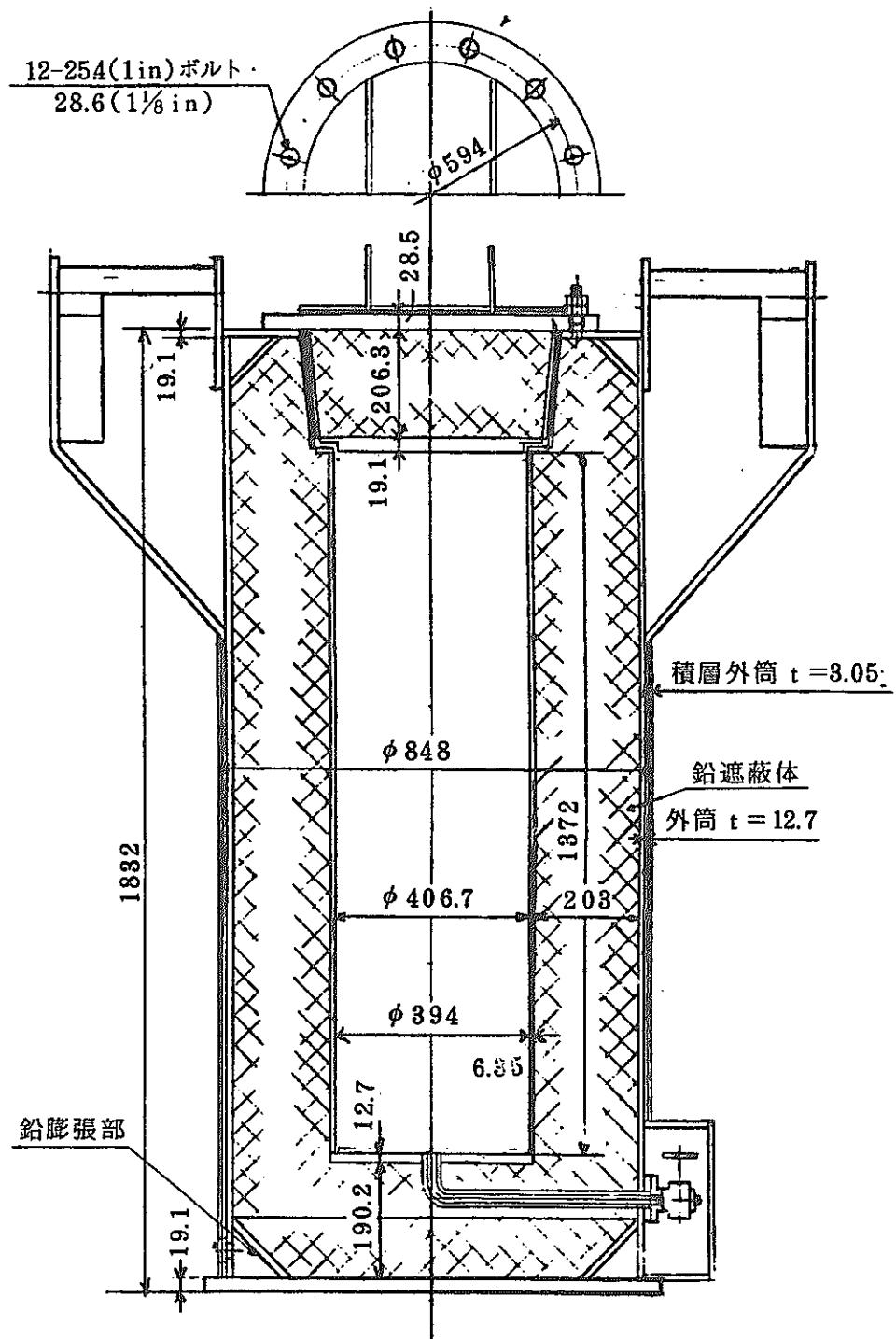


図 A.5-1 構造解析モデル図

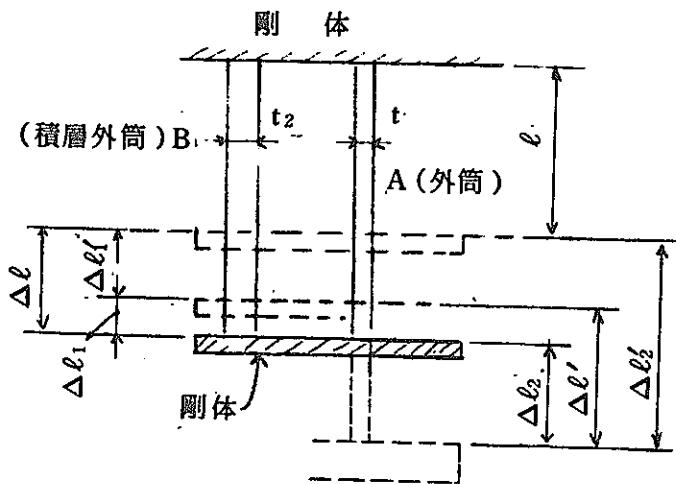


図-A.5-2 热応力解析モデル図

いま、両端が図-A.5-2のようく剛体により固定されたと考える。初期温度での長さを l とする。初期温度の状態から各々一様に T_1 °C, T_2 °Cまで加熱され、長さが $l + \Delta l$ になつたとする。

この状態で棒A, B の材質が同一ならば、棒Aは引張、棒Bは、圧縮の状態にある。この時の応力は、次のように求められる。棒の一端が固定されていない時、棒A, B が、初期温度から各々 T_1 , T_2 になつた時の各々の伸びを $\Delta l'_1$, $\Delta l'_2$ とする。棒が互に固定されて図の状態にある時、棒Aには引張力、棒Bには圧縮力がそれぞれ生じる。

この時、引張力及び圧縮力は、同じ値 F である。

棒A, B に生じる応力を各々 σ_t , σ_c とすれば、次式が成り立つ。

$$F = \sigma_t \cdot t_2 = \sigma_c \cdot t_1 \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (A-5)$$

$$\text{また、 } \sigma_t = E \frac{\Delta l_2}{l + \Delta l'_2} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (A-6)$$

$$\sigma_c = E \frac{\Delta \ell_1}{\ell + \Delta \ell'_1} \quad \dots \dots \dots \quad (A-7)$$

$$\begin{aligned}\Delta \ell_1 + \Delta \ell_2 &= \ell \alpha (T_2 - T_1) \dots \dots \dots \quad (A-8) \\ &= \Delta \ell'\end{aligned}$$

ここで、E : 弹性率

α : 線膨張係数

$$\frac{\Delta \ell'_1}{\ell} \ll 1 \text{ 及び } \frac{\Delta \ell'_2}{\ell} \ll 1 \text{ ならば } (A-6), (A-7) \text{ は}$$

次のようになる。

$$\sigma_t = E \cdot \frac{\Delta \ell_2}{\ell} \quad \dots \dots \dots \quad (A-6)'$$

$$\sigma_c = E \cdot \frac{\Delta \ell_1}{\ell} \quad \dots \dots \dots \quad (A-7)'$$

式(A-6)', (A-7)', (A-5)より応力 σ_c , σ_t は次のようになる。

$$\sigma_c = E \alpha (T_2 - T_1) \frac{t_2}{t_1 + t_2} \quad \dots \dots \quad (A-9)$$

$$\sigma_t = E \alpha (T_2 - T_1) \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

ここで、 T_1 : 外筒の温度 = 74°C

T_2 : 積層外筒の温度 = 40°C

E : 弹性率 = 19,000 kg/mm²

α : 線膨張係数 = $1.8 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

ℓ : 外筒の高さ = 1,787 mm

t_1 : 外筒厚さ = 12.7 mm

t_2 : 積層外筒厚さ = 3.05 mm

とおけば、 $\frac{\Delta \ell'_1}{\ell} \ll 1, \frac{\Delta \ell'_2}{\ell} \ll 1$

また、 $t_2 < t_1$ したがって、 $\sigma_t > \sigma_c$

故に、積層外筒には、外筒より大きな応力が生じている。

(A-9)式より、

$$\begin{aligned}\sigma_t &= 19,000 \times 1.8 \times 10^{-5} \times (74 - 40) \times \frac{12.7}{12.7 + 3.05} \\ &= 9.37 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

積層外筒 40°C での降伏応力は、 $\sigma_y = 21.1 \text{ kg/mm}^2$ である。

引張応力に対しては周接手が問題になり、この場合、裏あて金がある溶接と考えられ、溶接効率は、0.90である。したがって、余裕率 MS は、

$$\begin{aligned}MS &= \frac{0.9 \sigma_y}{\sigma_t} - 1 \\ &= \frac{0.9 \times 21.1}{9.37} - 1 = 1.02\end{aligned}$$

A.5.1.3 応力計算

本項では、輸送容器の各部の応力計算を行い、基準に合致していることを確認する。応力を発生させる負荷としては温度差・圧力・外部よりの荷重がある。

温度差による応力については、(口)章 A.6.3において記述しているように、耐火試験時においてすら基準を満足しているので、それより条件の容易な通常時条件においても基準に合致する。実際には解析条件よりも厳しくないので、もっと安全側になる。

外部からの荷重、例えば振動などに対しては、(口)章 A.4において記述してあるので、本項においては説明を省いた。

したがって、圧力による応力のみを計算することにする。
以下内圧による応力計算を行う部位をロ一表 A.5 - 1に示す。

ロ一表 A.5 - 1 解析を行う部位

部 位	
1	胴 部
2	蓋 及び 底 部
3	ボルト 部

(1) 脇 部

内筒の肉厚 $t \text{ mm}$ は、次式による。

$$t = \frac{P \times R}{S E - 0.6 P}$$

ここに、
P : 内 部 圧 力 = 0.07 kg/mm^2 (100 Psi)

R : 内 筒 半 径 = 197 mm (7.75 in)

S : 材料の降伏応力 = 21.1 kg/mm^2

E : 溶 接 効 率 = 0.7

$$t = \frac{0.07 \times 197}{21.1 \times 0.7 - 0.6 \times 0.07} = 0.81$$

内筒の肉厚の余裕率MSは、

$$MS = \frac{T}{t} - 1 = \frac{6.35}{0.81} - 1 = 6.8$$

ここでT: 実際の肉厚 = 6.35 mm (0.25 in)

(2) 内筒底部及び蓋板の肉厚

(ア) 内筒底部の肉厚

圧力7 kg/cm²が加わる、直径D = 394 mm (15.5 in) の底部の肉厚 t mmは次式で表わされる。

$$t = D \sqrt{\frac{C P}{S}}$$

ここでP: 内部圧力 = 0.07 kg/mm² (100 Psi)

D: 内筒の内径 = 394 mm (15.5 in)

S: 材料の降伏応力 = 21.1 kg/mm²

C: 係数 = 0.3

$$t = 394 \sqrt{\frac{0.3 \times 0.07}{21.1}} = 12.42 \text{ mm}$$

底板の肉厚の余裕率MSは、

$$MS = \frac{T}{t} - 1 = \frac{19.1}{12.42} - 1 = 0.54$$

ここでT: 実際の肉厚 = 19.1 mm (0.75 in)

ただし、本輸送時の内部圧力は、7 kg/cm²ではなく、0.28 kg/cm²であるので充分肉厚に余裕がある。

(1) 蓋板の肉厚

必要な蓋板の肉厚 $t \text{ mm}$ は次式で表わされる。

$$t = d \sqrt{\frac{C P}{S} + \frac{1.78 W \cdot h}{S d^3}}$$

ここに、 d : ガスケットの直径 = 527 mm (20.75 in)

C : 係数 = 0.3

$$W : \text{蓋板に加わる圧力 } \frac{\pi d^2}{4} \times P = \frac{\pi \times 527^2 \times 0.07}{4} \\ = 15,261 \text{ kg/mm}^2$$

h : ガスケットからボルト P.C.D.までの距離
= 34.9 mm (1.37 in)

S : 材料の降伏応力 = 211 kg/mm^2

P : 内部圧力 = 0.07 kg/mm^2 (100 Psi)

$$t = 527 \sqrt{\frac{0.3 \times 0.07}{211} + \frac{1.78 \times 15,261 \times 34.9}{211 \times 527^3}} \\ = 19.50 \text{ mm}$$

蓋の厚さの余裕率 $M S$ は、

$$M S = \frac{T}{t} - 1 = \frac{28.58}{19.5} - 1 = 0.46$$

ここに、 T : 蓋の実際の厚さ = 28.58 mm (1.125 in)

ただし、本輸送時の内部圧力は 7 kg/cm^2 (100 Psi) でなく、
 0.28 kg/cm^2 であるので、充分に余裕がある。

(3) ボルト部

3.1 ボルトの主仕様

蓋取付ボルトの主仕様は、次の通りである。

ボルトの本数 12

ボルトの呼び径 25.4 mm (1 in) BSW

ネジの平均径 23.4 mm

ネジのピッチ	3.17 mm
ネジ山の角度	5.5°
摩擦係数	0.14
ボルトの谷径	21.3 mm
蓋の孔径	28.5 mm
ボルトの断面積(谷底径にて)	35.6 mm²

3.2 ボルトの初期締め付けトルクによる応力

蓋を取り付けるときに蓋取付けボルトに作用するトルクは、

6,900 kg-mm (50 ft-lbs) である。

ネジのリード角を α とすると、 α は、次式で求められる。

$$\tan \alpha = \frac{P}{\pi D} = \frac{3.17}{\pi \times 23.4} = 0.043$$

$$\alpha = 2.5^\circ$$

また、みかけの摩擦係数 ϕ は、

$$\tan \phi = \frac{\text{真の摩擦係数}}{\cos \theta/2} = \frac{0.14}{0.887} = 0.158$$

$$\phi = 9^\circ$$

機械工学便覧(参考文献 A.7)より $\phi = 9^\circ$ の場合、ネジ面の摩擦に打ち勝つに必要なトルクは、ボルト軸力を W kg とすると、必要なトルク T kg-mm は、

$$T = W R \tan(\alpha + \phi)$$

ここに、 R = ネジ摩擦面の平均半径 = 11.7 mm

$$\begin{aligned} T &= W \times 11.7 \times 0.203 \\ &= 2.375 W \text{ kg-mm} \end{aligned}$$

全締め付けトルクは、ネジ及びナット座面の摩擦力に必要なトルクであるから、上式に数値を代入すれば、次のようなになる。

ナット座面の摩擦力は、機械工学便覧(参考文献 A.7)より 2.731 W とした。

$$6,900 = 2.375W + 2.731W$$

したがって、ボルトに生じる軸力W kgは、

$$W = \frac{6900}{5.106} = 1,351 \text{ kg}$$

3.3 通常時の最大内部圧力により蓋取付けボルトに生じる応力

最大内部圧力P kg/cm²は、設計上7 kg/cm² (100 Psi)とした。蓋部の有効径d mmは、513 mm (20.19 in)であるので、蓋部の有効面積A mm²は $\frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 513^2}{4} = 2,066 \text{ cm}^2$ である。したがって、蓋部に作用する全荷重W' kgは次の通りである。

$$W' = P \times A = 7 \times 2066 = 14,460 \text{ kg}$$

ボルト1本あたりの荷重は、次の通りである。

$$P = \frac{14,460}{12} = 1,205 \text{ kg}$$

したがって、圧力によりボルトに生じる応力σ kg/mm²は、次の通りである。

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{1,205}{356} = 3.3 \text{ kg/mm}^2$$

$$A : \text{ボルトの有効断面積} = 356 \text{ mm}^2$$

一方、初期締付けトルクによる応力σ_aは、次の通りである。

$$\sigma_a = \frac{W}{A} = \frac{1351}{356} = 3.7 \text{ kg/mm}^2$$

$$A : \text{ボルトの有効断面積} = 356 \text{ mm}^2$$

ゆえに、ボルトに生じる全応力σ_t kg/mm²は、

$\sigma_t = \sigma + \sigma_a = 3.3 + 3.7 = 7.0 \text{ kg/mm}^2$ である。
ボルトの応力の余裕率MSは、

$$MS = \frac{\sigma_T}{\sigma_t} - 1 = \frac{8.4}{7.0} - 1 = 1.1.0$$

ここで、 σ_T ： 材料の引張り降伏応力 = 8.4 kg/mm^2

A.5.1.4 許容応力との比較

□章A.4.3から□章A.5.1までに解析した結果を□表A.6
3に示した。

A.5.1.5 低温強度

本容器は、B()型であり、本体は -40°C まで周囲温度が低下しても使用に耐える材料が選定され、かつ材料試験により、その性質を確認されている。

A.5.2 圧 力

□章A.6.4に記述しているように、本項の規定外圧よりも高い 1.5 kg/cm^2 の外圧においても本容器は規準に合致している。
したがって、本項についても基準に合致している。

A.5.3 振 動

振動によりボルトのゆるみを生じないような、トルクで締め付けられる。例えば、蓋ボルトは、 6.9 kg-m (50 ft-lbs) のトルクで締め付けられるが、この値は輸送中ゆるまない値であることが経験的に知られている。また、固縛装置により何れの方向に対しても $2G$ に耐えるように締め付けられている。また、固有振動数も約 260% と高く共振はしない。したがって、輸送時に生じる応力は、少く安全を損うことはない。

A.5.4 水 噴 霧

本容器は、 $1.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ の外圧に耐えるよう設計されているので、水噴霧試験において、容器内に浸水する恐れはない。

本容器の外面は、ステンレス鋼製で、水等による錆の発生を防止し、除染しやすいようになっている。

A.5.5 自由落下

本項の自由落下距離は、 0.3 m であるが口章 A.6.1 における事故時試験においては 9 m 落下である。

したがって、自由落下の本容器におよぼす影響は、 9 m 落下のそれより小さい。 9 m 落下の場合にも口章 A.6.1 に述べるよう本容器は規準に合致する。

よって、本容器は、本項目の自由落下に対しても基準に合致している。

A.5.5.1 コーナー落下

A.5.5 自由落下の項で述べたものと同じ。

A.5.6 貫 通

本項の試験条件よりも、口章 A.6.2 で説明される試験条件の方が、輸送容器に対する影響が大きい。しかし、口章 A.6.2 に述べるような条件にあっても基準に合格している。

したがって、本条件においても本容器は基準に合致している。

A.5.7 圧 縮

本項では、本輸送容器を 5 個積んだ荷重が、 $0.13 \text{ kg}/\text{cm}^2$ の圧縮応力を生じる荷重より大きいので、容器を 5 個垂直に積んだとして解析する。

1 個分の重量 $10,800 \text{ kg}$

5 個分の重量 $10,800 \text{ kg} \times 5 = 54,000 \text{ kg}$

この荷重により、最下段の容器の本体に生じる圧縮応力 σ_c kg/mm² は、

$$\sigma_c = \frac{W}{A} = \frac{54,000}{33,300} = 1.62 \text{ kg/mm}^2$$

ここで、W：荷重 = 54,000 kg

$$A : \text{外筒断面積} = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi (848^2 - 822.6^2)}{4}$$
$$= 33,300 \text{ mm}^2$$

D：外筒の外径 = 848 mm

d：外筒の内径 = 822.6 mm

本体の圧縮応力の余裕率MSは、

$$MS = \frac{\sigma_y}{\sigma_c} - 1 = \frac{21.1}{1.62} - 1 = 12$$

ここで、 σ_y ：降伏圧縮応力 = 21.1 kg/mm²

A.6 事故時条件

事故時条件は、輸送物が最大破損をうけるよう、同一の輸送物について落下試験Ⅰ及び落下試験Ⅱを行なった後、他の試験の解析をしている。
また、浸漬試験は、健全な輸送物について解析している。

A.6.1 落下試験Ⅰ

落下試験Ⅰは、輸送物が最大破損をうけるよう、平らな降伏しない落下試験台上に9m高さから輸送物を落下させるものである。
輸送物は、輸送中は架台及び固縛装置がないものとして、解析を行う。

A.6.1.1 垂直落下

(1) 底部から垂直落下する場合 (図A.6-1 参照)

容器が、底部から垂直に 9 m 落下した場合、

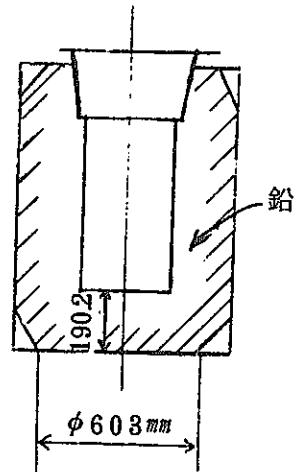
その落下エネルギーを、鉛遮蔽体の変形により吸収し得るかを解析する。

9 m 落下した場合のエネルギー E kg-mm は

$$E = H \times W = 9,000 \times 10,800 \\ = 972 \times 10^5 \text{kg-mm}$$

ここに、H： 落下した高さ = 9,000 mm

W： 容器の重量 = 10,800 kg



図A.6-1 本体モデル図

落下時の鉛遮蔽体の変形量 δ mm は、

$$\delta = \frac{E}{P A} = \frac{972 \times 10^5}{7.03 \times 285 \times 10^3} = 48.7 \text{mm (1.92 in)}$$

ここに、E： 落下した場合のエネルギー = $972 \times 10^5 \text{kg-mm}$

$$A : \text{エネルギーを吸収する面積} = \frac{\pi \times 603^2}{4} \\ (\text{図A.6-1 参照}) = 285,430 \text{mm}^2$$

$$P : \text{鉛の運動抵抗値} = 7.03 \text{kg/mm} \\ (10,000 \text{Psi})$$

底部の鉛遮蔽体の厚さは、190.2 mm あり、鉛遮蔽体が変形した後、
 $190.2 - 48.7 = 141.4 \text{mm}$ 残る。

この場合の衝撃時の速度 S は、

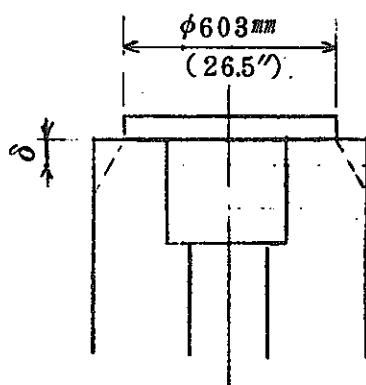
$$S = \frac{H}{\delta} = \frac{9,000}{48.7} = 184 \text{G}$$

ここに、H： 落下した高さ = 9,000 mm

(2) 蓋方向から垂直落下する場合

蓋方向から垂直に落下する場合には、先ずトラニオンや蓋の吊具によって、後述のように減速され、エネルギーを吸収されるが、これらの本体以外のものに吸収されるエネルギーは少ないので無視し、落下エネルギーは、すべて輸送容器本体の鉛遮蔽体の変形によって、吸収されると考えた場合のエネルギー $E \text{ kg-mm}$ は、

$$E = H \times W = 9,000 \times 1,0800 \\ = 972 \times 10^5 \text{ kg-mm}$$



ここに、 H ：落下する高さ = 9,000 mm

W ：容器の重量 = 1,0800 kg

このエネルギーが、すべて輸送容器の上部（図 A.6-2 参照）の鉛遮蔽体の変形によって吸収される場合の変形量 δ mm は、

図 A.6-2 上部モデル図

$$\delta = \frac{E}{A P} = \frac{972 \times 10^5}{355,500 \times 7.03} = 38.9 \text{ mm (1.53 in)}$$

$$\text{ここに、} E : \text{ 落下エネルギー} = 972 \times 10^5 \text{ kg-mm} \\ (8.5 \times 10^6 \text{ in. lb.})$$

$$A : \text{ 変形する面積} = \frac{\pi \times 673^2}{4} = 355,500 \text{ mm}^2$$

$$P : \text{ 鉛の流動抵抗値} \\ = 7.03 \text{ kg/mm}^2 (10,000 \text{ Psi})$$

この場合、蓋及び本体は変形するが、

蓋内の鉛の厚さは 197 mm (7.75 in) あり、落下後の鉛の厚さは、
 $197 - 38.9 = 158 \text{ mm}$ 残る。

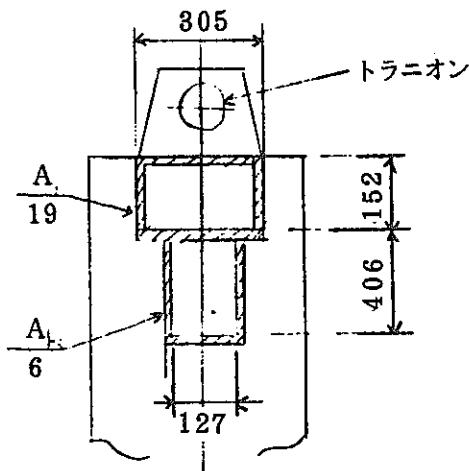
なお、この場合の衝撃時の減速度 S は、

$$S = \frac{H}{\delta} = \frac{9,000}{38.9} = 231 G$$

ここに、H： 落下した高さ = 9,000 mm

(a) 蓋方向から垂直落下する場合（トラニオン部分の強度図）

A - 6 - 3 参照



蓋方向から垂直に落下する場合に
は、先ずトラニオンが衝撃を受け
る。この場合トラニオンの溶接部
が剪断されると推定されるので溶
接部の強度を計算する。

図 A.6 - 3 本体上部モデル図

溶接部が耐える剪断力 F kg は、

$$\begin{aligned} F &= F_s \times A \times C = 12.5 \times 22900 \times 0.8 \\ &= 230 \times 10^3 kg \end{aligned}$$

ここに、F_s： 溶接部の剪断降伏応力 = 12.5 kg/mm²

$$\begin{aligned} A_s : \text{溶接面積} &= 2(305 + 152) \times 19 + (406 \times \\ &2 + 127) \times 6 \\ &= 22,900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

C : 溶接効率 = 0.8

この剪断力を受け止める際の減速度 S は、

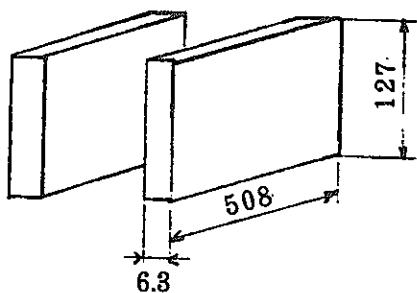
$$S = \frac{F}{W} = \frac{230 \times 10^3}{10,800} = 21.2 G$$

ここに、W： 容器重量 = 10,800 kg

(b) 蓋方向から垂直落下する場合（蓋吊具の強度）

蓋方向から垂直落下時トラニオンを無視し、蓋の吊具が衝撃を受けるとして解析する。（ロ一図 A.6-4 参照）

蓋の吊具の曲げ応力 $\sigma \text{ kg/mm}^2$ は、



$$\sigma = \frac{1,260 E}{1 - \gamma^2} \left(\frac{t}{b} \right)^2$$

ここで、

$$E : \text{弾性率} = 2.04 \times 10^6 \text{ kg/mm}^2$$

$$\gamma : \text{ポアソン比}$$

$$= 0.3$$

ロ一図 A.6-4 蓋吊具モデル図

$$t : \text{厚さ} = 6.3 \text{ mm} (0.25 \text{ in})$$

$$b : \text{巾} = 508 \text{ mm} (20 \text{ in})$$

$$\sigma = \frac{1,260 \times 2.04 \times 10^4}{1 - 0.3^2} \times \left(\frac{6.3}{508} \right)^2 = 3.81 \text{ kg/mm}^2 \\ (5,430 \text{ Psi})$$

この曲げ応力を生じる荷重 $F \text{ kg}$ は、

$$F = \sigma \times t \times b = 3.81 \times 12.6 \times 508 = 24,400 \text{ kg} \\ (54,000 \text{ lb})$$

$$\text{ここで、} \sigma : \text{曲げ応力} = 3.81 \text{ kg/mm}^2$$

$$t : \text{厚さ} \times 2 = 6.3 \times 2 = 12.6 \text{ mm} (2 \text{枚分})$$

$$b : \text{幅} = 508 \text{ mm}$$

蓋吊具による減速度 S は、

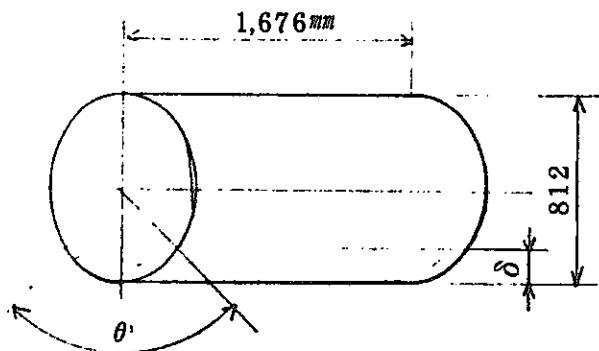
$$S = \frac{F}{F'} = \frac{24,400}{10,800} = 2.26 G$$

ここで、 $F' = \text{容器重量による重力} = 10,800 \text{ kg}$

A.6.1.2 水平落下

1. 水平落下時の本体強度(ローレンツ A.6-5 参照)

輸送容器が、架台から分離した状態で水平に落下し、強い衝撃を受けた場合、その落下のエネルギーが、



鉛遮蔽体にすべて吸収されると考
える。この場合の輸送容器の落
下のエネルギー $E \text{ kg-mm}$ は、

$$E = HW = 9,000 \times 10,800 \\ = 972 \times 10^5 \text{ kg-mm}$$

ローレンツ A.6-5 水平落下モデル図

ここで、H : 落下する高さ = 9,000 mm

W : 容器の重量 = 10,800 kg

鉛が変形する体積 $V \text{ mm}^3$ は、

$$V = \frac{E}{P} = \frac{972 \times 10^5}{7.03} = 138.2 \times 10^5 \text{ mm}^3 \quad (850 \text{ in}^3)$$

ここで、E : 落下エネルギー = $972 \times 10^5 \text{ kg-mm}$

P : 鉛の流動抵抗値

$$= 7.03 \text{ kg/mm} \quad (10,000 \text{ Psi})$$

容器が落下し、ローレンツ A.6-5 図示すように変形すると、変形した斜
線部の容積 $V \text{ mm}^3$ は、次式で表わされる。

ここで、角度 θ は、水平落下で偏平化した部分の中心角である。

$$\theta - \sin\theta = \frac{8V}{d^2 L} = \frac{8 \times 138.2 \times 10^5}{812^2 \times 1676} = 0.1007$$

$$\theta = 4.9^\circ$$

ここで、 θ : 角度

V : 変形した体積 = $138.2 \times 10^5 \text{ mm}^3$ (850 in^3)

d : 鉛遮蔽体の外径 = 812 mm (32 in)

L : 鉛遮蔽体の長さ = 1,676 mm (66 in)

落下後の鉛遮蔽体の変形量 δ mm は、

$$\delta = \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) \frac{d}{2} = \frac{(1-0.91) \times 812}{2} \\ = 36.5 \text{ mm} (1.44 \text{ in })$$

すなわち、容器が水平落下すると 36.5 mm 变形するが、この部分の鉛遮蔽体の厚さは、 $203 - 36.5 = 166.5 \text{ mm}$ 残る。

なお、この場合の衝撃時の減速度 S は、

$$S = \frac{H}{\delta} = \frac{9,000}{36.5} = 246 \text{ G}$$

ここに、H : 落下した高さ = 9,000 mm

2. 蓋締付ボルト

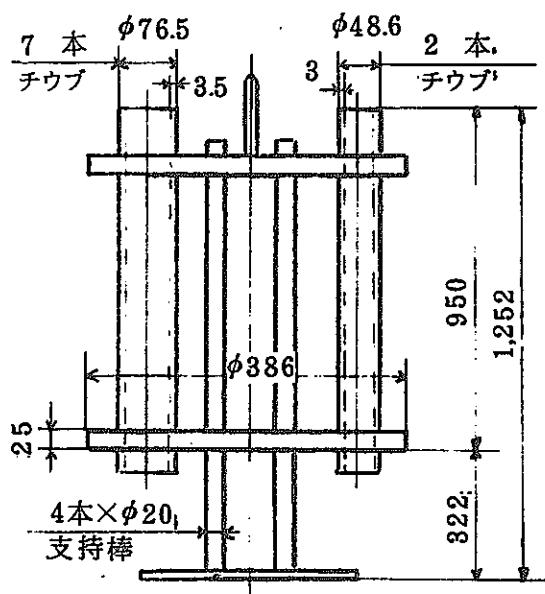
容器が、水平落下時、蓋締付ボルトについて解析する。

蓋締付ボルトの直径 25.4 mm (1 in) に対しての蓋のボルト穴は、直径 28.6 mm (1 1/8 in) であり、ボルトと穴との円周方向の隙間は 1.6 mm ある。

一方、蓋と容器本体との円周方向の隙間は 0.8 mm である。このため、水平落下時蓋は、衝撃により若干円周方向に移動するが、蓋締付ボルトが蓋の穴に接触して、剪断力を生じる前に、蓋は、内部で容器本体に接触する。故に、水平落下時、蓋締付ボルトには、剪断力は生じないと考える。

3. インナーバスケットの強度(ローアーA.6-6参照)

(1) 垂直落下の場合



ローアーA.6-6 インナーバスケットモデル図

落下による圧縮応力 σ_c (kg/mm^2)

は、

$$\sigma_c = \frac{W S}{A}$$

ここで、

W : バスケットの重量 $110kg$

収納物重量 $96kg$

計 $206kg$

S : 加速度 $= 2.31G$

A : 支持棒の断面積

$$4 \times \frac{\pi \times 20^2}{4} = 1250mm^2$$

A : パイプの断面積

$$7 \times \frac{\pi (76.3^2 - 69.3^2)}{4} = 5,780mm^2$$

$$2 \times \frac{\pi (48.6^2 - 42.6^2)}{4} = 863mm^2$$

合計 $6,643mm^2$

支持棒の圧縮応力 σ_c kg/mm^2 は、

$$\sigma_c = \frac{206 \times 2.31}{1,250} = 37.8 kg/mm^2$$

パイプ部の圧縮応力 σ kg/mm^2 は、

$$\sigma = \frac{206 \times 2.31}{6,643} = 7.1 kg/mm^2$$

この場合の余裕率 M.S. は、

$$M\ S = \frac{\sigma_y}{\sigma} - 1 = \frac{18.4}{7.1} - 1 = 1.59$$

ここで、 σ_y : ステンレス鋼の降伏応力 = 18.4 kg/mm²
(152°Cにおいて)

インナーバスケットの支持棒は座屈するが、収納物が入るインナーバスケットの収納筒部は、十分な強度があり、収納物は影響されない。

(2) 水平落下の場合

インナーバスケットが、9mの高さから水平落下する場合の自重による圧縮応力 σ_c kg/m² は、

$$\sigma_c = \frac{W S}{A}$$

ここで、W : インナーバスケットの重量 110 kg

収納物の重量 96 kg = 206 kg

S : 加速度 = 246 G

A : 25 × 180 × 2 = 9,000 mm²

内筒内径は、393.7 mm (15.5 in) でインナーバスケット外径は、386 mm であるため、180 mm の周長だけ内筒に接するとする。

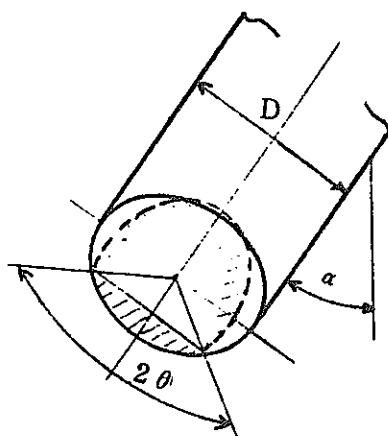
$$\sigma_c = \frac{206 \times 246}{9,000} = \frac{50,676}{9,000} = 5.6 \text{ kg/mm}^2$$

この場合の余裕率 M S は

$$M\ S = \frac{\sigma_y}{\sigma_c} - 1 = \frac{18.4}{5.6} - 1 = 2.28$$

ここで、 σ_y : ステンレス鋼の降伏応力 = 18.4 kg/mm²
(152°Cにおいて)

A.6.1.3 コーナー落下



輸送容器が、コーナーから落下した場合には、図A.6-7に示すようになる。

この場合、前述のように落下のエネルギーが、すべて鉛遮蔽体の変形により吸収されると考える。

落下のエネルギー $E \text{ kg-mm}$ は、

$$E = HW = 9,000 \times 1,0800 \\ = 972 \times 10^5 \text{ kg-mm}$$

ここに、H：落下する高さ = 9,000 mm

図A.6-7 水平落下モデル図 W：容器重量 = 10,800 kg

このエネルギーを吸収するため、変形する鉛遮蔽体の体積 $V \text{ mm}^3$ は、

$$V = \frac{E}{P} = \frac{972 \times 10^5}{7.03} = 138.2 \times 10^5 \text{ mm}^3 (850 \text{ in}^3)$$

ここに、E：落下のエネルギー = $972 \times 10^5 \text{ kg-mm}$

P：鉛の流動抵抗値 = 7.03 kg/mm^3 ($10,000 \text{ Psi}$)

この場合の体積 $V \text{ mm}^3$ は、次式により表わされる。

$$V = \left(\frac{D}{2} \right)^3 \tan \alpha \left(\sin \theta - \frac{\sin^3 \theta}{3} - \theta \cos \theta \right)$$

ここに、D：容器の外径 = 848 mm (33.37 in)

α ：傾斜角度 $\tan \alpha$

$$= \frac{D}{H} = \frac{848}{1,832} = 0.462$$

ここに、H：容器の高さ = 1,832 mm

これより $\alpha = 24.75^\circ$

図示した中心角 θ は、次式により求められる。

$$V = \left(\frac{848}{2} \right)^3 \times 0.461 \left(\sin \theta - \frac{\sin^3 \theta}{3} - \theta \cos \theta \right)$$

この式より

$$\left(\sin \theta - \frac{\sin^3 \theta}{3} - \theta \cos \theta \right) = \frac{138.2 \times 10^5}{\left(\frac{848}{2} \right)^3 \times 0.461} = 0.396$$

これより θ を求めると、 $\theta = 79^\circ$ となる。

鉛遮蔽体の厚さは、側面が 203 mm (8 in)、底面側が 190.2 mm (7.5 in) である。

一方、上記の計算から求められた、変形量は、コーナと重心を結ぶ線上では 143 mm (5.63 in) である。

したがって、鉛遮蔽体の残る厚さの最小は、コーナ部で 115 mm (4.53 in) である。

なお、この場合の衝撃時の減速度 S は、

$$S = \frac{H}{\delta} = \frac{9,000}{143} = 63 G$$

ここに、H : 落下する高さ = 9,000 mm

A.6.1.4 傾斜落下

この場合は、垂直落下とコーナ落下、あるいはコーナ落下と水平落下の中間の落下であり、落下エネルギーは、回転モーメントとなるので、エネルギー吸収及び減速度に関しては、垂直落下、水平落下、コーナ落下より厳しくなることはない。したがって、傾斜落下に対しては輸送物は十分耐えられる。

A.6.1.5 結果の要約と検討

1. 計算結果

計算結果は、次の通りである。

計算ケース	鉛遮蔽体の厚さ (mm)		減速度	結果
	変形する厚さ	変形後残る厚さ		
垂直落下	48.7	141.5	184G	1.本体がいくらか变形するが、密封性に影響なし
蓋方向垂直落下	38.9	158	231G	
水平落下	36.5	166.5	246G	
コーナー落下	143	115	63G	2.収納物に有意な影響なし

2. 検討

以上のことより、9m自由落下試験を受けた場合、輸送物は、輸送架台、固縛装置等の緩衝効果を無視しても、輸送物本体の変形で落下エネルギーを吸収することができ、十分その衝撃力に耐えられる。

A.6.2 落下試験Ⅱ

落下試験Ⅱは、輸送物が破損を受けるよう、直径150mmの軟鋼棒上に1mの高さから輸送物を落下させるものである。

この項は、Oak Ridge National Laboratoryによって開発された、鉛を充填した輸送容器の必要な外板の最小厚さの実験式によって解説した。

その実験式は、次の通りである。

$$t = 25.4 \left(\frac{15.4 W}{F_{tu}} \right)^{0.71}$$

ここに、 t : 必要な外板の最小厚さ (mm)

W : 輸送物の重量 = 10,800 kg (23,600 lb)

F_{tu} : 引張り強さ = 52.7 kg/mm² (75,000 Psi)

それ故に、必要な外板の厚さ (mm) は、

$$t = 25.4 \left(\frac{15.4 W}{F_{tu}} \right)^{0.71} = 25.4 \times \left(\frac{15.4 \times 10,800}{52.7} \right)^{0.71} = 11.1 \text{ mm (0.44 in)}$$

外筒の必要な肉厚は、11.1 mm であり、実際の肉厚は 12.7 mm (0.5 in) あり、この式を満足する。

この場合の余裕率 MS は、

$$MS = \frac{T}{t} - 1 = \frac{12.7}{11.1} - 1 = 0.14$$

T は実際の厚さ 12.7 mm (0.5 in)

A 6.2.1 結果の要約と検討

外筒の肉厚は上記の通り余裕があり、蓋及び底板は、外筒より厚いのでより安全であると考えられる。

A.6.3 熱的試験

A.6.3.1 圧力及び温度の要約

事故時における輸送容器各部の最高圧力及び最高温度は、口章 B.5 で求められている。最高圧力及び最高温度の要約を 口一表 A.6-1 に示す。

口一表 A.6-1 事故時の最高圧力及び最高温度

部 位	最 高 圧 力	最 高 温 度
積層外筒		466 °C
外筒		437 °C
内筒		293 °C
内筒内空気	0.96 kg/cm ²	293 °C

熱膨張については、口章 A.5.1.2 で説明したと同様の考え方により、互いに拘束し合う積層外筒と外筒に対して検討する。応力計算については口章 A.5.1 で説明したと同様の考え方により、圧力による応力を検討するが、応力計算を行なう部位を、口表 A.6-2 に示す。

口表 A.6-2 圧力に対し応力計算をする部位

圧 力	圧力に対して計算される部位の名称
内筒内の圧力	胴 部

A.6.3.2 熱膨張と応力計算

熱膨張差により積層外筒及び外筒に生じる応力は、口章 A.5.1.2 と同様の方法で求められる。積層外筒と外筒の温度差が最大になる時、応力は最大になるが、この場合も、積層外筒に生ずる応力が外筒のそれよりも大きい。

熱応力を求める計算式は、次に示す式である。

$$\sigma_t = \alpha \Delta t E \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

ここで、 σ_t : 最大熱応力 (kg/mm^2)

α : 線膨張係数 = $1.8 \times 10^{-5}/^\circ C$

Δt : 温度差 = $31^\circ C$

E : 弹性率 = $19,000 kg/mm^2$

t_1 : 外筒板厚 = $12.7 mm$

t_2 : 積層外筒板厚 = $3.05 mm$

したがって、熱応力 σ_t kg/mm^2 は、

$$\begin{aligned} \sigma_t &= 1.8 \times 10^{-5} \times 31 \times 19,000 \times \frac{12.7}{12.7 + 3.05} \\ &= 8.5 \text{ } kg/mm^2 \end{aligned}$$

A.6.3.3 許容応力の比較

積層外筒には 8.54 kg/mm^2 の圧縮応力が軸方向に生じる。

この応力は、降伏応力を超しているので、積層外筒は、圧縮され変形するが、変形すれば降伏応力以上にはならず、その後の温度上昇によっても、応力は増大しない。

したがって、有意な変形は生じない。

圧縮強度は 21.1 kg/mm^2 であるので、余裕率 MS は、

$$MS = \frac{21.1}{8.54} - 1 = 1.48$$

圧力による応力計算

輸送容器の応力計算は、口章 A.5.1.3 において器内圧力 7 kg/cm^2 の場合における各部の応力計算がしてあるので、本項では、器内圧力 0.96 kg/cm^2 における胴部のみの検討を行う。胴部の肉厚は、次式による。

$$t = \frac{P \times R}{S_E - 0.6P}$$

ここに、
t : 内筒肉厚 (mm)

P : 内部圧力 = 0.0096 kg/mm^2

R : 内筒半径 = 197 mm

S : 材料の引張 = 21.1 kg/mm^2
許容応力

E : 溶接効率 = 0.7

$$t = \frac{0.0096 \times 197}{21.1 \times 0.7 - 0.6 \times 0.0096} = 0.13 \text{ mm}$$

したがって、肉厚の余裕率 MS は、

$$MS = \frac{T}{t} - 1 = \frac{6.35}{0.13} - 1 = 47.8$$

ここで、T : 実際の肉厚 = 6.35 mm

蓋、底板なども同じように充分な余裕率を有する。

A.6.4 浸漬

容器に、 1.5 kg/cm^2 の外圧がかかったとして、応力の計算を行う。

1. 胴部 (図 A.6-9 参照)

外圧 $P \text{ kg/cm}^2$ が加わる外径 $D \text{ mm}$ の薄肉円筒の応力 $\sigma \text{ kg/mm}^2$ は、

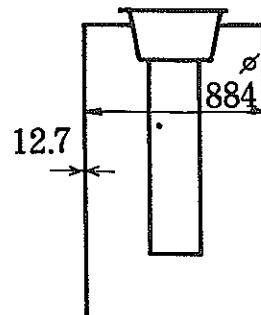
$$\sigma = \frac{P D}{2 t}$$

ここで、P : 外圧力 = 0.015 kg/mm^2

D : 外筒外径 = 84.8 mm

t : 円筒肉厚 = 1.27 mm

$$\sigma = \frac{0.015 \times 84.8}{2 \times 1.27} = 0.50 \text{ kg/mm}^2$$



応力の余裕率 MS は、

図 A.6-9 胴部モデル図

$$MS = \frac{\sigma_y}{\sigma} - 1 = \frac{21.1}{0.5} - 1 = 41.2$$

ここで、 σ_y : 材料の降伏応力 = 21.1 kg/mm^2

2. 上部端板及び底板

圧力 $P \text{ kg/cm}^2$ が加わる半径 $r \text{ mm}$ 、厚さ $t \text{ mm}$ の円板の応力 $\sigma \text{ kg/mm}^2$ は、

$$\sigma = \frac{3 P r^2}{8 m t^2} (3m + 1)$$

ここで、P : 圧力 = 0.015 kg/mm^2

r : 半径 = 42.4 mm

t : 厚さ = 19.1 mm

m : 1/ポアソン比 = 3.33

$$\text{よって、} \sigma = \frac{3 \times 0.015 \times 42.4^2}{8 \times 3.33 \times 19.1^2} (3 \times 3.33 + 1) = 11.2 \text{ kg/cm}^2$$

したがって、余裕率 MS は、

$$MS = \frac{\sigma_y}{\sigma} - 1 = \frac{21.1}{11.2} - 1 = 0.89$$

口一表A.6-3 構造設計結果(1/4)

条件	項目	基準	基準値	結果	余裕率	備考
一般条件	電気的及び化学的反応					
	化 学 的 反 応	無	無	無	基 準 に 合 致	
	電 气 的 反 応	"	"	"	"	
	密 閉 装 置					
	蓋	有	有	有	"	
	弁 箱	"	"	"	"	
	吊 上 装 置					
	ト ラ ニ オン (2個)	σ_y	kg/mm^2 2 1.1	kg/mm^2 7.65	1.76	
	取 付 部	σ_y	kg/mm^2 2 1.1	kg/mm^2 0.79	2 5.7	
	蓋 吊 具 (2個)					
部件	ノ ド 部	σ_y	kg/mm^2 2 1.1	kg/mm^2 1.29	1 5.3	
	固 纏 装 置					
	垂 直 方 向			荷重 kg 7,050		
	進 行 方 向			kg " 8,948		
	横 方 向			kg " 11,450		
	a) 上 部 ボルト	σ_y	kg/mm^2 3 1	kg/mm^2 7.6	3.0	最大荷重に対して 解析している。
	b) 上 部 ヒンジ	σ_y	kg/mm^2 2 3.0	kg/mm^2 1 4.5	0.58	
通常時条件	c) タイロッド	σ_y	kg/mm^2 2 5.0	kg/mm^2 1 3.7	0.82	
	熱 的 試 験					
	1) 热 膨 張	σ_y	kg/mm^2 2 1.1	kg/mm^2 9.37	1.02	
	2) 応 力 計 算					
	1. 脊 部	T	mm 6.35	mm 0.81	6.8	

ロー表 A.6-3 構造設計結果(2/4)

条件	項目	基準	基準値	結果	余裕率	備考
通常時	2-1) 内筒底部	T	mm 19.1	mm 12.42	0.54	
	2-2) 蓋板肉厚	T	mm 28.58	mm 19.5	0.46	
	3) ボルト部	σ_y	kg/cm ² 84	kg/cm ² 7.0	11.0	
	3) 低温強度	-40°Cに耐える材料を選定している。				
常時	圧力	規定外圧よりも高い 1.5 kg/cm ² の外圧に 対しても基準に合致している。				
	振動	締付トルク	kg-m 6.9	kg-m 6.9	基準に合致	
		強度	2 G	2 G	"	
条件	水噴霧	振動数		c/s 260	"	
		吸水性	無	無	"	
		水切り	良	良	"	
自由落下	防蝕	良	良	"		
	垂 直	より厳しい事故時の解析により評価して も基準に合致している。				
	水 平					
貫通	コ ー ナ					
		より厳しい事故時の解析により評価して も基準に合致している。				
圧縮	σ_y	kg/cm ² 21.1	kg/cm ² 1.62	12		

口一表 A.6-3 構造設計結果(3/4)

条件	項目	基準	基準値	結果	余裕率	備考
事 故 時 間 条 件	落下試験 I	エネルギー 97.2×10^6	$kg-mm$			
	1) エネルギ吸收と減速度					
	垂直落下					
	変形量			48.7	残 mm 141.5	
	減速度			184 G		
	蓋方向垂直落下					
	変形量			38.9	残 mm 158	
	減速度			281 G		
	水平落下					
	変形量			36.5	残 mm 166.5	
	減速度			246 G		
	コーナ落下					
	変形量			143	残 mm 115	
	減速度			63 G		
	インナーバスケット					
	σ_y		kg/mm 18.4	kg/mm 7.1	1.59	(垂直)
	σ_c		" 18.4	" 5.6	2.28	(水平)
	落下試験 II					
	外筒肉厚		T	11.1	12.7	0.14

口一表 A.6-3 構造設計結果(4/4)

條件	項目	基準	基準值	結果	余裕率	備考
事 故 時 條 件	熱的試驗					
	1. 热膨胀					
	热应力	σ_t	kg/mm^2 2 1.1	kg/mm^2 8.54	1.48	
	胴部肉厚	T	mm 6.35	mm 0.130	47.8	
	浸漬試驗					
	胴部	σ_y	kg/mm^2 2 1.1	kg/mm^2 0.5	41.2	
	底板	σ_y	kg/mm^2 2 1.1	kg/mm^2 1 1.2	0.89	

A.6.5 破損の要約

事故時条件下における破損の要約を、各試験項目にしたがって説明する。

1. 落下試験 I

本試験では本体が変形する。

本体は、コーナ落下時に最大 143 mm 容器コーナ部が変形するが、鉛遮蔽体は約 115 mm 残り、内筒内部に有意な影響を及ぼすことはない。

本試験では収納物の破損はなく、容器の密封性も損われない。

2. 落下試験 II

本試験では容器の外板の厚さは基準を満足する。

3. 熱的試験

本試験では、密封容器が内圧により破損することはない。また、遮蔽体としての鉛は、溶融するが容器は破損しない。

4. 浸漬

本試験により、容器が破損することはない。

A.7 特別形

該当しない。

A.8 放射性収納物

本輸送物の放射性収納物は、A T R 圧力管材料の照射試験片である。

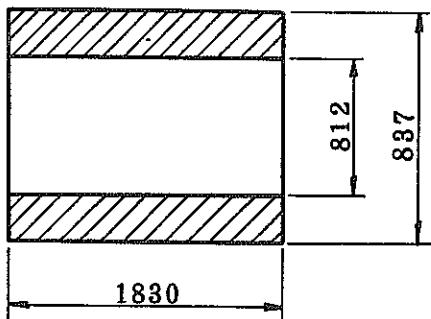
本試験片は、カプセルに入れ、さらにスペシメンホルダーに収納するか、または直接スペシメンホルダーに収納されている。

各ホルダーは、直接またはサブバスケットに格納してインナーバスケットの各収納筒に収納する。

本試験片の仕様については、イ章 C で述べた通りである。

ロ章 A.6.1 で示したように、事故時条件における 9 m 落下試験において落下衝撃をうけるとして解析した結果、インナーバスケットの支持棒は座屈するが、その他の部分は十分な強度を有し、収納物に有意な影響を生ずることはない。

A.9.1 付属書類 A.1 固有振動数について



解析モデル図を左に示す。

自重による静挠み : δ mm は、

$$\delta = \frac{W \ell^4}{8 EI}$$

ここで、

W : 単位長さの重量 (kg)

E : 弾性率 $2 \times 10^8 kg/mm^2$

I : 断面2次モーメント (mm^4)

ℓ : 長さ = 1,830 mm

d_1 : 外径 = 837 mm

d_2 : 内径 = 812 mm

よって、

$$\begin{aligned} I &= \frac{\pi}{64} (d_1^4 - d_2^4) \\ &= \frac{\pi}{64} (837^4 - 812^4) \\ &= 9.7 \times 10^{10} mm^4 \end{aligned}$$

$$W = \frac{W}{\ell} = \frac{10,000}{1830} = 5.45 kg/mm$$

$$\delta = \frac{5.45 \times 1830^4}{8 \times 2 \times 10^8 \times 9.7 \times 10^{10}} = 3.8 \times 10^{-4}$$

したがって、振動数 f (c/sec) は、

$$f = \frac{5}{\sqrt{\delta}} = \frac{5}{\sqrt{3.8 \times 10^{-4}}} = 260 c/sec$$

A.9.2 付属書類

参考文献

- A.1 "Steels for Evaluated Temperature Service"
ADUSS 43-1089-03. United States Steel (May 1970)
- A.2 "Metallic Materials and Elements for Aerospace Vehicle Structures"
MIL-HDBK-5A, Department of Defence
(February 8, 1966)
- A.3 L.B. Shappart "Cask Designers Guide"
ORNL-NSIC-681 VC-80-Reactor Technology,
Oak Ridge National Laboratory (Feb. 1970)
- A.4 J.H. Vincent Proc. Cambridge Phil Soc. X,
(1898-1900)
- A.5 山本洋一著“化学機械金属材料学”
- A.6 石森富太郎編“原子炉工学講座 4”
- A.7 日本機械学会編“機械工学便覧” 改訂第5版(昭和40年)

□
—
B

口 章 B 热 解 析

B.1. 概 要

(1) 热 設 計

本輸送容器の熱設計の要点は、容器内部に収容された照射試験片より発生する崩壊熱を外部に放散するシステムである。本輸送容器は、イ-図B、2に示すような、構造である。

内筒内に収容された照射試験片より発生する崩壊熱は、内筒内の空気の自然対流及び伝導によって内筒に伝えられる。内筒に伝えられた熱は、ガンマ線遮蔽体である環状鉛層の半径方向の伝導によって外筒に伝えられる。外筒に伝えられた熱は、外筒及び積層外筒より構成される熱遮蔽部の空気層の伝導によって積層外筒に伝えられた後、大気に放散される。

輸送容器は、陸上輸送時には、車輛上に固定され、海上輸送時には船倉内または、船上に設置されるが、Ocean Container に格納されているので、直射日光をうけることはない。試験片収納時、内筒内及び熱遮蔽部内は、空気の温度上昇及び膨脹により、圧力上昇を生じる。鉛遮蔽部の上部膨脹部及び下部膨脹部は、それぞれの仕切板に孔があけられておるので、火災時の溶融鉛の膨脅による圧力上昇に対して溶融鉛が膨脹部に流入することにより、容器を破壊より防ぐようになっている。

(2) 热 解 析

熱解析は、省令に規定された通常時条件及び、事故時条件における輸送物の熱的特性について行なった。

通常時条件における熱的条件は、次のとおりである。

- 1) 輸送物は、 38°C の大気において、太陽熱の輻射をうける。
- 2) 輸送物は、 -40°C の大気において、太陽熱の輻射をうける。

(注1)

- 3) 輸送物の容易に人の近づきうる部分の温度は、日陰において 50°C をこえないこと。(注2)

事故時条件下における熱的条件は次のとおりである。

- 1) 輸送物は、0.9 の熱放射係数をもつ 800°C の熱放射環境に 30 分間

さらされる。（耐火試験）

この場合、輸送物表面の熱吸収係数は、0.8である。（注3）

2) 事故後の輸送物は、38°Cの大気において、太陽熱の輻射をうける。

輸送物は、通常輸送時には車輛上または、船倉内に設置されるが、通常輸送時の熱解析では太陽熱の輻射を考慮する。

通常時条件及び事故時条件においては、同条件後の輸送物は、太陽熱の輻射をうけると考えて熱解析を行なった。

本輸送物は、図章A構造解析で示したように通常時条件及び事故時条件において変形を生じるので、通常時条件及び事故時条件における輸送物の熱的性能は、これらの変形の影響をうけると考えられる。通常時条件のうち、水のふきつけ試験及び圧縮試験では、輸送物は変形しないが、自由落下試験及び貫通試験において変形を生じる。

これらの最大変形は、事故時条件における変形を上廻ることはない。

したがって、事故時条件と等しいとしても表面積減少は、水平落下時の変形が36.6 mm (1.44 in)であるので伝熱面積の減少は0.4%にすぎない。よって、通常時条件においては変形していないとして解析する。

事故時条件では、上述のように本体が変形しているが、耐火試験時ににおいては、本体が変形していないと考えた方が火災にさらされる面積が多くなり、輸送容器に対する入熱量が大きくなるので安全側である。

したがって、事故時条件においても輸送物は変形していないものとして熱解析を行なった。

なお、事故時条件の熱解析は、通常輸送時から落下試験にひきつづいて耐火試験が行われるとして解析した。

(注1) 輸送中に予想される低温条件として、-40°Cを考慮する。

(注2) 本輸送物の表面温度は、日陰において50°Cを超してはならない。

(注3) 輸送物表面の熱吸収係数は、輸送物が火災にさらされた場合の0.8の方が大きいので0.8とする。

通常輸送時、通常時条件及び、事故時条件の熱解析は、差分法にもとづく3次元定常及び非常定常温度分布計算プログラムTHT-Dを用いて行なった。

(3) 最大崩壊熱

本輸送容器に収納する試験片は、イ章Cで述べたとおりである。収容試験片の崩壊熱は、イー表C1に示してある。

計算の結果、全試験片の合計の崩壊熱は、29Wである。

また、試験片の照射条件は、イー表C2に示した。

(4) 热解析の条件と方法

熱解析の条件をロー表B.1-1に示す。熱解析の方法をロー表B.1-2に示す。

なお、Battelle Memorial Instituteにて申請された安全解析書には、内筒内の解析が行われておらず、かつ発熱量も1.5kWで行っている。

本輸送の際の発熱量は、29Wであるが、前者との整合性及び安全側の解析になると言う意味で、内筒内は29W、その他は1.5kWとした。

また、大気温度についても、同様の理由により、通常輸送時及び通常時条件で38°Cと54°Cを併用し、事故時では54°Cの大気温度を採用了した。

ただし、通常時条件下における表面温度を求める際は、大気温度を38°C、崩壊熱量29W(グラフでは50Wの値を代用した。)とした。

口-表B.1-1 热解析の条件

項 目	条 件	通常輸送時 または 通常時条件下	通常輸送時 または 通常時条件下	事故時条件下			通常時条件 (表面温度を求めるための解析)
				火災前	火災時	火災後	
内筒 より 大気 まで	崩壊熱量	1.5 kW	1.5 kW	1.5 kW	1.5 kW	1.5 kW	29W
	環境 条件	周囲温度 54°C	静止空氣 38°C	静止空氣 54°C	火災30分間 800°C	静止空氣 54°C	静止空氣 38°C
	太陽熱輻射	あり	あり	あり	なし	あり	なし
	周囲輻射率	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0
内筒 内	容器表面輻射率	—	—	—	0.8	0.8	—
	崩壊熱量	29W	29W	29W	29W	29W	
	収納物 バスケット などの取扱方法	個別	個別	均質化	均質化	均質化	

ロ一表 B.1-2 热 解 析 の 方 法

項 目		内 容
最大崩壊熱	試験片	重量 約 9 6 kg
	及びスペシメンホルダー	スペシメンホルダー数 9
	最大崩壊熱(合計)	2 9 W
熱計算モデル (ロ一図B.1-1参照)	輸送物	3次元、半径方向熱伝達モデル
	収納物	均質化近似したコード計算及び筆算
熱計算方法	輸送物温度分布計算	温度分布計算プログラム、THT-D
	使用物性値	ロ一表 B.1-3 材料の熱的性質 参照
最大内圧	内筒内圧	$\frac{P V}{T} = \text{一定}$
最大熱応力		ロ章 A 構造解析 参照

(5) 結 果

解析は、THT-D計算コードにより行われた。（本コードは Battelle Memorial Instituteにおいて使用可能の汎用熱伝導プログラムであり、B.6.3.に説明してある。）

BMI-1輸送容器の中央部を代表する円筒部分を解析した。図B.1-1は、熱解析モデルと要素及びその番号を示したものである。

火災時の安全性を考慮して外筒の外側に3.05mm(0.12in)の積層外筒を設け、熱遮蔽部としている。

積層外筒は、外筒表面より1.6mm(1/16in)離れておるが、適当な間隔で点溶接されて、熱遮蔽部としての空気層を形成している。

この空気層は、耐火試験の熱衝撃を緩和する効果がある。

通常輸送時の温度は（即ち耐火試験の開始直前の状態）、図B.1-2に示したが、これは1.5kWの崩壊熱で54°C(130°F)の大気温度の場合の容器各部の温度を示している。

この計算の妥当性を示すために図B.1-3を示す。

この図には、崩壊熱と大気温度をパラメータとして、容器表面温度を記入してある。実験によれば、このBMI-1容器により1.4kWの崩壊熱、大気温度21.2°C(70°F)の時の外面温度は、54°C(130°F)である。

一方、計算によれば56.1°C(133°F)であり、良く一致している。したがって、本解析結果は信頼して良いと考える。

ただし、実際には崩壊熱量は29Wであるので、大気温度が38°Cの場合の表面温度は、図B.1-3によれば50Wとしても104°F、したがって、40°Cである。また、付属文書にも記述したように、TRUMPコードで太陽熱なし（日陰において）の場合41.3°Cである。したがって、省令に定められた通り、日陰において50°Cを超えていない。

事故時においては、計算上の余裕をみるために、内筒内の熱容量がないもの（または内筒内が空）として耐火試験時の温度解析を行う。

鉛が鋳込み後、外筒より収縮することはよく言われておるので（製造上の経験によれば $1.5 \sim 2.5 \text{ mm}$ ($0.06 \sim 0.10 \text{ in}$) の隙間にもなる。解析モデルとしては変化する空隙要素番号 118 を含めて 図 B 1 - 4 に示すような温度と共に増加する熱伝導率を考えて、各要素の温度変化を計算した結果を 図 B 1 - 5 に示した。要素番号 124 で示される 3.05 mm (0.12 in) 厚さの積層外筒は、熱容量が小なので、熱衝撃に対して急速に応答する。外筒は 1.26 mm ($\frac{1}{2} \text{ in}$) の厚さのため、ある大きさの熱容量しかないので、それにつづいて温度が上昇する。火災開始後、短時間で火災熱のために内筒温度と鉛層温度の逆転を生ずる。（点 A）。更に熱が伝わると外筒に接する空隙（要素番号 118）が、鉛の熱膨脹により、つぶされるようになる。鉛の溶け初めは、火災開始後 16 分と計算されるが、図 B 1 - 5 に示すように、鉛の溶融潜熱による熱吸収のために、温度応答において逆転が生じている。（点 B）

更に時間が経過すると、鉛の溶融界面が内側に進み、外筒温度も上昇する。

溶融界面を 図 B 1 - 6 に、時間と位置をパラメータとして示した。鉛層の外径は、 407 mm (16 in) であり、その溶解部の径方向深さは 41.9 mm (1.65 in) である。

再凝固の開始は、試験開始後約 33 分後に内側から、また、40 分後に外側から始まる。

この解析からわかるように、もしも計算に使った初期温度から耐火試験に入れば鉛の溶融は、全鉛の 34 % である。しかも、鉛の溶融温度に応じて膨脹するため、その体積の 3.8 % [$9,420 \text{ cm}^3$ (574 in^3)]だけ融溶の際に排出せねばならない。

したがって、それは全体積の 1.29 % に相当し、設けられている膨脹部の体積 $1,235 \text{ cm}^3$ (752 in^3) に対し充分少であり、鉛の膨脹による圧力上昇及び破損は起りえない。溶融鉛が、膨脹部へ流入するための遮蔽に対する影響は、遮蔽解析において解析しているが充分省略を満足している。

蓋部、底部、及びコーナ部の解析は、行っていないが、上記の解析には、この部分まで拡大しても安全なだけの余裕をみてあると考える。例えば、蓋の厚さは、 28.6 mm ($1\frac{1}{8}\text{ in}$)、及び容器上部は 19.0 mm ($\frac{3}{4}\text{ in}$) である。これらの部分は、内部の空隙にそっているので（蓋では 6.4 mm ($\frac{1}{4}\text{ in}$)、隅では膨脹部）この部分における鉛の溶融は起らない。

同様の計算をTRUMPコードにより、 38°C 、 29W の場合について行ったが、本解析より低い温度となり、本解析の安全性を示すことになった。これを B.6.2.4に記述した。

（TRUMPコードについては、B.6.4に説明した。）

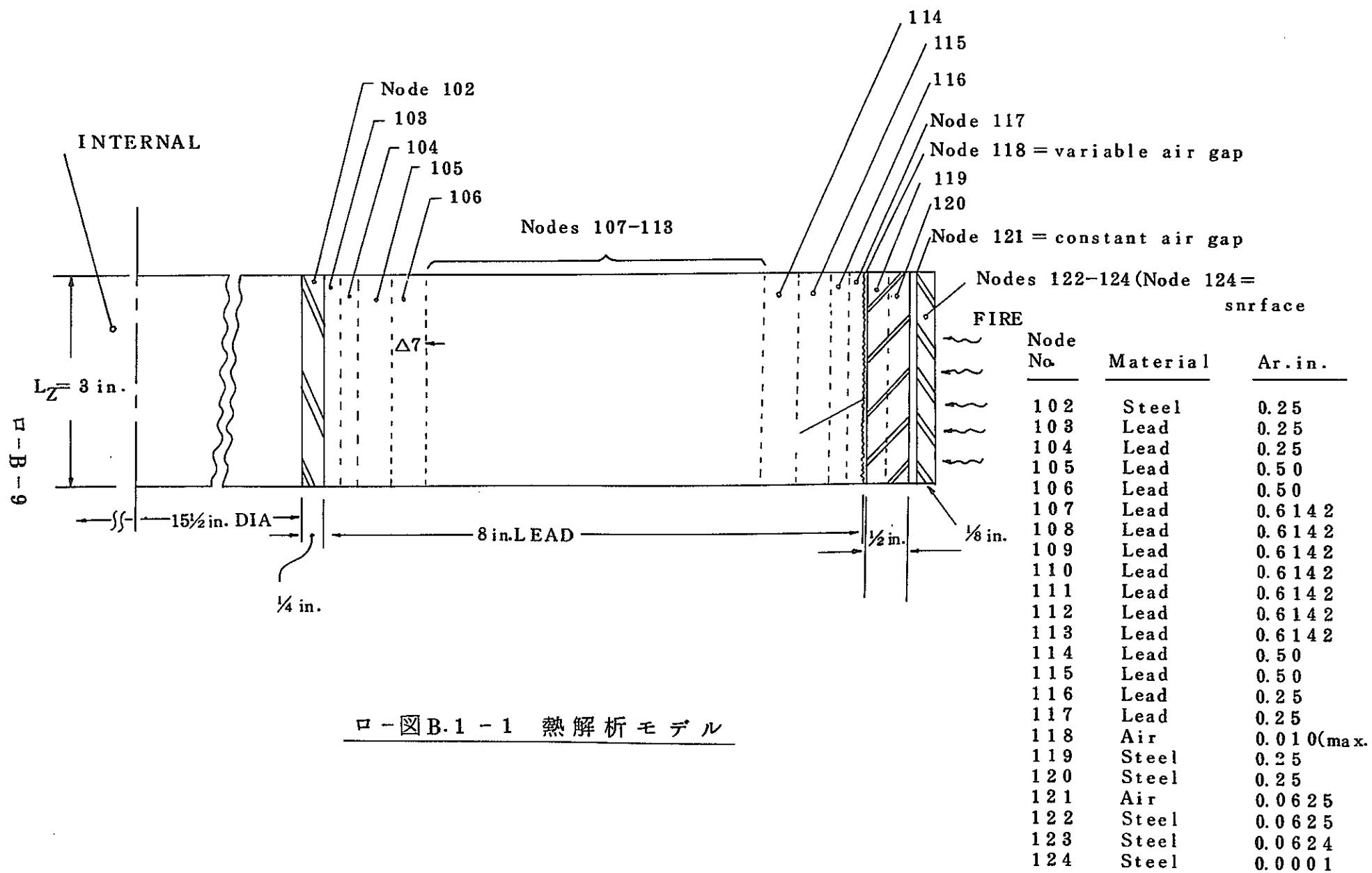


図 B.1 - 1 热解析モデル

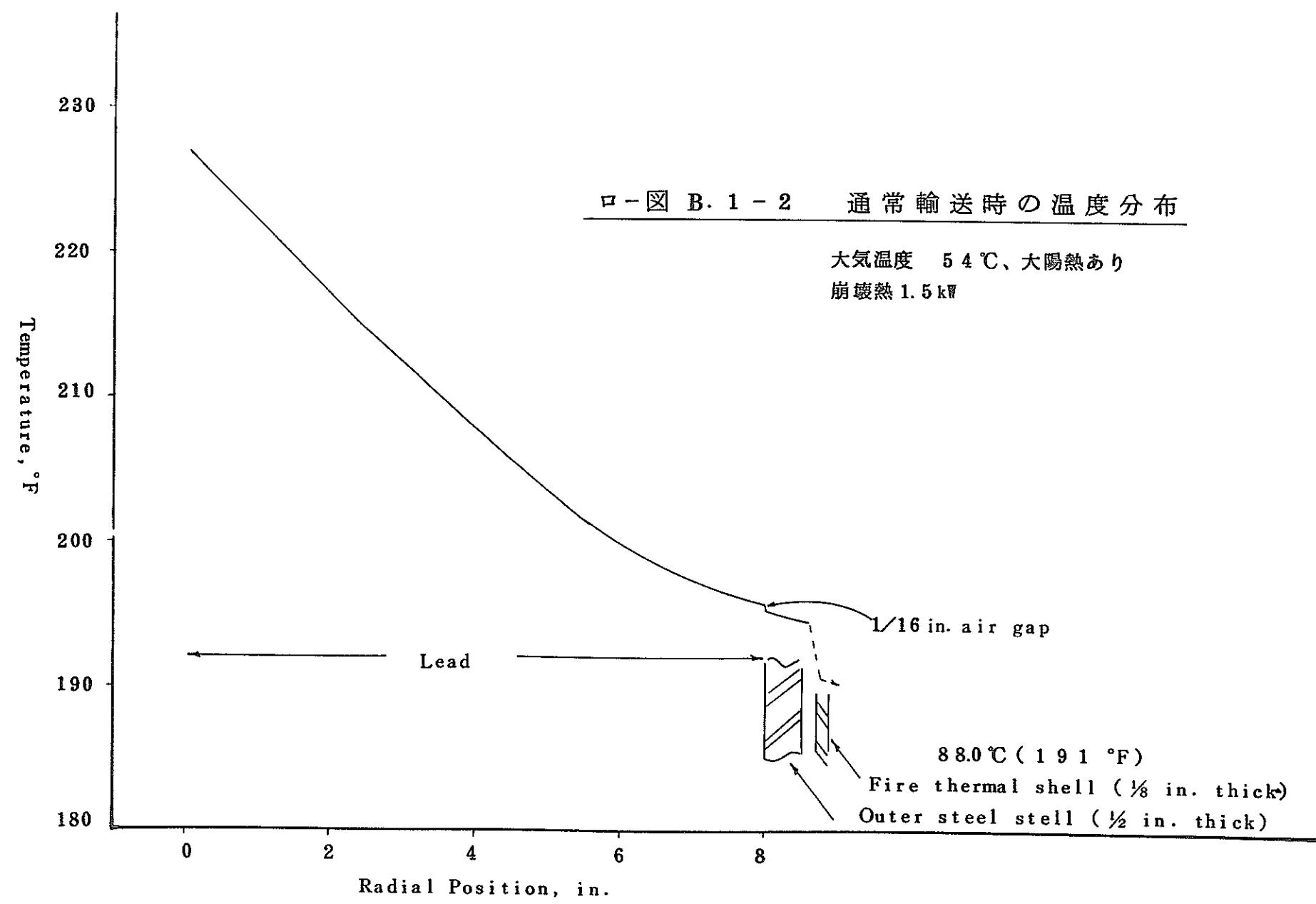


図-B.1-0

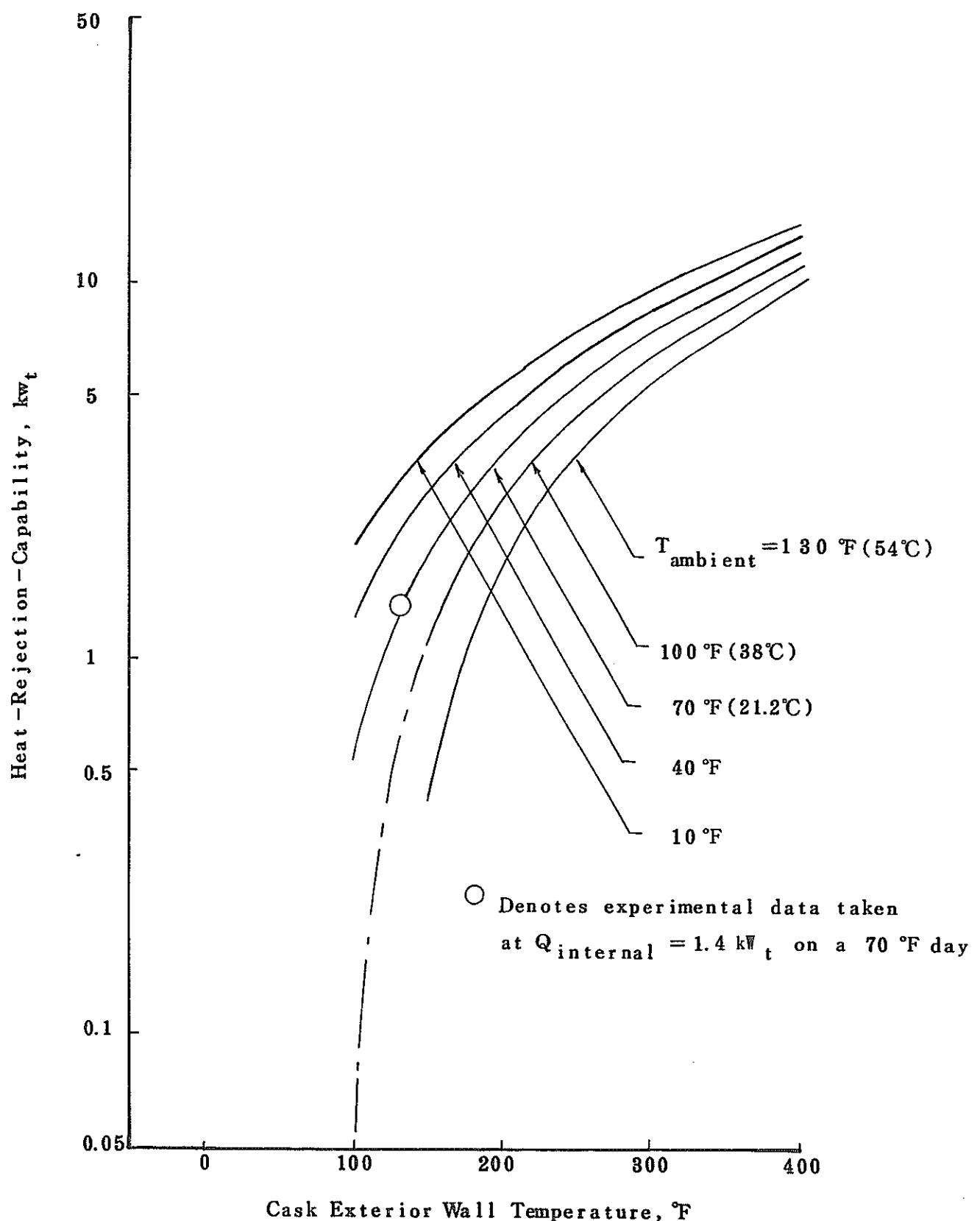


図 B. 1 - 3 大気温度、崩壊熱及び容器表面温度

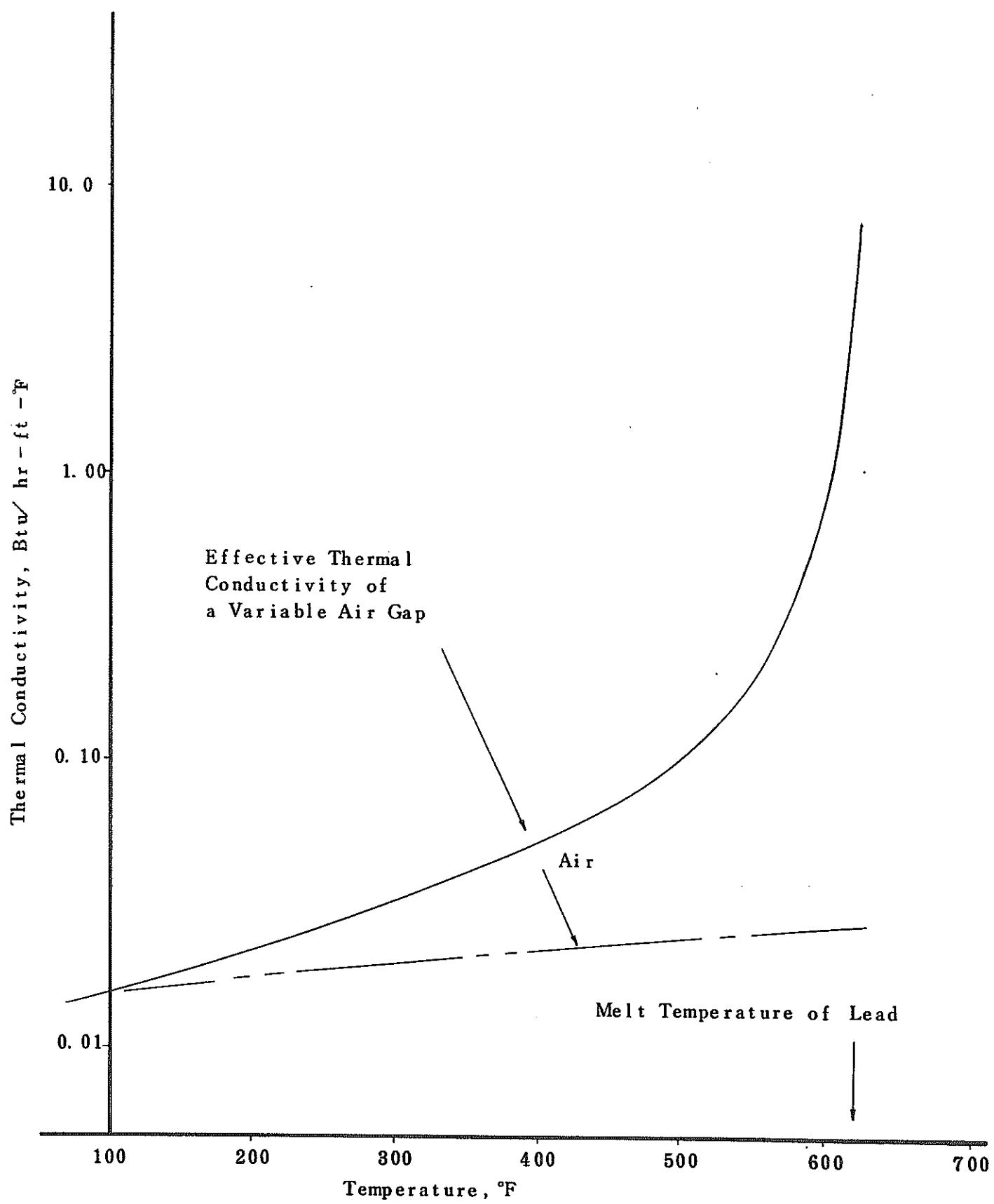
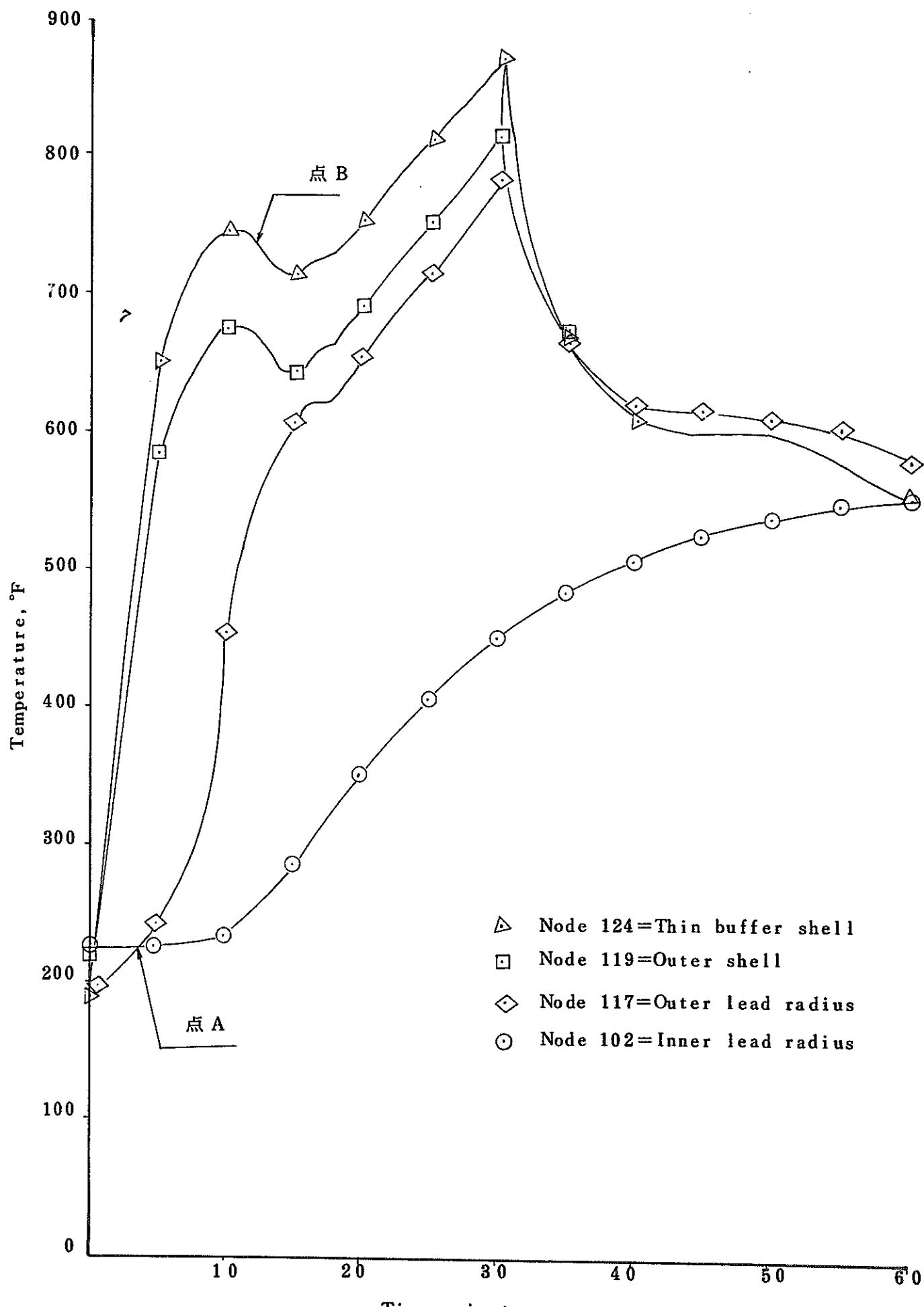
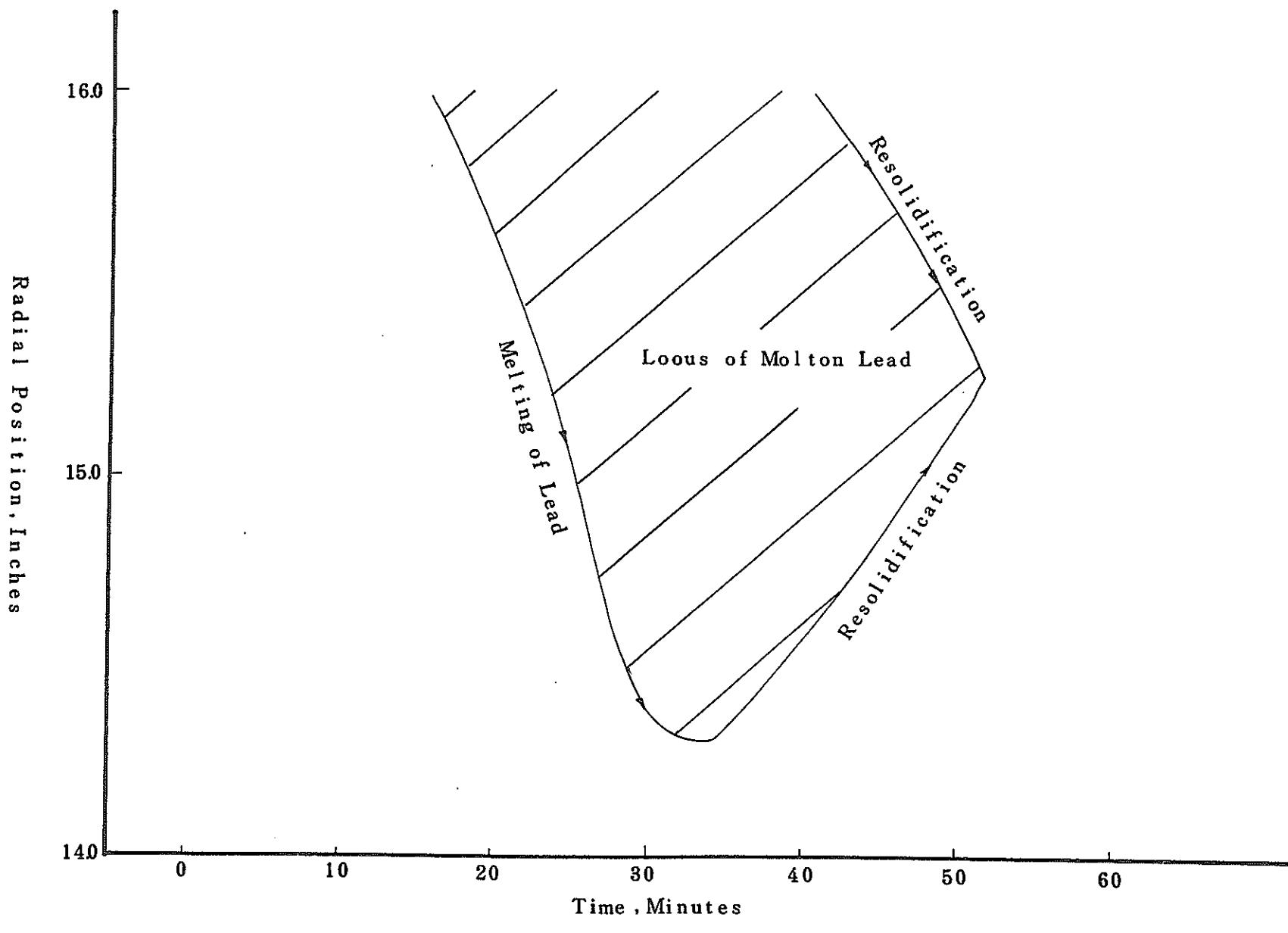


図 B.1-4 温度と空隙及び熱伝導率



図B.1-5 耐火試験時の温度分布



図B.1-6 鉛融溶状態図

B.2 材料の熱的性質

B.2.1 材料の熱的性質

輸送容器の構成材料は、(イ)章B(3)に示すとおりである。

Battelle Memorial Institute の計算に使用された熱的性質は、ロード表 B.2 - 1に示した。これらの材料のうち熱解析で用いた材料の熱的性質を以下に示す。

(1) 304ステンレス鋼

304ステンレス鋼の熱的性質をロード表 B.2 - 1 に示す。

(2) 鉛

鉛の熱的性質をロード表 B.2 - 1 に示す。

(3) Zr-Nb

収納物はZr-Nb及びステンレス鋼で構成されている。

Zr-Nbの熱的性質をロード表 B.2 - 2に示す。Zr-Nbはジルカロイ-2と熱的に等しいので、ジルカロイ-2の熱的性質を代用した、このデータはReview of Zircaloy-2 and Zircaloy-4 Properties Relevant to N.S. Savannah Reactor Design⁽¹⁾にもとづいている。

(4) 空気

空気の熱的性質をロード表 B.2 - 3に示す。このデータは、伝熱工学資料⁽²⁾にもとづいている。

口一表B.2-1 鉛 の 热 的 性 質

Lead

Density = 705 lb/ft³
 Melting Temperature = 621 °F
 Latent Heat = 10.5 Btu/lb

Temperature, °F	Thermal Conductivity, Btu/hr-ft-°F	Specific Heat, Btu/lb°F	Emissivity
32	20.1	0.0303	1.0
212	19.6	0.0315	1.0
572	18.0	0.0338	1.0
621	8.8	0.0337	1.0
900	8.9	0.0326	1.0

Steel

Density = 488 lb/ft³
 Latent Heat = 120 Btu/lb
 Melting Temperature = 1,800 °F

Temperature, °F	Thermal Conductivity, Btu/hr-ft-°F	Specific Heat, Btu/lb°F	Emissivity
32	8.0	0.11	0.8(a), 1.0(b)
212	9.4	0.11	0.8, 1.0
572	10.9	0.11	0.8, 1.0
932	12.4	0.11	0.8, 1.0
1800	15.0	0.11	0.8, 1.0

(a) For steel surface exposed to flame, $\epsilon=0.8$.

(b) For steel surfaces viewing each other across internal air gaps, $\epsilon=1.0$.

口一表 B.2-2 Zr-Nb の熱的性質

Zr-Nb (シルカロイと同じこと)	
密 度	6,550 kg/m ³
温 度 ℃	比 热 J/d / kg °C
100	0.0700
200	0.0725
300	0.0795

口一表 B.2-3 空気の熱的性質

空 気 (1 kg / cd)					
温 度 ℃	比 重 量 kg/m ³	動粘性係数 m ² /sec	熱伝導率 J/d / hm°C	プラントル数	比 热 J/d / kg°C
0	1.251	0.138×10 ⁻⁴	0.0207	0.72	0.240
40	1.091	0.175	0.0234	0.71	0.241
100	0.916	0.239	0.0272	0.70	0.242
140	0.827	0.285	0.0297	0.69	0.243
200	0.722	0.358	0.0332	0.69	0.245
500	0.422	0.810	0.0483	0.70	0.261
800	0.319	1.37	0.0610	0.71	0.276

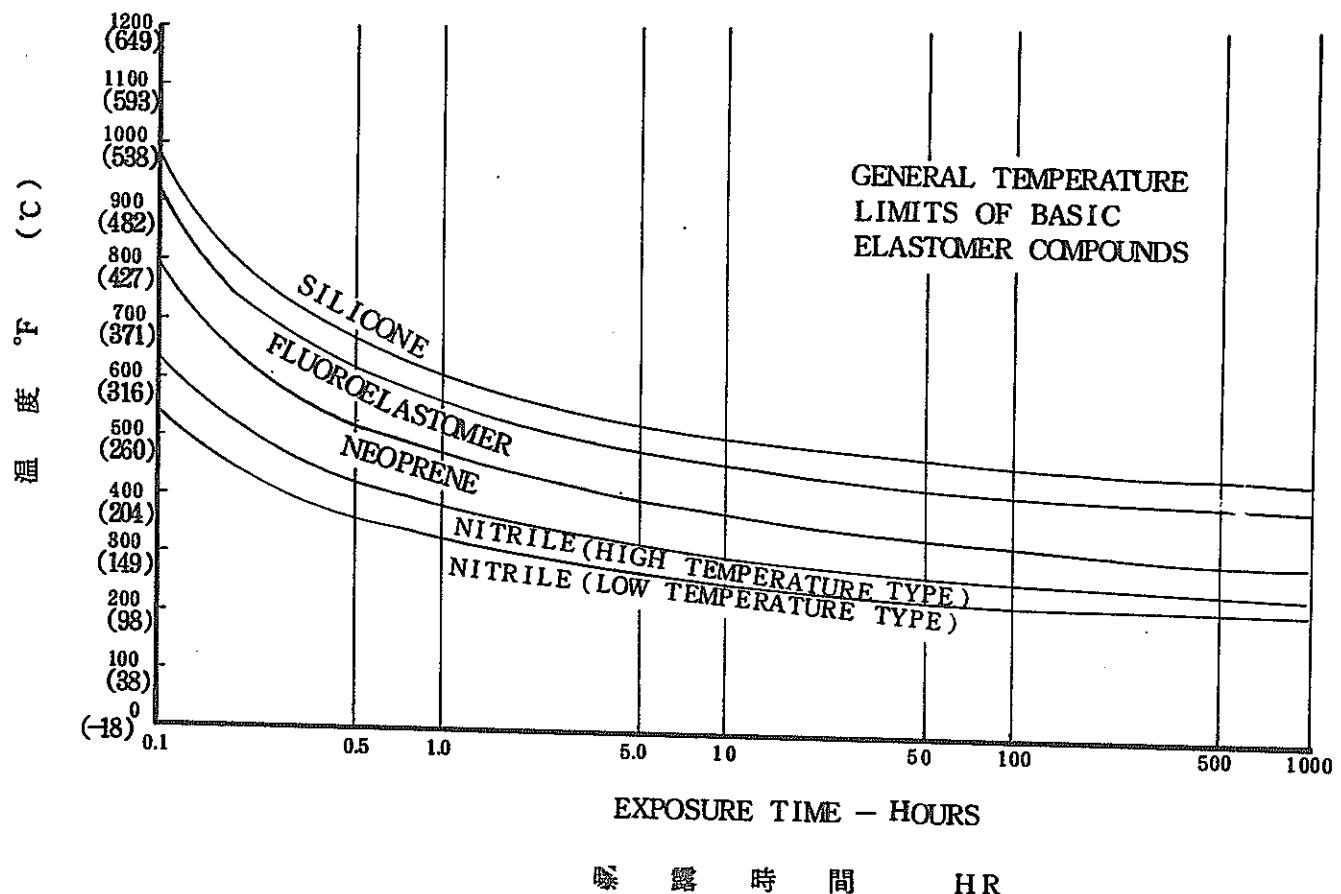


図 B.2-1 シリコンラバーO-リングの温度に対するシール寿命

(Seal Compound Manual (3)より抜粋)

B.2.2. 構成部品の仕様

(1) ベント弁及びドレン弁

HOK E ステンレス鋼製バルブ

寸 法 12.7 mm (1/2 in)

(2) 蓋部シール

シリコンラバーO-リング

温度特性 (口)一図B.2-1 参照

溝寸法 約Ø 6.5 mm

(3) レリーフ弁

LOCKENHEIMER BRONZE VALVE

寸 法 12.7 mm (1/2 in)

(4) 圧力計

ASHC E OFT GAUGE

目盛範囲 4.2 kg/cm²G ~ 750 mmHg Vac

(60 psi ~ 30 in Hg Vac)

B.3. 構成要素の仕様

B.2.2. 構成部品の仕様に示すもの以外はない。

B.4. 通常時条件

B.4.1 熱解析モデル

輸送容器の熱解析は、イ章Cに示した全収納物を、ロー図B.4-1のようにインナーバスケットに収納しているとして3次元非定常及び定常熱計算プログラムTHTR-Dによる計算及び筆算により解析を行った。

なお、通常時条件と通常輸送時の各温度分布は、ロ章B.1.(2)に記述した理由で同一結果になる。

B.4.1.1. 形状モデル

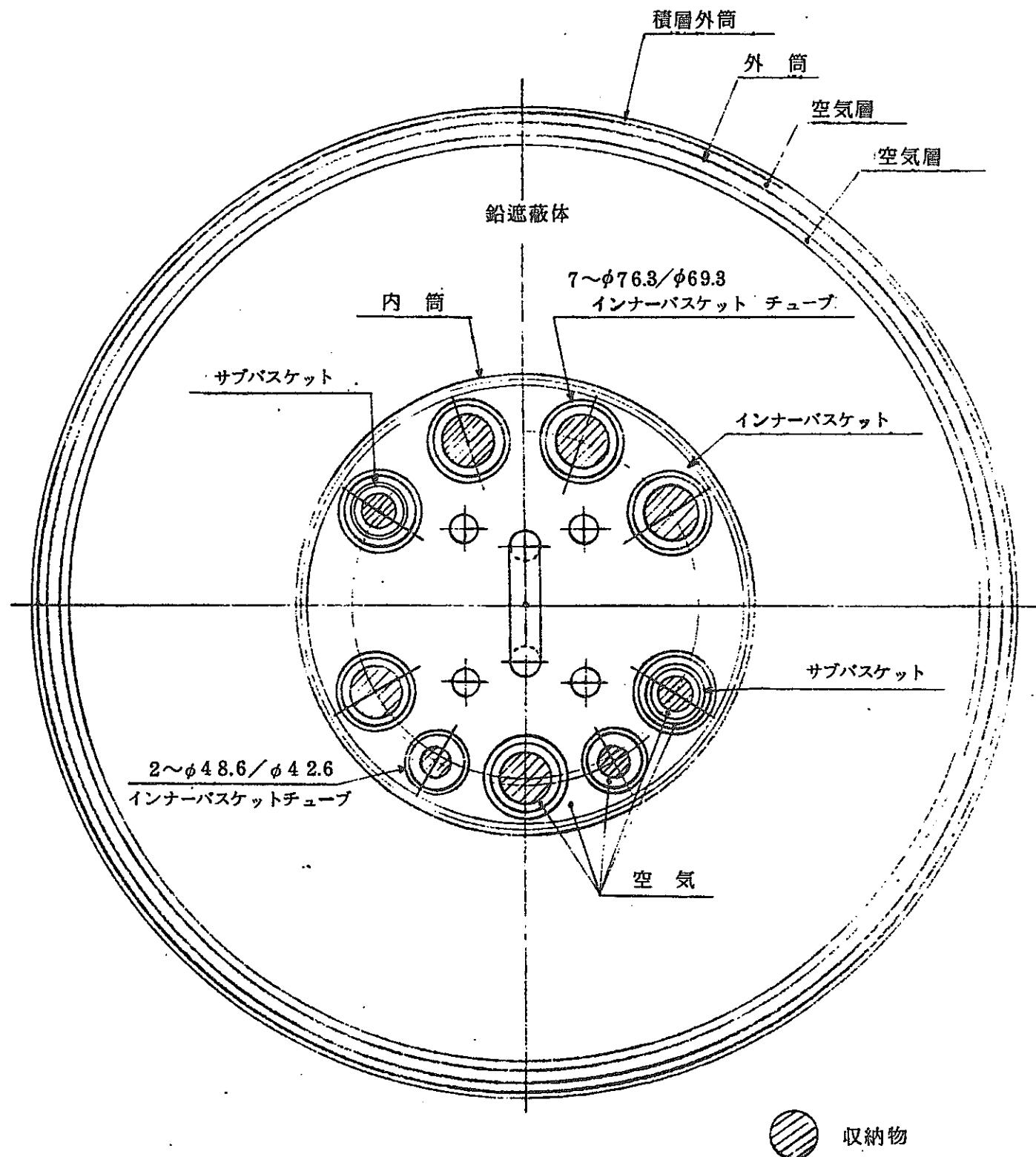
ロ章A.6に記述したように事故時条件下における水平落下による容器の変形が36.6mm(1.44in)であり、このための伝熱面積の変化は、0.42%で温度に対する影響は小である。また、垂直落下により48.7mm(1.92in)、コーナ落下により143mm(5.63in)の容器の変形を生ずるが、いずれも温度に対する影響は小である。安全の為に、通常時条件も事故時条件と同一として考える。

したがって、形状モデルとしては容器は変形していないものとする。

したがって、伝熱モデルとしては、収納物の最大発熱長がイー図C.2から約800mmであるので、安全のために形状モデルとして、ロー図B.4-1に示す断面の800mmの長さの三次元円筒モデルを考える。

収納物から発生する熱は、インナーバスケットのチューブと収納物の間の空気を介してインナーバスケットに伝る。

収納物は、インナーバスケットのチューブの中心に位置した時が外周全て空気層になるので収納物温度を高く評価する。もしも、水平に置かれるか、または、チューブ内に片寄っている場合は、接触による伝導も加わるので更に温度は低くなる。



(ロ)一図 B.4-1 热解析形状モデル

したがって、モデルは、収納物がチューブ中心に位置するものとして解析する。

インナーバスケットに伝った熱は、内筒内空気へ伝り、つづいて内筒に伝る。内筒に伝った熱は、鉛の内部を伝り鉛外周に到達する。鉛外周と外筒との間には、鉛鋸込の後の鉛の収縮による空気層がある。この層を通過した熱は、外筒を通過し、更に、外筒と積層外筒との間の空気層を通過した後、積層外筒に入り積層外筒表面から大気に放散される。

(2) 解析条件

安全のために、 Battelle Memorial Institute の解析結果により、鉛遮蔽体より大気までを解析した。すなわち、輸送時、太陽の輻射熱はうけるものとし、発熱量は 1.5 kW で、大気温度が 54°C (130°F) 及び 38°C (100°F) の場合を求め、この温度分布を基として内筒内面温度を求めた。この際の鉛と外筒間の熱伝達係数を (ロ) - 図 B 1 - 4 に示した。更に、内筒内空気温度は、イ章 C に示す 29 W の発熱量が対流により空気に伝るものとして求めた。

インナーバスケットのチューブ温度を求めるために、イ - 表 C.1 より 18.7 W の発熱量を有するスペシメンホルダーの入ったチューブ温度を求めたが、これは、最高温度を示すものである。この際、発生熱が対流により空気に伝るものとした。

チューブ温度よりスペシメンホルダー温度を求めるために、発熱量 18.7 W のスペシメンホルダーを収納したチューブと、サブバスケットに収納された発熱量が 4.38 W のスペシメンホルダーの温度を求めたが、発生熱は空気の伝導によってのみ伝わるものとした。

上記の条件は、全て解析結果を実際より高く算出することになるので、これらの数値をもとに評価すれば安全側になる。

B.4.1.2. 試験モデル

B.1.(4) に記述したように、本容器を使用し表面温度を実測した。その結果、1.5 kW の崩壊熱で大気温度が 21.2°C (70°F) の場合を実

測定値と解析値を比較すると(口)一表B.4.1のようになる。

	大気温度 21.2°C、崩壊熱量 1.4 KW
実測値	54.4°C (130°F)
解析値	56.1°C (133°F)

(口)一表B.4.1. 本輸送容器による表面温度に関する原型試験
と解析結果の比較

このように56.1°Cに対し1.7°Cの誤差であり、解析結果を信頼するに足りると考えられる。

B.4.2. 最高温度

前記解析モデル及び条件により、容器及び収納物の各部温度を解析した。なお、大気温度54°Cの場合はローツB.1-2に示したが、ローツB.1-3の表面温度より大気温度38°Cの場合の温度分布も求めた上、各場合の内筒内温度分布を求めた。

以下、大気温度38°Cの場合の計算について記述する。大気温度54°Cの場合については、結果のみ示す。

1) 内筒内面温度

鉛遮蔽体と内筒が密着していると考えられるので、内筒外面温度が鉛遮蔽体内面温度に等しい。鉛遮蔽体内面温度は、ローツB.1-2より198°Fである。

外筒と内筒は、同一崩壊熱を伝えているので、一定高さの円環を考えれば、その伝熱量が等しいので、次の式が成立する。

$$\frac{\Delta t_i \ D_i}{W_i} = \frac{\Delta t_o \ D_o}{W_o}$$

ここで、 Δt 内外面温度差 °F
 D 平均直 径 mm
 W 厚 さ mm

添字の i , o は、内筒、外筒を示す。

いま、 $\Delta t_o = 0.5 {}^{\circ}\text{F}$

$$D_o = 826 \text{ mm}$$

$$D_i = 400 \text{ mm}$$

$$W_o = 12.7 \text{ mm}$$

$$W_i = 6.35 \text{ mm}$$

したがって、 $\Delta t_i = \frac{0.5 \times 826 \times 6.35}{400 \times 12.7} = 0.52 {}^{\circ}\text{F}$

故に、内筒内面温度 $t_i {}^{\circ}\text{C}$ は

$$t_i = 198 + 0.5 = 198.5 {}^{\circ}\text{F} = 92 {}^{\circ}\text{C}$$

2) 内筒内空気温度

内筒内空気温度を $104 {}^{\circ}\text{C}$ 、したがって内筒との温度差が $12 {}^{\circ}\text{C}$ と仮定すれば、熱伝達係数 h は垂直面の自然対流について化学工学便覧 P.186 の式によると平均 $2.30 \text{ kcal/h m}^2 {}^{\circ}\text{C}$ となる。

伝熱面を発熱長の 800 mm の長さを考えれば、 29 W の熱を伝えるための温度差 $\Delta t_{ai} {}^{\circ}\text{C}$ は、

$$\Delta t_{ai} = \frac{Q \times 0.86}{h \cdot \pi \cdot D_i \cdot H}$$

ここで、 Q : 発熱量 W

h : 热伝達係数 $\text{kcal/h m}^2 {}^{\circ}\text{C}$

D_i : 内筒内径 m

H : 伝熱面高さ m

いま、 $Q = 29 \text{ W}$

$$h = 2.30 \text{ kcal/h m}^2 {}^{\circ}\text{C}$$

$$D_i = 0.394 \text{ m}$$

$$H = 0.800 \text{ m}$$

$$\Delta t_{ai} = \frac{29 \times 0.86}{2.30 \pi \times 0.394 \times 0.8} = 1.08$$

したがって、空気温度 $t_{ai} {}^{\circ}\text{C}$ は次の通りになる。

$$t_{ai} = \Delta t_{ai} + t_i = 1.08 + 92 = 103 {}^{\circ}\text{C}$$

仮定した温度との差が $1 {}^{\circ}\text{C}$ 程度であるので上記温度は正しい。

3) インナーバスケットのチューブ温度

インナーバスケットのチューブ温度 T 温度が 103°C
であるので、次のように考える。

チューブ内には、色々の発熱量のスペシメ ているが計算上、
最も高い温度を示す、発熱量の大きい $74\text{M}-26\text{P}$ について解析
する。したがって、他はこれより低い。

$74\text{M}-26\text{P}$ の発熱量 Q W は 18.7W であり、熱伝達係数
 $h \text{cal}/\text{hm}^2\text{C}$ は、内筒内面と同様に求めれば $2.56 \text{cal}/\text{hm}^2\text{C}$ である
のでインナーバスケットのチューブ温度 T_t $^{\circ}\text{C}$ は、チューブ外径を
 $D\text{m}$ とすると、

$$t_t - t_{ai} = \frac{Q \times 0.86}{h \cdot \pi \cdot D \cdot H}$$

ここで、 t_t : チューブ温度 $^{\circ}\text{C}$

t_{ai} : 内筒内空気温度 $^{\circ}\text{C}$

Q : 発熱量 W

D : チューブ外径 m

H : 発熱長 m

ここで、 $t_{ai} = 103^{\circ}\text{C}$

$Q = 18.7\text{W}$

$D = 0.076\text{m}$

$H = 0.8\text{m}$

$$t_t = 103 + \frac{18.7 \times 0.86}{2.56 \times 0.076 \times 0.8 \pi} = 135^{\circ}\text{C}$$

4) スペシメンホルダー温度 (ロ一図B.4-2 及びロ一図B.4-3 参照)

スペシメンホルダーを 65.5mm の外径を有する金属とし、インナーバスケットのチューブ中心に位置し、スペシメンホルダーとインナーバスケットのチューブの間には 1.9mm の空気があると考え、スペシメンホルダー温度を求める。 1.9mm と言う狭い隙間があるので、対流伝熱は生せず、かつ、温度差も少ないので輻射もないものと仮定した。この仮定によりスペシメンホルダー温度は高くなるので、安全側の解析になる。

前記計算によりインナーバスケットのチューブ温度は、 135°C であり、これは、インナーバスケットのチューブ内空気の外面温度でもある。

同様にスペシメンホルダー外面温度は、インナーバスケットチューブ内空気の内面温度でもある。

いま、空気層の内の温度差 Δt_a $^{\circ}\text{C}$

$$\Delta t_a = \frac{0.86 Q t}{\lambda \cdot \pi \cdot D_{in} \cdot H}$$

ここに、 Q : 発熱量 W

t : 空気層厚さ m

λ : 空気層の熱伝導率 $\text{J}/\text{m h }^{\circ}\text{C}$

D_{in} : 空気層の平均直径 m

H : 空気層の伝熱 m

いま、 $Q = 18.7 \text{ W}$

$t = 0.0019 m$

$\lambda = 0.0295 \text{ J}/\text{m h }^{\circ}\text{C}$

$D_{in} = 0.0674 m$

$H = 0.8 m$

$$\Delta t_a = \frac{0.86 \times 18.7 \times 0.0019}{0.0295 \times 0.0674 \times 0.8 \pi} = 6.2^{\circ}\text{C}$$

したがって、スペシメンホルダー温度 t_s $^{\circ}\text{C}$ は

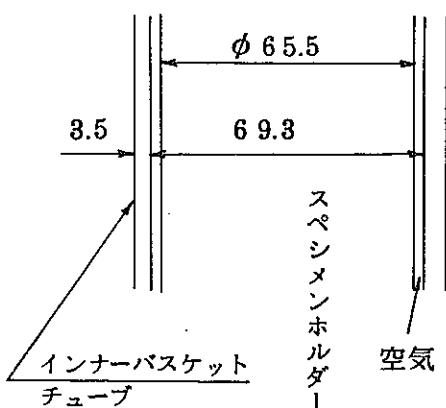
$$t_s = t_t + \Delta t_a$$

ここに、 $t_t = 135^{\circ}\text{C}$

$$\Delta t_a = 6.2^{\circ}\text{C}$$

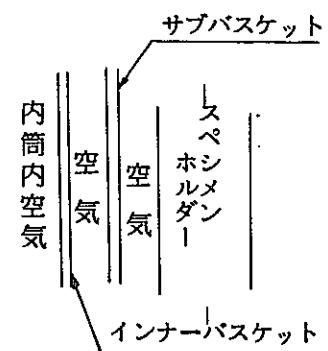
$$\text{ゆえに、} t_s = 135 + 6.2 = 141^{\circ}\text{C}$$

また、サブバスケットに収納される場合をロード図 B.4-3 で示した。



(a) - 図 B.4-2

スペシメンホルダー配置図



ロード図 B.4-3

サブバスケット

また、サブバスケットに収納されている収納物は発熱量が、4.38Wと18.7Wの約1/4.3、空気層が2段になっているので温度差は約2倍、したがって、インナーバスケットのチューブとスペシメンホルダーの温度差 $\triangle t_i$ °Cは、約1/2.1となるので3.0°Cである。同様にインナーバスケットのチューブと内筒内空気との温度差 $\triangle t_a$ °Cは、発熱量が約1/4.3であるので7.5°Cとなる。

よって、スペシメンホルダー温度 t_s °Cは t_{ai} °Cを内筒内空気温度とすれば、

$$t_s = t_{ai} + \triangle t_i + \triangle t_a$$

$$t_s = 103 + 3.0 + 7.5 = 114^{\circ}\text{C}$$

したがって、サブバスケットに収納されたスペシメンホルダーの温度は114°Cを超えない。

また、同様に他のスペシメンホルダーの表面温度は、その発熱量が極度に低いので上記温度よりも低くなる。

5) 試験後放置時の温度

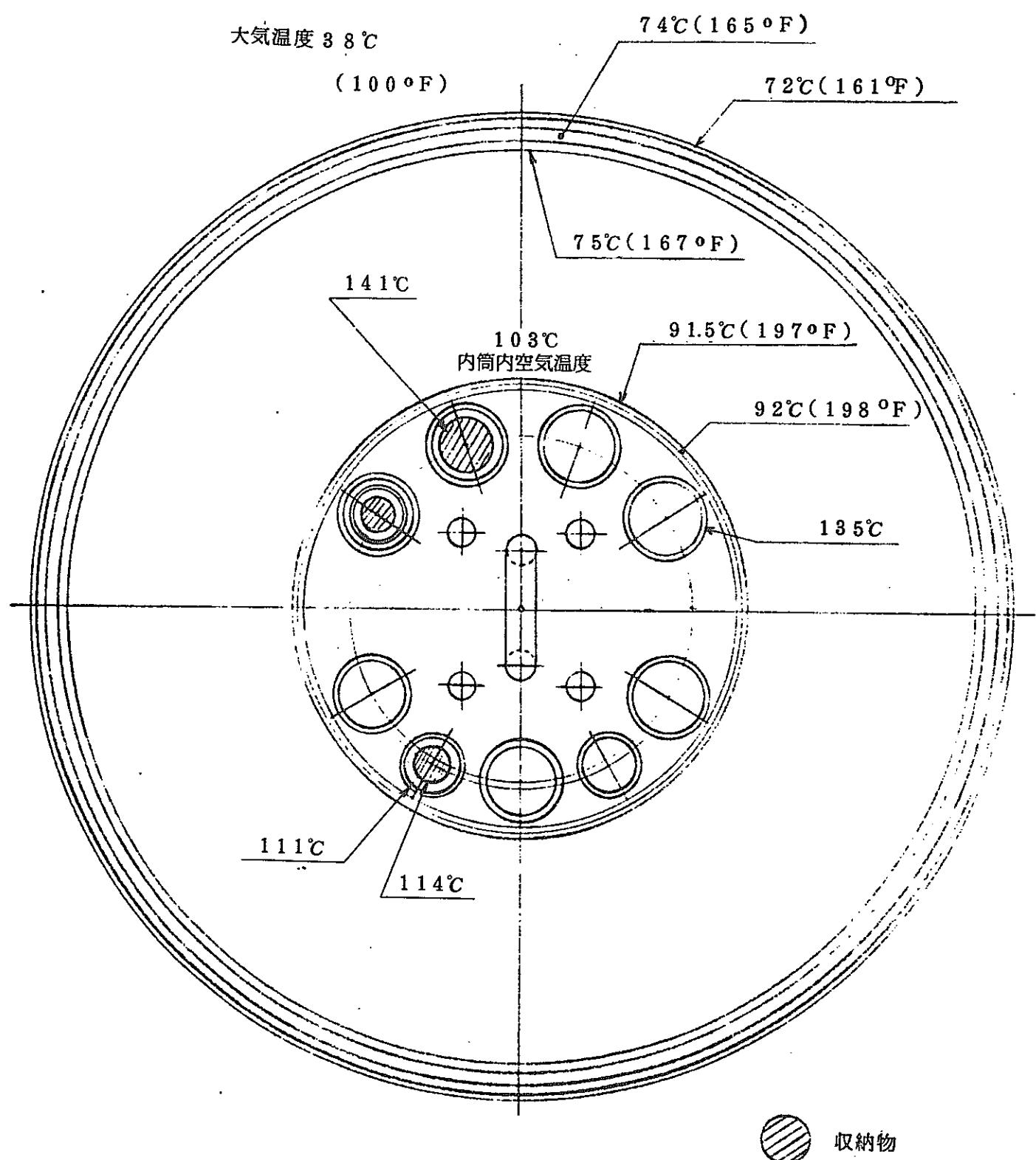
B.4.1.1に記述したように本試験による伝熱特性の変化がないので放置されても通常輸送時または、通常時条件と変わらない。この結果をロード図B.4-4に示した。同様の解析を大気温度54°C(130°F)について行い、ロード図B.4-5に示した。

B.4.3 最低温度

本輸送容器の通常輸送時、及び通常時条件下における容器表面温度は、発熱量及び大気温度をパラメータとして解析し、その結果をロード図B.1-3に示した。

この表から推定すると、発熱量が少い場合、例えば大気温度100°Fの曲線を下方に引伸すと0.05kWでは容器外表温度は100°Fに近づき殆んど温度差を生じない。

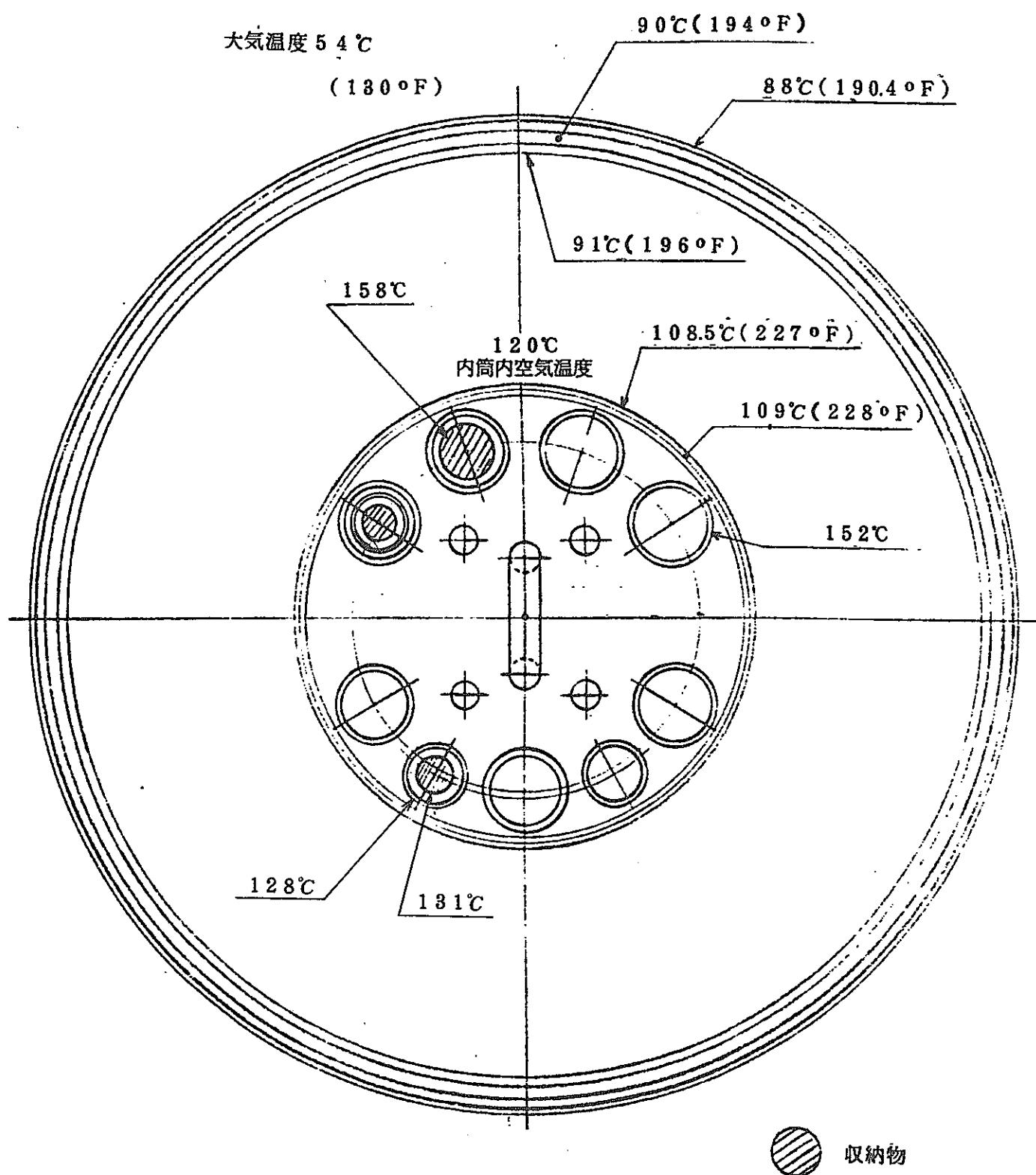
したがって、-40°Cになれば容器温度も大畧、その温度になる。然しながら、本容器には水などの凍結性の材料がないので凍結による破損はなく、かつ使用材料はステンレス鋼、及び鉛であるので低温脆性を生ぜず-40°Cの使用に耐える。



大気温度が 38°C の場合の

各部最高温度を示す

(ロ)一図 B 4-4 通常輸送時及び通常時条件下温度分布



大気温度が 54°C の場合の

各部最高温度を示す

(ロ) 図 B 4 - 5 通常輸送時及び通常時条件下温度分布

B.4.4. 最大内圧

以下、この温度分布の解析結果の温度を用いて最大内圧解析を行う。
なお、本輸送は、ドライで使用されるので水の分解による圧力上昇などがない。

通常輸送時と、通常時条件とは前述のように温度分布上各々同一になるので、最大内圧は、内筒内空気温度により決定される。最初大気圧(1.0)ata、 T_1 °Cで収納した場合最高圧力 P_2 ata、最高温度 T_2 °Cにより決定される。

$$\frac{1.0}{T_1 + 273} = \frac{P_2}{T_2 + 273}$$

ここで、 T_1 ：初期温度 °C
 T_2 ：最終温度 °C

i) 通常輸送時

$$P_2 = \frac{T_2 + 273}{T_1 + 273}$$

ここで、 $T_1 = 20$ °C

$$T_2 = 103$$
 °C
$$P_2 = \frac{103 + 273}{273 + 20} = 1.25$$
 ata

したがって、 $P_2 = 0.28$ kg/cm²

ii) 通常時条件

通常輸送時に同じ

B.4.5. 最大熱応力

通常時条件において、本輸送容器に生ずる熱応力については、口
章A.5.1.2及びA.5.1.3で説明したように、外筒及び積層外筒が互に
熱膨張を拘束しあって生ずる応力が最大になる。最大熱応力は、外筒
と中間円筒の温度差が最大になるとき、すなわち崩壊熱量29W、に
積層外筒に生じる。

口章A.5.1.2より、このときの積層外筒に生じる熱応力は9.37kg/
mm²である。なお、このときの温度分布は(ロ)一図B4-4及び(ロ)一図B
4-5に示したとおりである。

B.4.6 通常時条件下における輸送物性能の総合的な評価

通常時条件下においては、崩壊熱量 29 W、周囲温度 38 °C の時に輸送物各部の温度は最高になり、輸送容器内部の圧力も最大になる。

B.1(5)に示したように、この場合の容易に人の近づき得る部分としての積層外筒の温度は 40 °C であり、許容基準温度の 50 °C をこえることはない。

シリコンラバーOーリングの温度は、内筒内空気温度 92 °C より高くなることはなく、これは(口)-図B.2.1に示すシリコンラバーOーリングの耐用温度より低い。したがって、シリコンラバーOーリングは充分使用に耐える。

ドレン弁及びベント弁の温度も内筒内空気温度 92 °C より高くなることはなく、このとき受ける圧力も 0.28 kg/cm² と低く、ドレン弁及びベント弁の許容限度をこえることはない。したがって、ドレン弁及びベント弁は充分使用に耐える。

鉛は、その温度が 91.5 °C であり、融点 327 °C をこえることはない。その他の構成材料についても悪影響を生ずるような温度にはならない。

なお、通常時条件下の構造解析においては、(口)-図B.4-4 及び B.4-5 に示す温度及び圧力条件で解析を行なっている。

周囲温度 -40 °C の場合も、内筒内が空気のため内筒内が凍ることはない。したがって、容器の破損は生じない。

通常時条件下における輸送物の総合的評価を(口)-表B.4-2に示す。近接表面即ち、積層外筒の温度は、全断面を 29 W の崩壊熱として計算した場合を記載したが、他は、内筒より外方向は 1.5 kW、内筒内空気より内方向が 29 W の場合を記載した。これは、安全側の解析となる。

(口)一表 B.4 - 2 通常輸送時及び通常時条件における
輸送物の総合的評価

項目	基 準 値	結 果	評 価
<u>最 高 温 度</u>			
スペシメンホルダー表面		141°C	
鉛 遮 蔽 体	融 点 327°C	91.5°C	
近 接 表 面	50°C	40°C	基準に合致
ドレン弁及びペント弁	使用限度 300°C	92°C以下	"
O - リ ン グ シ ー ル	" 237°C	92°C以下	"
外 筒		74°C	構造解析に使用
積 層 外 筒	50°C	40°C	
内 筒		92°C	
内 筒 内 空 気 温 度		103°C	
<u>最 大 壓 力</u>			
内 筒 内		0.280 kg/cm ²	構造解析に使用
<u>最 大 热 応 力</u>			
積 層 外 筒	$\sigma_y = 21.1 \text{ kg/mm}^2$	9.37 kg/mm ²	余裕率 M.S = 1.02
<u>最 低 崩 壊 热 量</u>	凍 結	凍結性材料なし	
	低温脆性	低温脆性材なし	

B.5. 事故時条件

B.5.1. 熱評価モデル

輸送容器の熱評価は、(イ)一表 C.1.に示す 9 個のスペシメンホルダーを収容した輸送容器について、差分法にもとづく 3 次元定常及び非定常温度分布計算プログラム T H T - D を用いて行った。以下に、T H T - D による熱解析モデルについて説明する。

B.5.1.1. 解析モデル

(1) 形状モデル

B.1.(2)で述べたように、事故時条件下の火災事故においては、輸送容器は、最大 36.6 mm 变形していると考えられる。しかし、火災事故時においては、容器が変形していないと考えた方が火災にさらされる面積が多くなり、輸送容器に対する入熱量が大きくなるので安全側である。

また、火災事故後においても、容器の変形した部分の放熱面積の減少は、約 $0.017 m^2$ であり、輸送容器全体の放熱面積の 0.4 % にすぎないことを考えれば、容器は、変形していないと仮定することができる。したがって、事故時条件下における熱解析では、容器が変形していないとして、事故時条件下における熱解析モデルと同じ形状モデルを用いた。

T H T - D による熱解析形状モデルを(ロ)一図 B 4 - 1 に示した。容器内部のモデル設定は、前述の通り収納物の発熱量が少ないので、耐火試験中の温度変化は、収納物の発熱によらず、周囲からの入熱による。したがって、インナーバスケット、収納物の熱容量が、少ないため内筒温度と等しいと考えて良い。 O -リングシール部、ドレン弁およびベント弁は、蓋などによっておおわれており、火災にさらされることではなく、急激な入熱をうけることはないので、この部分について特別な解析モデルは考慮せず、本解析モデルによる解析結果から評価する。

(2) 解析条件

解析に使用した熱的条件は、次のとおりである。スペシメンホルダーの崩壊熱量は、合計 29 W である。事故時条件下の熱解析は通常輸送時に強度試験（落下試験Ⅰ及びⅡ）にひきつづいて、耐火試験におかれるものとする。

したがって、耐火試験に遭遇する時の輸送容器の温度分布は、周囲温度 54 °C (130 °F) の時の温度分布 (ロ一図 B.4-4 参照) であるとする。耐火試験の熱的条件は、安全基準に定められているように、周囲温度 800 °C、火災時間 30 分、火災の輻射率 0.9、容器表面の吸収率 0.8 であり、このときは、太陽熱輻射はうけないものとする。なお、火災から容器への熱伝達は、輻射とともに対流も考慮する。火災事故後の熱的条件は、周囲温度 54 °C (130 °F) であり、太陽熱輻射をうけるものとする。

B.5.2. 輸送物の評価条件

落下試験Ⅰ (9 m 落下) における輸送容器の変形は、水平落下の場合 3.6.6 mm、蓋部からの垂直落下の場合 4.7 mm、底部からの垂直落下の場合 4.9 mm である。しかし、B.5.1.1.(1)で説明したように、容器が変形していないと仮定しても事故時条件下の輸送物の熱的性能に悪影響を及ぼすことはない。

落下試験Ⅱ (貫通落下) における輸送物の変形は、貫通棒の周辺にのみ生じる変化で、したがって、その面積は狭い。

また、この変形は落下試験Ⅰにおける容器の変形より、はるかに小さい。したがって、容器が変形していないと仮定しても輸送物の熱的性能に影響を及ぼすことはない。また、容器外筒は、落下試験Ⅱにおいても、貫通しないので耐火試験時に鉛の融溶流出を生じないから熱的性能に影響はない。

B.5.3. 輸送物温度

B.5.1.1. 及び B.5.2.1.に記載したモデル及び条件にもとづいて、THT-Dにより解析した輸送物の温度変化から、次の結果が得られた。

耐火試験開始後の、輸送物各部の温度変化は、(ロ)一図 B.1-5 に示すとおりである。事故時条件下における輸送物の最高温度は、積層外筒 466°C (875°F) である。ロ一図 B.1-1 に示した各部について、最高温度と耐火試験開始後からの時間をまとめると、(ロ)一表 B.5-1 に示すとおりである。内筒内の最高温度は、耐火試験開始約 1.1 時間のときにスペシメンホールダーでおこり、 293°C (560°F) である。なお、O-リングシール部は、蓋によっておおわれ、火災にさらされることができないので、外筒、積層外筒、内筒及び内筒内空気からの熱伝導により、温度上昇すると考えられた。

したがって、O-リングシール部は、外筒温度より高くなることはなく、その最高温度は、ロ表 B.5-1 に示すように 293°C (560°F) をこえることはない。

また、ドレン弁及びベント弁も弁箱によっておおわれており、火災にさらされることではなく、外筒、内筒及び内筒内空気からの伝導により温度上昇すると考えられる。したがって、ドレン弁及びベント弁は、安全側にみて、内筒温度より高くなることはないので、その町高温度は 293°C (560°F) をこえることはない。

各要素の温度変化を計算した結果を(ロ)一図 B.1-5 に示した。要素番号 124 で示される、 3.05 mm (0.12 in) 厚さの積層外筒は、熱容量が少ないので、熱衝撃に対して急速に応答する。外筒は、 1.26 mm ($1/2\text{ in}$) の厚さなので、それにつづいて温度上昇し、つづいて鉛が温度上昇するが、鉛の熱膨張率がステンレスのそれより大なため、ある大きさの熱容量しかないので、外筒に接する空隙(要素番号 118)が、鉛の熱膨張によりつぶされるようになる。更に、温度が上昇すると鉛が溶融するが、鉛の溶け初めは火災開始後 16 分と計算される。(ロ)一図 B.1-5 に示すように、鉛の溶融潜熱による熱吸収の

ために、温度応答において逆転が生じている。（点B）

更に、時間が経過すると、鉛の溶融界面が内側に進み、外筒温度も上昇する。

溶融界面をロー図B.1-6にて時間と位置をパラメータとして示した。鉛層の外径は、 407 mm (16 in)であり、その溶解部の径方向深さは 41.9 mm (1.65 in)である。再凝固の開始は、試験後約33分後に内側から、また、40分後に外側から始まる。しかも、鉛の溶融温度に応じて膨張するので、その体積の 3.8% 、 $9,420\text{ cm}^3$ (574 in^3)だけ溶融の際に排出せねばならない。したがって、それは全体積の 1.29% に相当し、設けられている膨張部の体積 $12,350\text{ cm}^3$ (752 in^3)に対し、充分少であり、鉛の膨張による圧力上昇は起りえない。

鉛の膨張部への流入の遮蔽に対する影響は、遮蔽解析において解析しているが、充分省令を満足している。

蓋部、底部及びコーナ部の解析は行っていないが、上記の解析には、この部分まで拡大しても安全なだけの余裕をみてあると考える。

例えば、蓋の厚さは、 28.6 mm ($1\frac{1}{8}\text{ in}$)、及び本体上部は、 19.0 mm ($3\frac{1}{4}\text{ in}$)である。これらの部分は、内部の空隙にそっているので〔蓋では 6.4 mm ($1\frac{1}{4}\text{ in}$)、隅では膨張部〕この部分における鉛の溶融は起らない。

	通常輸送時 °C(°F)	通常時条件 °C(°F)	事故時条件		
			0分	30分	60分
			火災前 °C(°F)	火災時 °C(°F)	火災後 °C(°F)
積層外筒	88(190)	88(190)	88(190)	466(875)	293(560)
外筒	92(194)	92(194)	92(194)	437(815)	
鉛外面	93(196)	93(196)	93(196)	416(780)	304(580)
鉛内面	108(227)	108(227)	108(227)	232(450)	293(560)
内筒	109	109	109	232(450)	293(560)
内筒内空気	120	120	120	232(450)	293(560)
バスケット	152	152	152	232(450)	293(560)
収納物	158	158	158	232(450)	293(560)

(口)一表 B.5 - 1 通常輸送時及び各条件における温度

(大気温度 54°C の時)

また、-40°Cにおいても、凍結性のものがないので、破損の恐がなく安全である。

ただし、上記解析は、Battelle Memorial Instituteの解析に基づいて内筒温度まで記載したのであり、大気温度が 54°C (130°F) 発熱量 1.5 kW での場合であるが、この解析方法は、各部温度が実際より高くなるので安全な解析と言える。

B.5.4. 最大内圧

輸送物の熱解析から、事故時条件下において輸送容器内に生じる圧力のうち、内筒内の圧力は、内筒内空気の温度が最高になる耐火試験開始約1.1時間のときに最大になる。以下この条件で、内筒内の圧力を計算する。なお、相変化及び化学的分解はおこらないので考慮しない。

各条件時または、下の圧力は次式の通りである。

$$\frac{1.0}{T_1 + 273} = \frac{P_2}{T_2 + 273}$$

ここで、 T_1 ：初期温度°C、 T_2 ：最終温度°C

いま、耐火試験開始後 30 分では、

$$T_1 = 20^{\circ}\text{C} \quad T_2 = 232^{\circ}\text{C}$$

また、耐火試験開始後 1 時間では、

$$T_1 = 20^{\circ}\text{C} \quad T_2 = 293^{\circ}\text{C}$$

火災試験後 30 分

$$P_2 = \frac{273 + 232}{273 + 20} = 1.73 \text{ ata} = 0.78 \text{ kg/cm}^2$$

火災試験後 1 時間

$$P_2 = \frac{273 + 293}{273 + 20} = 1.92 \text{ ata} = 0.96 \text{ kg/cm}^2$$

上記の結果をまとめ ロ一表 B.5-2 に示した。

	圧力 kg/cm^2
通常輸送時	0.28
通常時条件	0.28
事故時条件（試験開始後 30 分）	0.78
事故時条件（試験開始後 1 時間）	0.96

ロ一表 B.5-2 耐火試験時の圧力

(大気温度 54°C の時)

B.5.5. 最大熱応力

事故時条件下において、本輸送物に生ずる熱応力については、ロ章 A.6.3.2.で説明したように外筒及び積層外筒が互いに熱膨張を拘束しあって生ずる応力が最大になる。最大熱応力は、外筒と積層外筒の温度差が最大になる時、すなわち、ロ一図 B.1-5 より、耐火試験開始約 15 分の時に積層外筒に生じる。このとき外筒温度は 341°C (645°F) であり、積層外筒は、 372°C (710°F) であるので温度差は 31°C である。

ロ章 A.6.3.2 より、このときの積層円筒に生じる熱応力は、 35.7 kg/mm^2 であり、その圧縮強度 43.7 kg/mm^2 より充分低い。

B.5.6. 事故時条件下における輸送物の性能の総合的評価

事故時条件下における、輸送物の性能評価は、崩壊熱 1.5 kW (内筒より外方向) 29 W (内筒より内方向)、周囲温度 54°C の状態から 800°C 、30分間の耐火試験に遭遇するとして行った。この場合の輸送物各部の温度変化は、図 B.1-5に示すとおりである。

図 B.1-5に示した各部について最高温度と、耐火試験開始からの時間をまとめると、表 B.5-1に示すとおりである。輸送容器内部の最大圧力は表 B.5-2に示してある。

シリコンラバーOーリングの温度は、B.5.3.に示したように、 293°C をこえることはなく、その時間も一時的なものであり、火災事故後には急速に低下する。図 B.2-1から、シリコンラバーOーリングは、 320°C で1時間使用に耐えられ、事故時条件下で、性能が劣化することはない。

ドレン弁及びペント弁は、B.5.3.に示したように、 293°C をこえることはなく、この時うける圧力 0.96 kg/cm^2 とともに、B.2.2.で記載したドレン弁及びペント弁の耐用条件をこえることはない。したがって、ドレン弁及びペント弁は、事故時条件下においても充分使用に耐える。

鉛は、前述のように最大 $9,420 \text{ cc}$ 溶融するが、そのため設けられた鉛膨張部の容積は、 $1,235 \text{ cc}$ あり、充分、溶融鉛を収容しうる。したがって、鉛の溶融による圧力上昇、すなわち、容器本体の破損は生じない。

上記の総合評価をまとめたものが、表 B.5-3である。

口一表B. 5 - 3 事故時条件下における輸送物の
総合的評価

項目	基 準 値	結 果	評 値
<u>最高温度</u>			
スペシメンホルダー	—	293°C	
ドレン弁およびペント弁	使用限度 300°C	293°C	基準に合格
O-リングシール	320°Cで1時間	293°Cで30分	"
外 筒			
積層外筒			
内 筒			
鉛膨張量	12,350 cm	9,420 cm	基準に合格
<u>最大内圧</u>			
内筒内	—	0.96 kg/cm	構造解析に使用
<u>最大熱応力</u>			
積層外筒	$\sigma_t = 21.1 \text{ kg/mm}^2$	8.54 kg/mm ²	余裕率MS = 1.48

B.6 付属書類

B.6.1 参考文献

- (1) BNFL Fact Sheet "Commercial Uranium 3 UO₂" Properties Review of Zircaloy-2 and Zircaloy-4 properties Relevant to N.S. Savannah Reactor Design", ORNL-3281, p. 702
- (2) "伝熱工学資料(改訂第2版)" 日本機械学会(1966)
- (3) "Seal Compound Manual", Catalog C5702, Parker Seal Company (October. 1968) p. 6-5

B.6.2 TRUMPコードによる熱解析

Battelle Memorial InstituteはTHTR-Dコードにより解析を行ったが、発熱量が1.5 KWであったりするために高めの温度分布となっているので、TRUMPコードにより計算した。

大気温度は38°Cとし、発熱量を29W、表面輻射率0.37(火災前)0.8(火災時)、0.55(火災後)として行つた。

モデル図をローツB6-1に示した。また、通常輸送時及び通常時条件の際の太陽熱のある場合とない場合について計算結果をローツB6-2、ローツB6-3に示した。

また、事故時条件の際の温度分布を火災発生後12時間後と30分後について、ローツB6-4及びローツB6-5に示した。

更に各部温度の変化を時間的に記載したものが、ローツB6-6、及びローツB6-7で、40時間及び2時間の期間を計算した。

上記資料でわかるることは、通常時の各部温度は例えば、積層外筒が50.8°Cと本解析よりも低いようにいずれの点も低く、Battelle Memorial Instituteの解析を利用した解析が、安全側であることを示している。

また、事故時についても積層外筒温度を除き全て低く、例えば内筒温度が、200°CとBattelle Memorial Instituteの解析を

利用した解析より約90°C低く、後者の解析が安全側であることを示している。

N O D E 番号

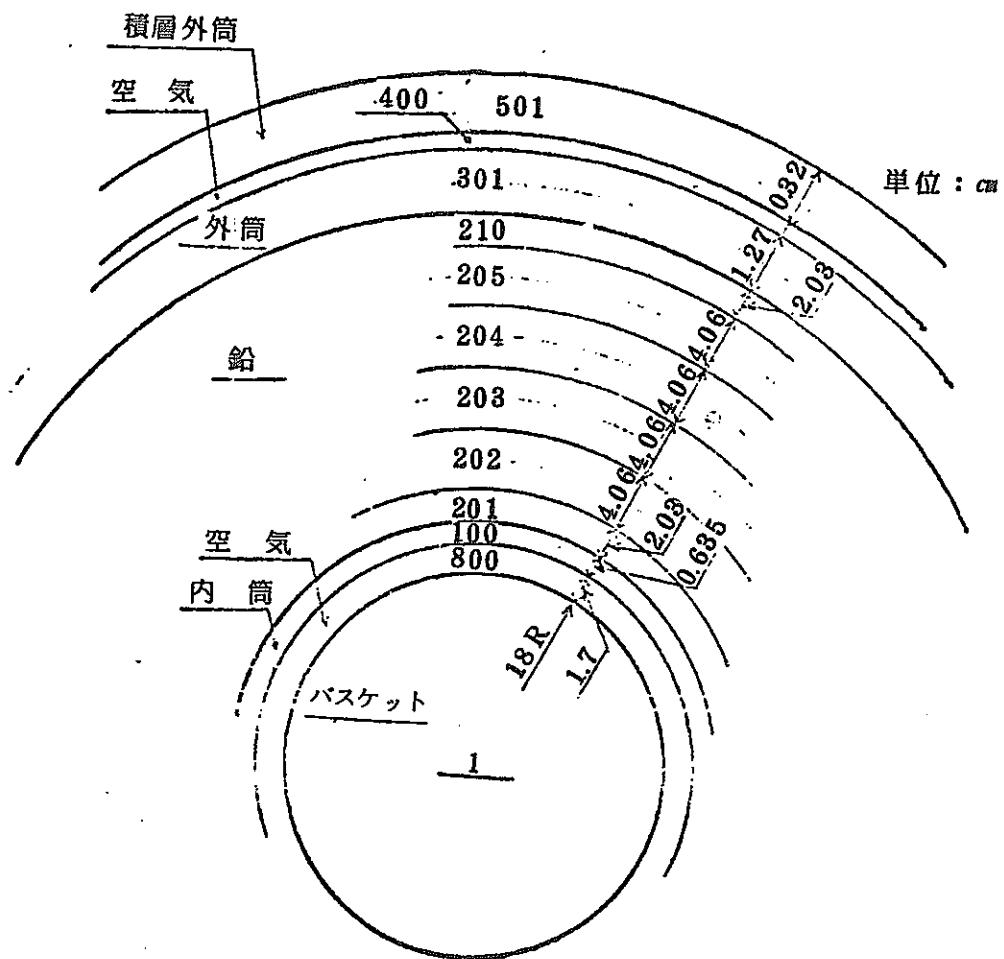


図-B6-1 BMI-1 輸送容器熱解析モデル

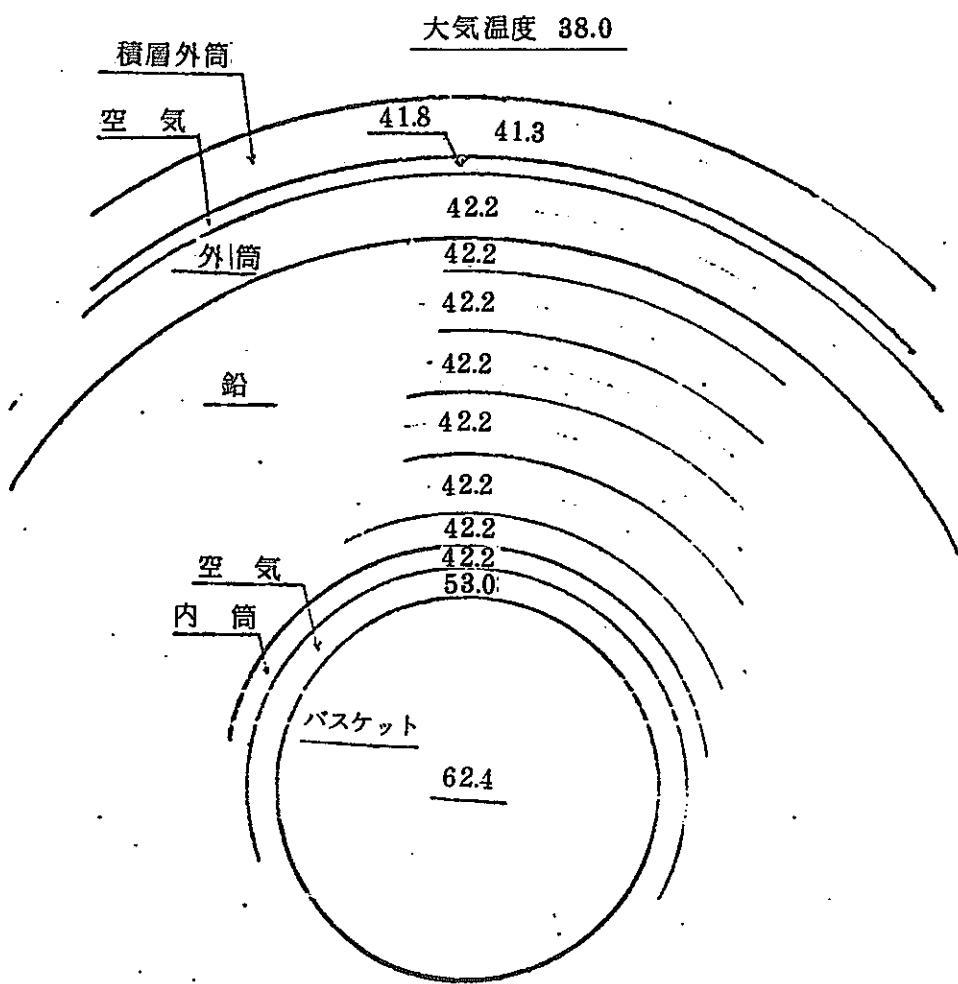
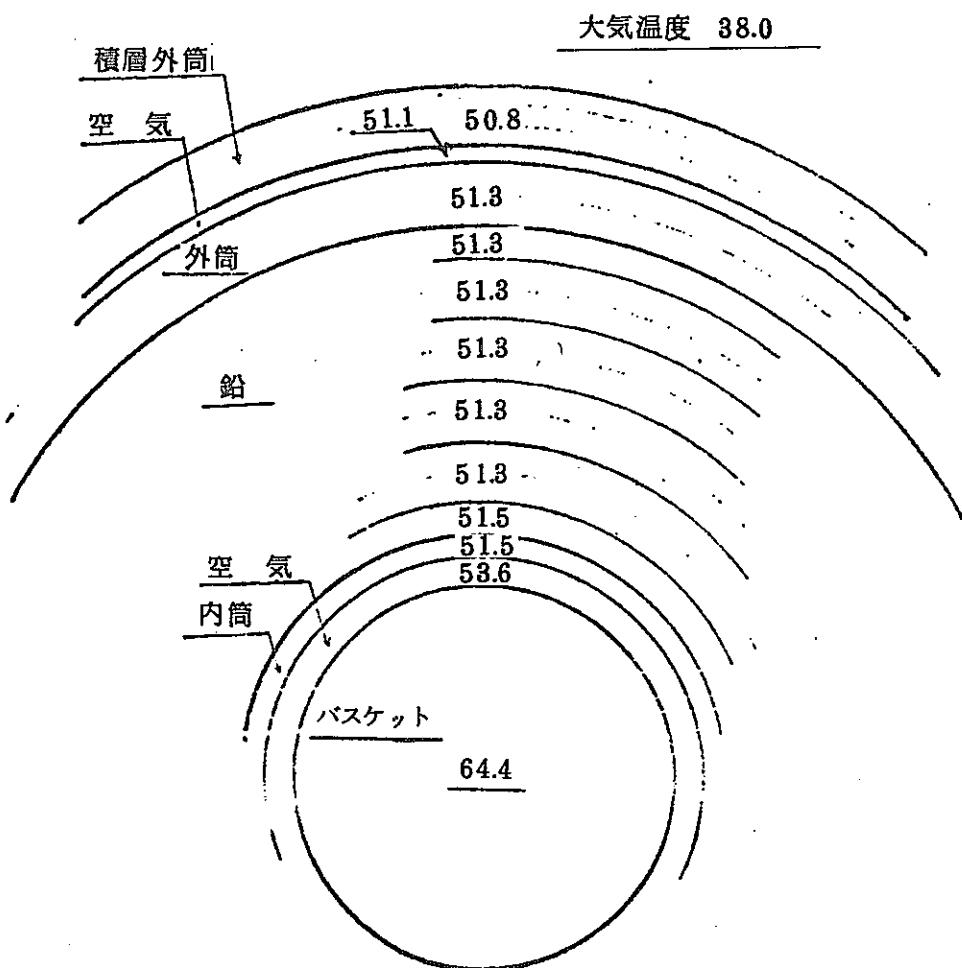


図-B6-2 通常輸送時温度分布(°C) (太陽熱なし)



ロー図 B 6 - 3 通常輸送時条件下温度分布(°C) (太陽熱あり)

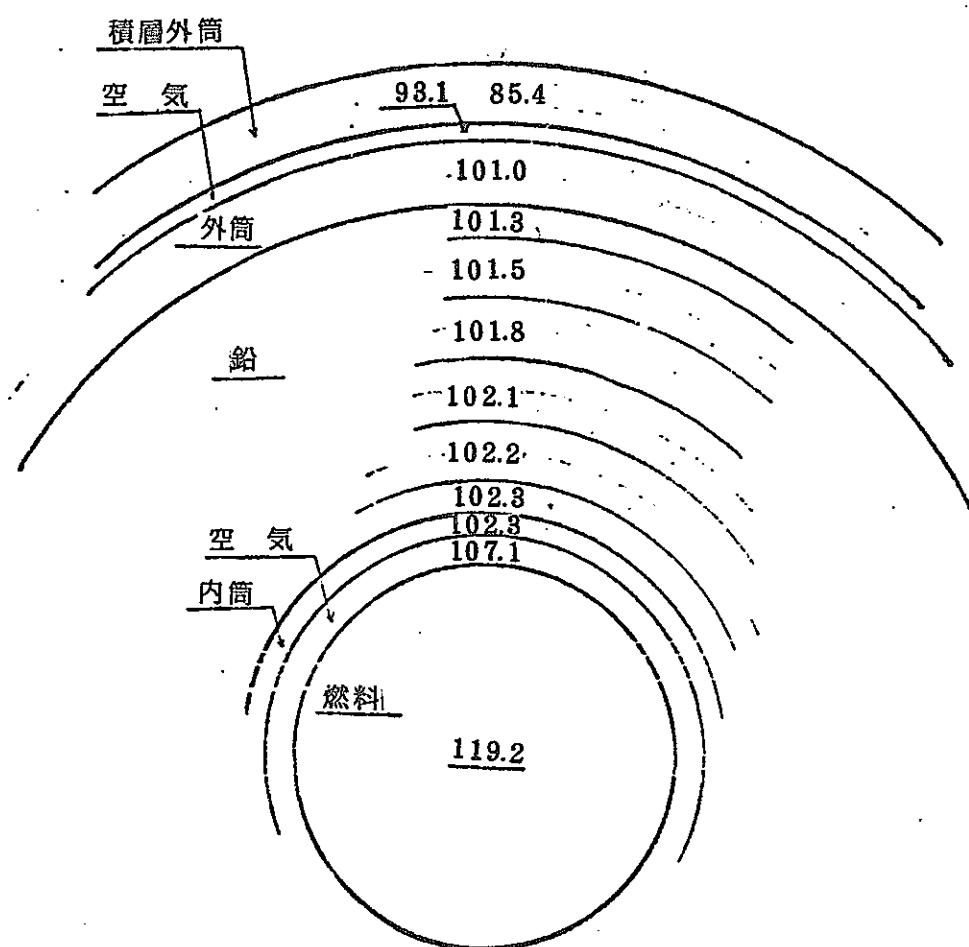
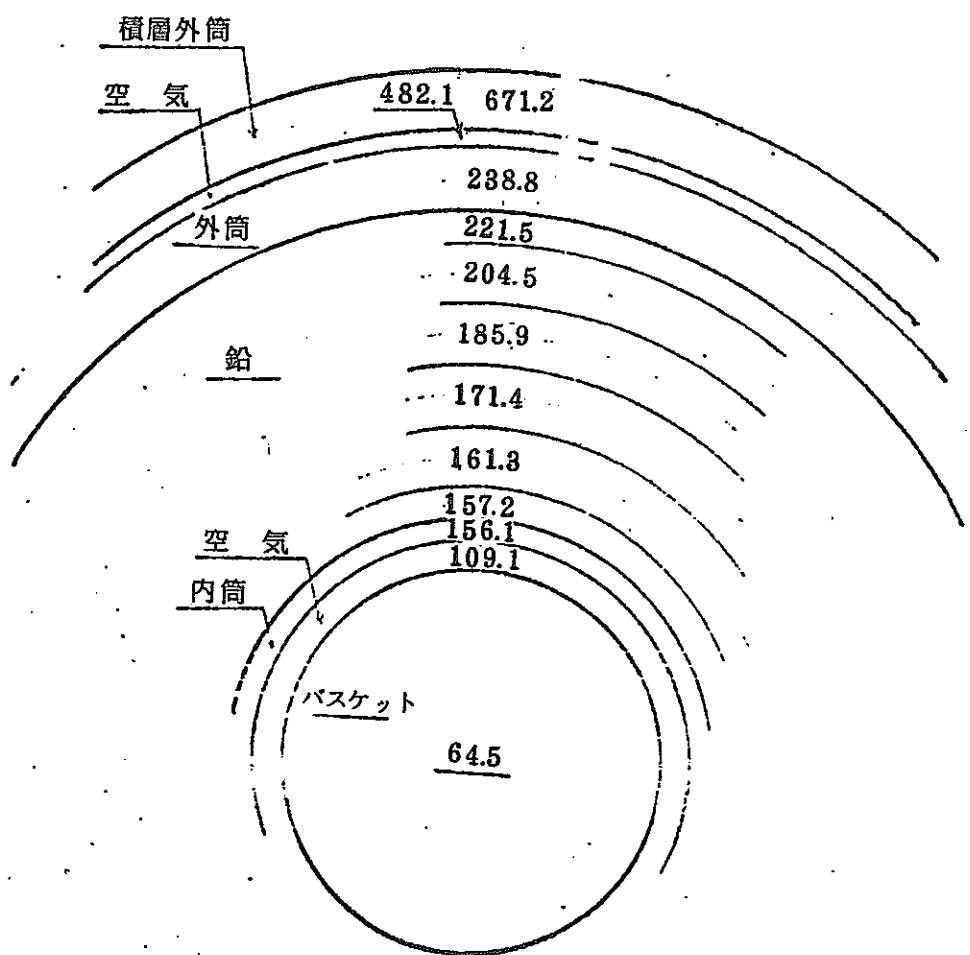
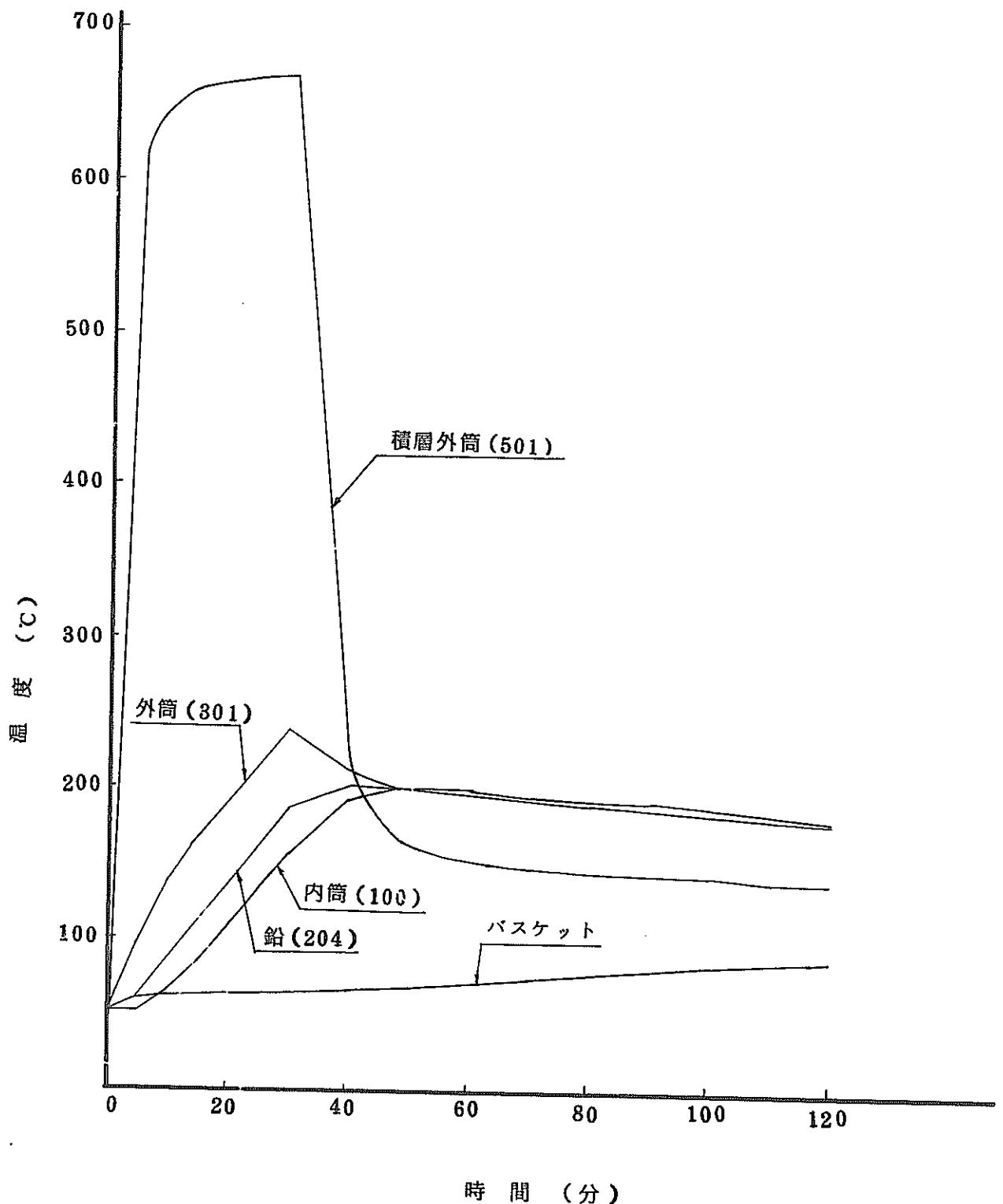


図-B-4 火災発生後 12 時間後温度分布 (°C) (太陽熱あり)

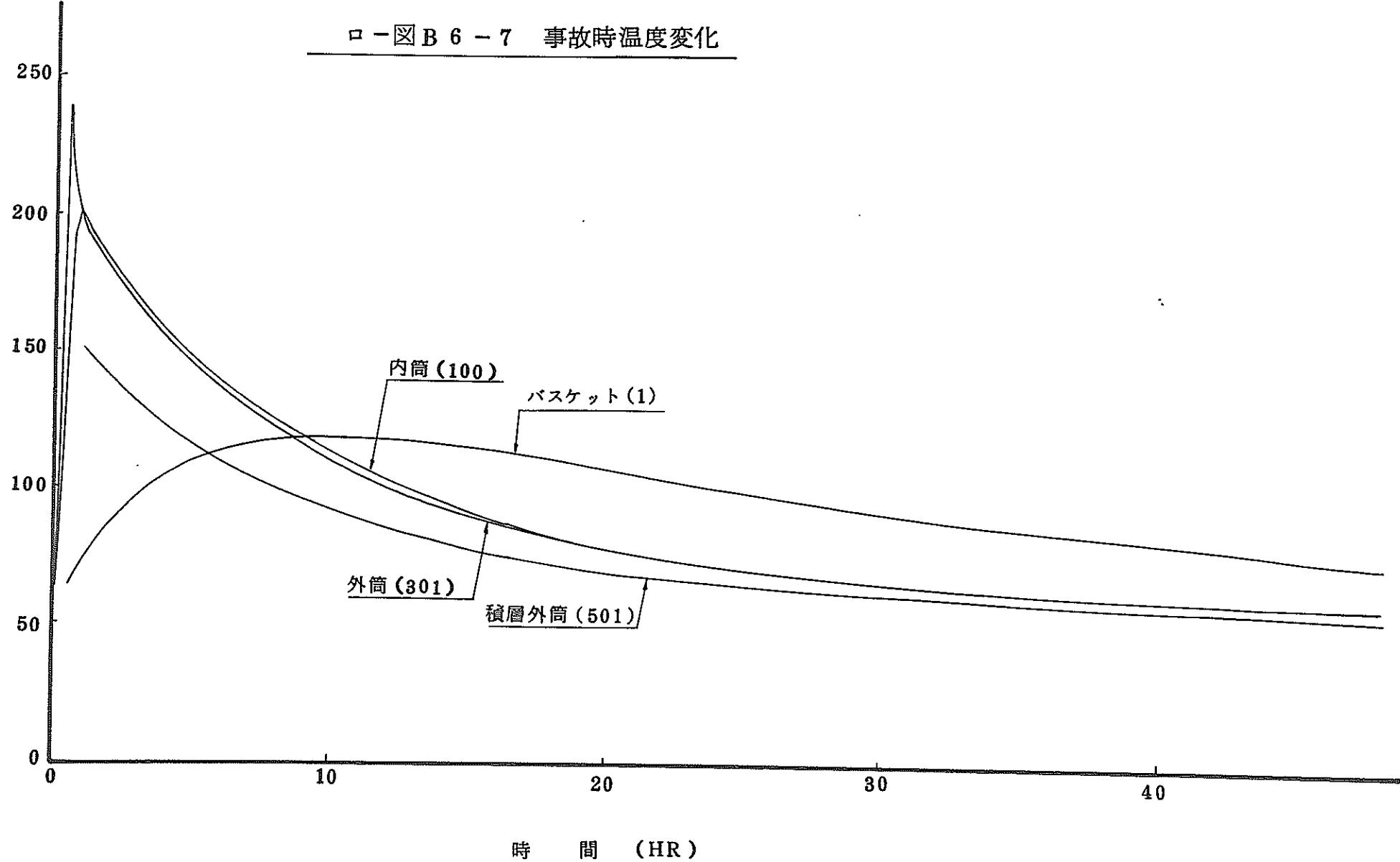


口一図B 6 - 5 火災発生後30分後温度分布(°C)

図-B6-6 事故時温度変化



時間 (分)



B.6.3 THT-D プログラムの説明

(1) 概 要

「THT-D」は、General Electric 社で開発されたノード型のプログラムである。

本輸送容器の熱解析では、通常時および事故時の容器の温度分布計算に本プログラムを用いた。

(2) 機 能

THT-Dは、熱生成、相変化および物質移動を伴う熱伝導を取り扱うことができる。

ノード間の伝熱としては、熱伝導、対流伝熱、面間熱輻射が行なわれるとしている。

熱伝導度、比熱、熱輻射は、温度の関数として取扱うことができる。

境界条件としては、熱源、冷却材への熱伝導、面間の輻射を取り扱うことができる。

(3) 計算方法

THT-D陰的差分法、ガウス＝ザイデル法を用いて繰り返し計算を行なう。繰り返し法による定常状態の計算及び時刻の進行の計算には、外挿、割線法、最悪の残差にたいする緩和、自動（過大、過小）緩和を用いる。

また、収束判定条件は

- ノードの温度変化
- ノードの熱収支の残差
- ノードの熱収支残差の絶対値の緩和
- ノードの熱収支残差の代数的緩和

を制限値としている。

(4) 実 績

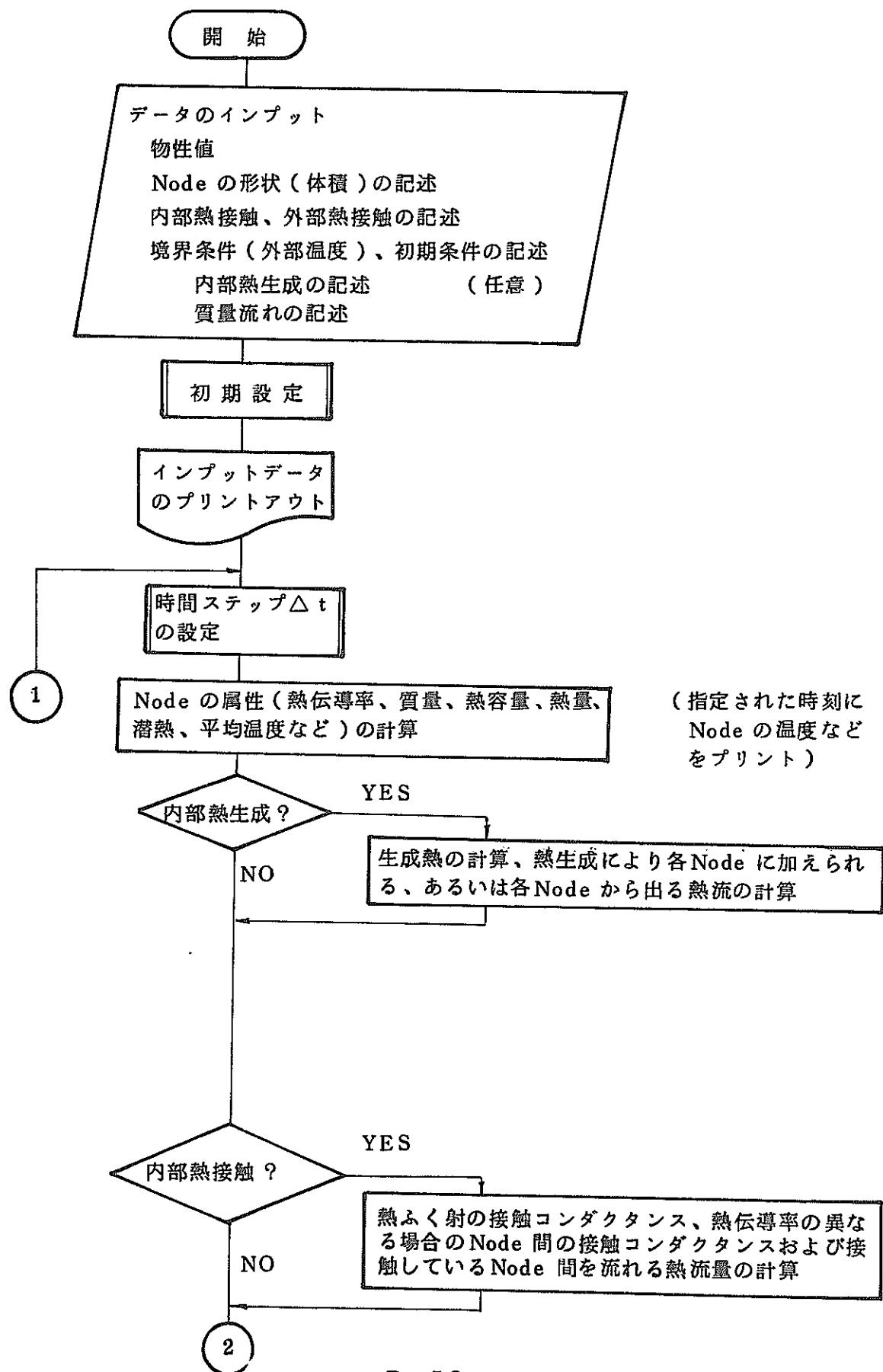
本プログラムが、使用済燃料輸送容器の熱解析に使用された実績としては、次のものがある。

(a) General Electric 社 IF -300

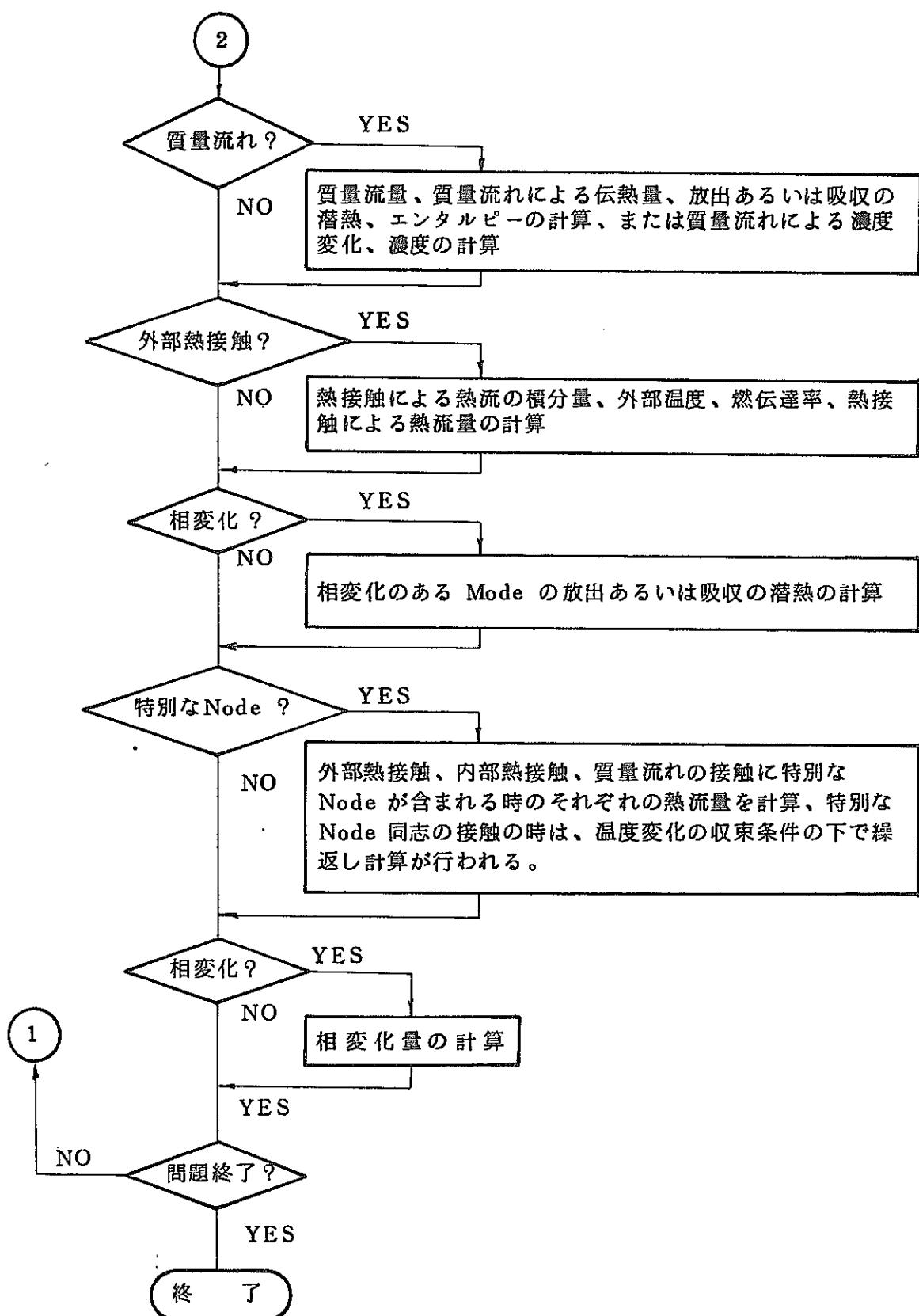
(5) フローチャート

TH-T-D プログラムのフローチャートを(口)-図 B.6-8 に示す。

図 B 6 - 8 THT-D フロー チャート



ロ-図B 6 - 8 THT-D フローチャート(続き)



B.6.4 TRUMP プログラムの説明

(1) 概 要

「TRUMP」は、Lawrence Livermore Laboratory で開発された差分法にもとづく温度分布計算プログラムである。本輸送容器の熱解析では、通常時及び事故時の容器の温度分布計算に本プログラムを用いた。

(2) 機 能

TRUMPは熱生成、化学反応、相変化及び物質移動を伴う熱伝達を取り扱うことができる。

TRUMPは直角座標、円柱座標、回転体座標あるいは極座標を用いて物体を分割することにより、3次元形状の物体を取り扱うことができる。

物性値のうち熱伝導率及び比熱は、温度または時間の関数として表わされる。

要素が発熱体である場合、要素は時間依存の熱生成率を持つことができる。

要素間の熱伝達は、伝導、自然対流、強制対流及び輻射による熱伝達を取り扱うことができる。

境界条件は自然対流、強制対流および輻射による熱伝達を取り扱える。

境界温度は、時間の関数として表わされる。

初期温度は、空間での位置によって変っても良い。

TRUMPからの出力としては、各時間ごとの温度分布のほか、各要素の熱収支等が得られる。

(3) 計算方法

TRUMPは、空間座標と時間について4個の独立変数及び温度と2つの反応物濃度という3個の従属変数を持った連立偏微分方程式を解く。他の従属変数は、相変化の起きた時の相の濃度および時間、温度空間の位置の関数である方程式のいくつかの係数である。

熱生成及び化学反応を伴う熱伝導及び物質移動の方程式は、通常の3次元の場合は、ふつうのベクトル演算子を用いて次のように表わされる。

$$\rho c \frac{DT}{Dt} = \rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \underline{v} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot k \nabla T + G - \rho Q_a \frac{\partial a}{\partial t} - \rho Q_b \frac{\partial b}{\partial t}$$

$$\frac{Da}{Dt} = \frac{\partial a}{\partial t} + \underline{v} \cdot \nabla a = -a^{pa} \exp \left(Z_a - \frac{E_a}{RT} \right)$$

$$\frac{Db}{Dt} = \frac{\partial b}{\partial t} + \underline{v} \cdot \nabla b = -b^{pb} \exp \left(Z_b - \frac{E_b}{RT} \right)$$

T : 絶対温度

t : 時間

ρ : 密度

c : 比熱

k : 热伝導率

\underline{v} : 流速ベクトル

G : 热生成率

a, b : 反応物濃度

P_a, P_b : フラクション次数

Q_a, Q_b : 反応熱

Z_a, Z_b : 対数衝突頻度

E_a, E_b : 活性化エネルギー

R' : 気体定数

座標軸 r に垂直な相の界面を持つ相変化の熱効果は次のように表わされる。

$$f \Delta H_m \left(\frac{\partial r_m}{\partial t} \right) = k_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial r} \right) r_m - k_2 \left(\frac{\partial T_2}{\partial r} \right) r_m$$

$$T_1 (r_m) = T_2 (r_m) = T_m$$

ただし ΔH_m : 相1から相2に相変化する時の潜熱

r_m : 相1と相2の間の界面の位置

T_m : 相変化が起こる時の温度

物質1と2の間の座標軸 r に、垂直な界面における熱収支は次のように表わされる。

$$k_1 \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_i = h_i (T_{2,i}, i - T_{1,i}, i) = k_2 \left(\frac{\partial T_2}{\partial r} \right)_i$$

$$h_i = h_i, \theta + h_i, c [(T_{2,i} - T_{1,i})^2] p_{i/2}$$

$$+ \sigma F_i (T_{1,i} + T_{2,i}) (T_{1,i}^2 + T_{2,i}^2)$$

界面のコンダクタンス h_i は、接触コンダクタンス、自然及び強制対流及び輻射の影響を含んだ一般形である。

σ はステファン・ボルツマン定数、 F は総括輻射伝達形態係数である。

座標軸 r に垂直な外表面における熱収支は、次のように表わされる。

$$k \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_s = U_{s,b} (T_b - T_s)$$

ここで、 T_b : 外部温度

$U_{s,b}$: 表面のコンダクタンス

で、 $U_{s,b}$ は物質間の場合と同様に次のように表わされる。

$$U_{s,b} = h_{s,\theta} + h_{s,c} [(T_b - T_s)^2] p_{s/2} \\ + \sigma E_b (T_s + T_b) (T_s^2 + T_b^2)$$

TRUMP で実際に解かれる方程式は、微小時間間隔に対してであり、上述の方程式から、時間微分 $\partial u / \partial t$ に対して $(U' - U) / \Delta t$ で置きかえることにより得られたものである。 U' および U は時間間隔 Δt の始まりと終りにおける値である。

(4) 実績

TRUMP プログラムは、Lawrence Livermore Laboratory で開発されたプログラムであり、現在、米国の数多くの研究所等で使用されている。

使用済燃料輸送容器の熱解析に使用された実績としては、次のもの

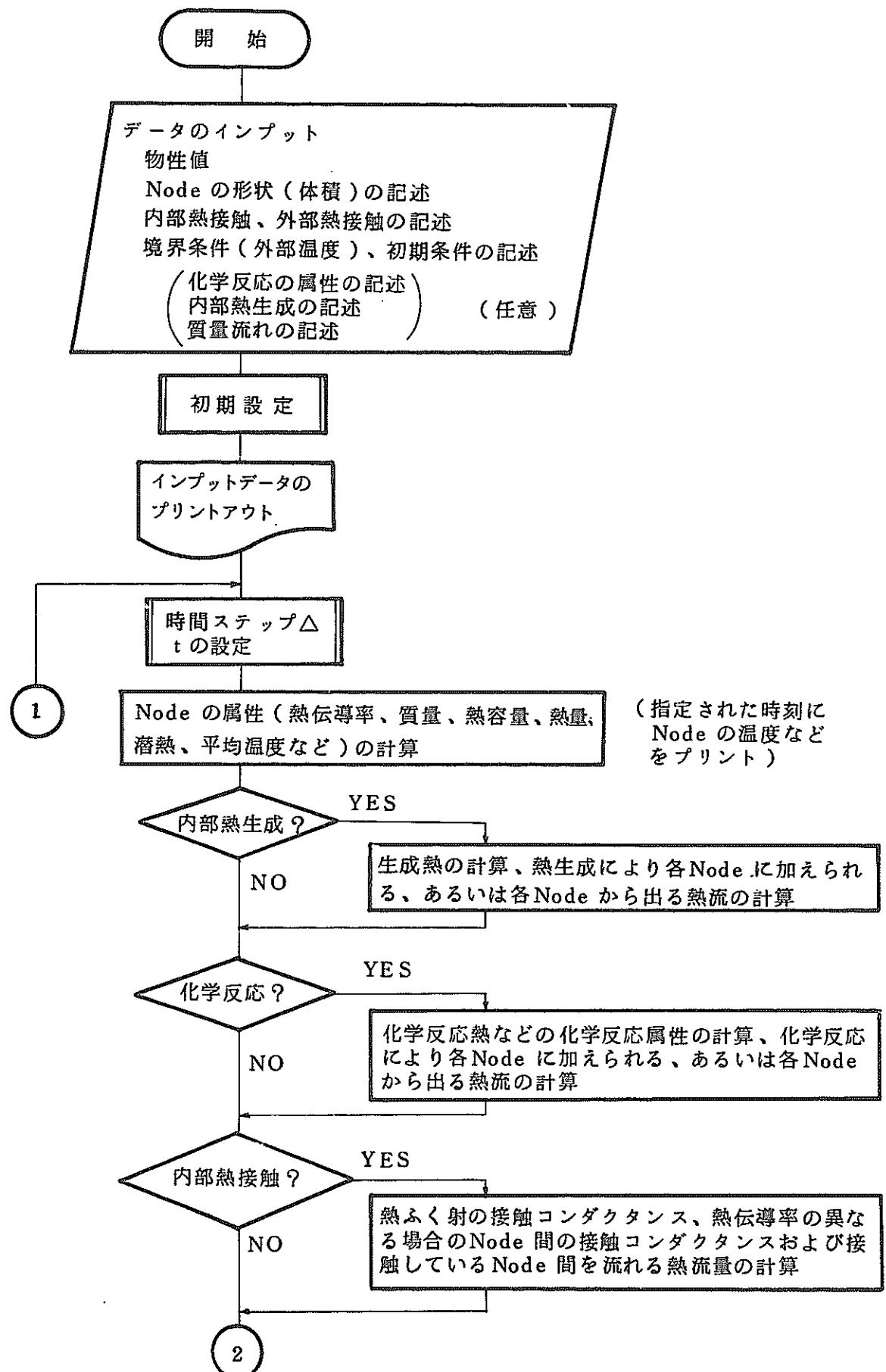
がある。

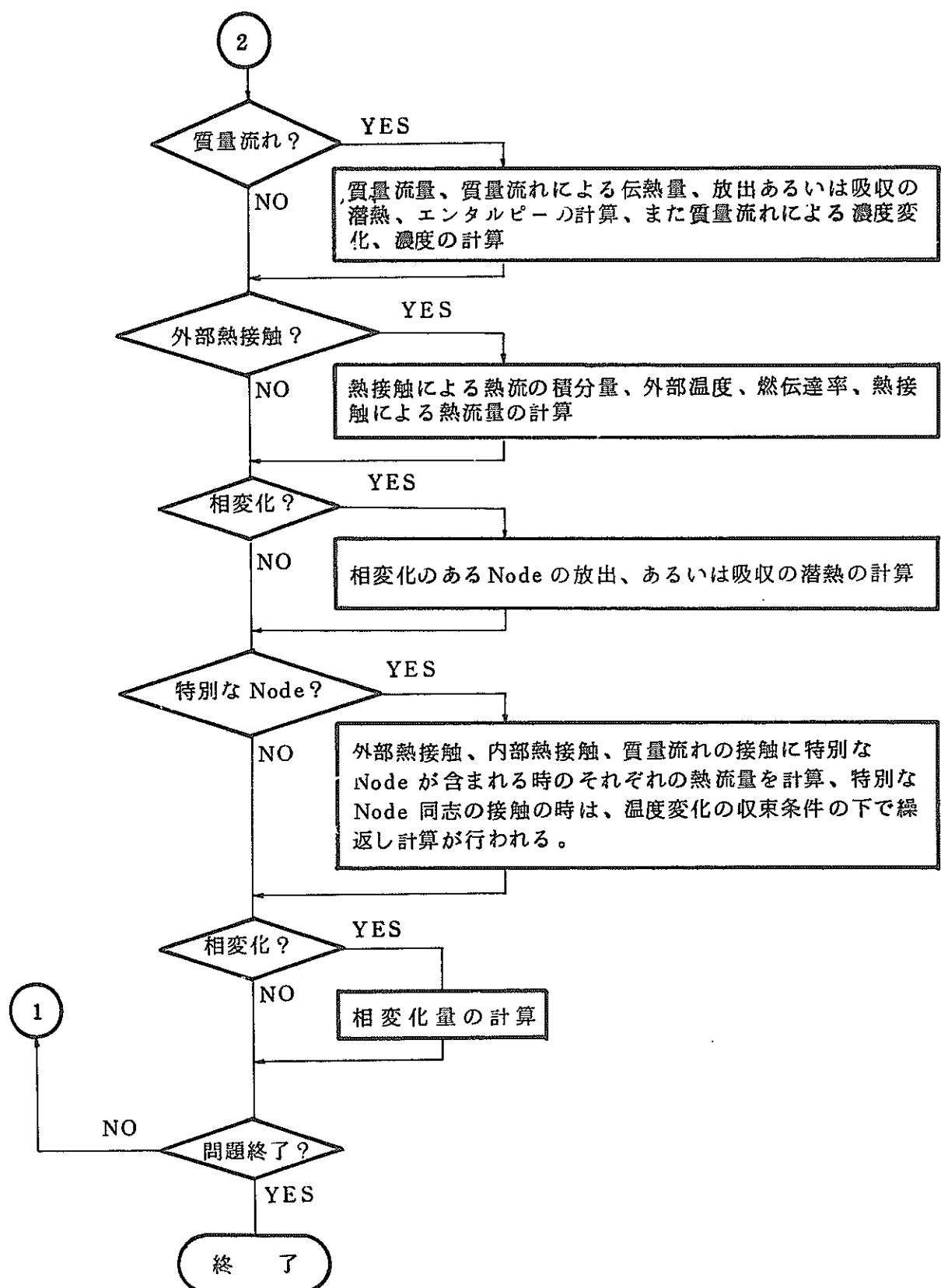
(a) B C L - 6 ⁽¹⁶⁾

(5) フローチャート

T R U M P プログラムのフローチャートを図 B 6 - 9 に示す。

図-B6-9 TRUMP フローチャート





□
—
C



口 章 C. 密 封 解 析

ロ章C. 密封解析

通常時条件下及び事故時条件下における輸送容器の密封性について記述する。

本輸送容器の密封性は、ロ-C-1に記述する密封装置によって確保されている。密封境界はイー図B.6に示すように密封容器本体、蓋、本体及び蓋のO-リング、ベント弁、レリーフ弁及びドレン弁で構成されている。

密封容器本体および蓋は、それぞれ密封性の良好な一体型構造である。本体と蓋との間のシールパッキンは、シリコンラバー製のO-リング、パッキンである。ベント弁及びドレン弁は密封性を確保できる構造である。弁の容器への取付部のパッキンは、シリコンラバー製O-リングパッキンである。

密封装置は、製作時の $5.3 \text{ kg/cm}^2 \text{G}$ (75 psi) 2時間の水圧試験、また、輸送時毎の $3.5 \text{ kg/cm}^2 \text{G}$ (50 psi) の漏洩試験により密封性が確認される。

C.1 密封装置

C.1.1 密封装置

(1) 構造

密封装置は、イー図B.6に示すように、密封容器本体、蓋、ベント弁、レリーフ弁、ドレン弁、及び蓋部Oーリングパッキン、弁取付部Oーリングパッキンより構成される。

蓋は、ボルトにより本体に取付けられる。

(2) 材質

密封容器本体及び蓋は、AISI.304ステンレス鋼製、蓋取付ボルトはASTM325鋼製、弁はステンレス鋼製、パッキンはシリコンラバー製Oーリングである。

(3) 圧力、温度

密封装置は、次の各条件において収納物を収容しうる耐圧強度を有している。

	圧力(kg/cm ²)	温度(°C)
1) 通常輸送時	0.28	103
2) 通常時条件	0.28	103
3) 事故時条件	0.96	293

実際の本容器の耐圧強度はB.M.Iの標準に従い5.3kg/cm²G(75psi)の水圧試験に耐えるよう設計、製作してある。

(4) 製作、検査

密封装置の構成部品の製作および検査の詳細は、ハ章に記載されている。

C.1.2 密封装置の貫通部

(1) 貫通部

密封装置にはイー図B.6に示すように、容器本体上部の貫通部には、ベント弁、レリーフ弁、圧力計及びフィルタを取り付け、本体下部の貫通部にはドレン弁が取付けてある。

(2) 貫通部の機能

ペント弁あるいはドレン弁を取り付けた貫通部は、燃料の装荷または、取り出しの際ドレンの排除や漏洩試験に使用する。弁は、輸送中はプラグで栓をし密封を更に確実にする。

(3) 構成部品の仕様

1) ペント弁及びドレン弁

HOKKE 304 ステンレス鋼製バルブ

口径 1 2.7 mm (½ in)

出口側には 1 2.7 mm (½ in) パイププラグを装備する。

2) レリーフ弁

LOCKENHEIMER BRONZE VALVE

口径 1 2.7 mm (½ in)

セット圧力 5.3 kg/cm²G (75 psi)

3) 圧力計

ASHCEOFT GAUGE

目盛範囲 4.2 kg/cm²G ~ 760 mm Hg Vac

(60 psi ~ 30 in Hg Vac)

4) フィルタ

304 ステンレス製

寸法 9.6 mm - 1 2.7 mm (¾ in - ½ in) PIPE BUSHING

5) O-リング

シリコンラバー製 $\phi d \times \phi D$

寸法 本体と蓋用 $\phi 6.35 mm (¼ in) \times \phi 50.8 mm (20 in)$

$\phi 3.17 mm (⅛ in) \times \phi 44.4 mm (1\frac{3}{4} in)$

6) プラグ

1 2.7 mm (½ in) SUS304 製パイププラグ

C.1.3. パッキン及び溶接部

(1) パッキン

容器本体と蓋との間のパッキン及び弁取付部のパッキンは、シリコンラバー製Oーリングである。これらのOーリングの温度は、通常輸送時及び通常時条件下を通じて最高92°Cであり、事故時条件下の最高温度は293°Cである。

しかし、シリコンラバー製Oーリングの連続使用可能温度は、*Chemistry and Technology of silicones*によれば250°Cであり、通常輸送時および通常時条件下においては性能が劣化することではなく、密封性を保つことができる。

また、シリコンラバー製Oーリングは-40°Cにおいても十分使用可能である。(ロ一表C1-1参照)

したがって、これらのパッキンは、通常輸送時及び通常時条件下を通じて十分連続使用可能であり、また、低温条件下においても密封性を保つことができる。

また、C.4.3項に示すように火災時の最高温度293°Cにおいても約3時間の耐熱性を有している。したがって事故時条件下においても上記と同様密封性を保持出来る。

(2) 溶接部

密封容器の本体及び蓋は、それぞれ一体構造である。

したがって、密封性を確保するための溶接部はない。その他の溶接は、漏洩検査などにより密封性を確認している。

ロー表 C.1-1 シリコンラバーの耐寒性

シール用主要ゴム材料一覧表

材 料 特 性	ニ ト リ ル ゴ ム	フ ッ 素 ゴ ム	シリ コ ー ン ゴ ム	ク ロ ロ ブ レ ン	プ チ ル ブ ル ゴ ム	(I I R) ム	S B	ハ イ パ ロ ン	備 考
耐 热 性 ℃	+185	+250	+250	+185	+150	+120	+150		
安 全 温 度 ℃	+80	+200	+200	+70	+70	+70	+100		
耐 寒 性 ℃	-55	-45	-80	-55	(-100)	-55	-40		
耐 摩 耗 性	良	優	可	優	優	良	良		
耐 壓 縮 性	秀	優	秀	優	良	優	良		
耐 屈 曲 性	良	優	可	優	優	良	優		
耐 候 性	可	秀	秀	優	優	不可	優		
耐 蒸 気 性	優	良	可	良	優	良	良		
耐 引 裂 性	良	良	可	良	優	良	良		
耐 ガス 透 過 性	優	優	可	優	秀	良	優		
耐 オ ゾ ン 性	可	秀	秀	良	優	可	優		
耐 ハ ロ ゲン ガス 性	不可	優	可	不可	不可	不可	不可		
耐 药 品 性									
発 煙 硝 酸	不可	良	不可	不可	不可	不可	不可		
濃 硝 酸	不可	良	不可	不可	不可	不可	可		
濃 硫 酸	不可	優	不可	不可	可	不可	良		
濃 塩 酸	可	秀	良	可	良	不可	優		
濃 燐 酸	不可	秀	優	優	優	可	秀		
濃 醋 酸	不可	不可	優	可	優	良	可		
稀 硝 酸	不可	優	良	良	良	不可	良		
稀 硫 酸	秀	秀	秀	優	秀	秀	優		
稀 塩 酸	良	秀	秀	優	秀	可	優		
稀 醋 酸	可	優	秀	可	優	良	優		
無 水 アンモニヤ	良	不可	優	良	優	良	良		
濃 苛 性 ソーダ	優	可	可	優	秀	優	秀		
稀 アンモニヤ	良	優	優	良	優	良	秀		
稀 苛 性 ソーダ	優	良	可	良	良	優	秀		
耐 溶 剂 性									
ガ ソ リ ン	秀	秀	可	良	不可	不可	良		
航 空 用 燃 料	優	秀	可	良	不可	不可	可		
ペ ン ゼ ン	可	優	不 可	可	不 可	不 可	可		
ナ フ サ	良	優	不 可	可	不 可	可	可		
トリ ク レ ン	良	優	可	可	不 可	不 可	可		
四 塩 化 炭 素	良	優	不 可	不 可	不 可	不 可	不 可		
二 硫 化 炭 素	良	優	良	不 可	可	不 可	不 可		
アル コ ール	秀	秀	秀	秀	秀	秀	秀		
エ チ レ ン グ リ コ ール	秀	秀	秀	秀	優	秀	秀		
ア セ ト ン	不 可	不 可	良	良	秀	秀	良		
ク レ ゾ ー ル	不 可	秀	良	良	可	可	可		
耐 油 性									
A S T M : 1 油	秀	秀	秀	優	可	良	優		
A S T M : 3 油	秀	秀	良	良	可	可	良		
植 物 油	秀	秀	秀	秀	秀	優	秀		
重 油	優	秀	可	良	不 可	不 可	可		
鉱 物 性 作 動 油	秀	秀	優	優	不 可	不 可	良		
リ ン 酸 エ ス テ ル 作 動 油	可	優	優	可	優	可	可		
シリ コン 油	秀	秀	良	秀	秀	秀	秀		

(1) 大日日本電線 K.K. カタログより抜萃

C.1.4. 蓋

(1) 密封構造

蓋は、C.1.1.(3)に示す、圧力及び温度に耐える強度を備え、かつ本体取り付け部の密封性を維持できる、シールパッキンが設けられている。蓋は、一体型構造であり、密封性を確保するための溶接部はない。

(2) 蓋の本体への取付け

蓋は、1インチのボルト12本により本体に締め付けられる。ボルトの締め付けトルクは、 6.9 kg-m (50 ft-lbs)とし、輸送中ボルトが、ゆるみ、密封性が損われることのないようにしている。

輸送時には12本のボルトは、ナット締付後針金で回転防止できるようになっており、したがって、輸送中に蓋が不用意に開けられることはない。

C.2 通常時条件

C.2.1. 放射性物質の漏洩

以上述べたように、密封装置は、完備されており、その上輸送毎に $3.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ (50 ps i) の漏洩試験により漏洩がないことが確認されるので、放射性物質の漏洩があるとは考えられないが、本解析では、空気漏洩試験において圧力変化が1時間につき 0.05 kg/cm^2 だけ検知されたと想定し、その圧力変化に対応する漏洩率にもとづいて放射性物質の漏洩を評価する。

放射性物質の漏洩は、密封装置内の放射性物質濃度と空気漏洩率から求め、安全基準の規定値以下であることを確認する。

(1) 容器内温度及び圧力

通常時条件下の容器内の温度及び圧力は、容器が太陽熱輻射を受けた時に最高になる。

C.1.1(3)より次の通りである。

温 度: 103°C

压 力: 0.28 kg/cm^2

(2) 通常時条件下の空気の漏洩率

容器内を 3.5 kg/cm^2 に加圧し、その圧力が 1 時間にについて 0.05 atm づつ降下したと想定し、試験の間、温度変化がなかったとした場合の空気の漏洩率は次式で表わされる。

$$L = \frac{V T s}{3600 H} \left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right) = \frac{1298 \times 10^3 \times 298}{3600 \times 1} \times \left(\frac{4.35 - 4.30}{298} \right)$$

$$= 1.8 \text{ atm. cm/s}$$

ただし、 L : 25°C における圧縮空気の漏洩率. atm cm/s

V : 容器の容積 = $129,800 \text{ cm}^3$ (C.4.1 参照)

H : テスト時間 = 1 h

T_s : 基準温度 = 298°K (25°C)

T_1 : 試験開始時の空気温度 = 298°K

T_2 : 試験終了時の空気温度 = 298°K

P_1 : 試験開始時の空気圧力 = 4.35 atm

P_2 : 試験終了時の空気圧力 = 4.30 atm

(3) 通常時条件における最大ガス漏洩率

通常時条件における最大ガス漏洩率は、漏洩試験条件における最大漏洩率にもとづいて、次式により表わされる。

$$L_x = \frac{L_r \eta y (P_u^2 - P_d^2)_x}{\eta_x (P_u^2 - P_d^2)_y}$$

ただし、 L : ガスの漏洩率 atm cm/s

η : ガスの絶対粘性係数 cp

P_u : ガスの圧力 (上流側) atm

P_d : ガスの圧力 (下流側) atm

x : 通常時条件を表わす添字

y : 漏洩試験を表わす添字

ところで、 $\eta_x = 103^\circ\text{C}$ 、 0.28 kg/cm^2 における空気の粘性係数

$$= 1.57 \times 10^{-5} \text{ cp}$$

$$\eta_y = 25^{\circ}\text{C}, 3.5 \text{ kg/cm}^3 \text{ における空気の粘性係数} \\ = 1.68 \times 10^{-2} \text{ cp}$$

P_{uy} = 漏洩試験圧力 4.35 atm

P_{dy} = 漏洩試験時の外気圧 1.0 atm

P_{ux} = 通常時条件下の密封装置内圧 1.24 atm

P_{dx} = 通常時条件下の外気圧 1.0 atm

$$L_x = \frac{1.8 \times 1.68 \times 10^{-2} (1.24^2 - 1.0^2)}{1.57 \times 10^{-2} (4.35^2 - 1.0^2)} \\ = 0.055 \text{ atm cm/s}$$

$$\text{したがって、 } 1.24 \text{ atm では } L_x = 0.055 \times 3,600 / 1.24 \\ = 161 \text{ cm}^3/\text{h}$$

(4) 通常時条件下における放射性ガスの漏洩率

収納物の非固定性放射能強度 13.7 Ci

内筒内空気 1 cm^3 当りの放射能強度 $C \text{ Ci/cm}^3$ は

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{1.37 \times 10^{-4}}{129800} = 10^{-9} \times 1.05 \text{ Ci/cm}^3$$

Q : 収納物の放射能強度 $= 1.37 \times 10^{-4} \text{ Ci}$

V : 容器の容積 $129,800 \text{ cm}^3$

これより放射性ガスの漏洩率 $L_c \text{ Ci/h}$ は

$$L_c = L_x \times C = 161 \times 10^{-9} \times 1.05 = 1.70 \times 10^{-9} \text{ Ci/h}$$

ここで、 L_x : ガスの漏洩率 $= 161 \text{ cm}^3/\text{h}$

C : 容器内ガス 1 cm^3 当りの放射能

$$= 1.05 \times 10^{-9} \text{ Ci/cm}^3 \text{ h}$$

(5) 通常時条件下の漏洩基準値

この場合、安全基準に定められているよう ロード表 D 5-1 に示す複合核種及び崩壊連鎖のある場合は、

$$A_1 = 2 \text{ Ci}$$

$A_2 = 4 \times 10^{-1} \text{Ci}$ を用いる。

通常時条件下の漏洩基準は、

$$A_2 \times 10^{-6}/\text{h}$$

であるから、

$$\begin{aligned} & 4 \times 10^{-1} \times 10^{-6} \text{ Ci/h} \\ & = 10^{-7} \times 4 \text{ Ci/h} \end{aligned}$$

以上より、通常時条件下の放射性物質の漏洩は、

$1.7 \times 10^{-7} \text{ Ci/h}$ であり基準値は $4 \times 10^{-7} \text{ Ci/h}$ である。

したがって、放射性物質の漏洩は省令を満足している。

C.2.2. 密封装置の加圧

通常時条件下では、密封容器内での気体の発生はなく空気の温度上昇による加圧のみである。

C.2.3. 冷却材汚染

本輸送容器は、空気冷却であり、空気以外の冷却材は使用しない。

C.2.4. 冷却材の損失

本輸送容器は、ロ-C1に述べたように、通常時条件及び通常輸送時においても、密封装置の密封性が保たれるので冷却材の損失がない。

C.3. 事故時条件

C.3.1. 核分裂生成ガス

事故時条件下においても、収納物は破損することなく、密封装置内に放射性生成物は出ないと考えられるので、通常時条件と同様の考え方で、容器内に放射性物質が蓄積されているとする。

C.3.2. 収納物の漏洩

事故時条件下においても、輸送容器の密封性は変化なく、事故時の容器内圧力より、空気漏洩試験の圧力の方が高いので、空気漏洩試験に漏洩しなかったものが事故時に漏洩するとは考えられないが、

通常時と同じ方法で収納物の漏洩を評価する。

(1) 容器内温度及び圧力

事故時条件下の容器内の温度及び圧力は C. 1. 1. より次の通りである。

温 度 : 293°C 圧 力 : 0.96 kg/cm²

(2) 空気漏洩試験時の漏洩率

C. 2. 1.(2)にて述べた通常時試験条件下の場合と同様に空気漏洩試験時の漏洩率は、

$L = 1.8 \text{ atm. } cm^3/s$ である。

(3) 事故時条件における最大ガス漏洩率

事故時条件における最大ガス漏洩率は次式により表わされる。

$$L_x = \frac{Ly \eta y (Pu^2 - Pd^2)x}{\eta x (Pu^2 - Pd^2)y}$$

ただし、 L : ガスの漏洩率 atm cm^3/s

η : ガスの絶対粘性係数 cp

Pu : ガスの圧力(上流側) atm

Pd : ガスの圧力(下流側) atm

x : 事故時条件を表わす添字

y : 漏洩試験を表わす添字

ところで、 $\eta x = 293°C, 0.96 kg/cm^2$ における空気の粘性係数
 $= 2.89 \times 10^{-2} \text{ cp}$

$\eta y = 25°C, 3.5 kg/cm^2$ における空気の粘性係数
 $= 1.68 \times 10^{-2} \text{ cp}$

Puy = 漏洩試験圧力 4.35 atm

Pdy = 漏洩試験時の外気圧 1.0 atm

Pux = 事故時条件時の密封装置内圧 1.89 atm

Pdx = 事故時条件時の外気圧 1.0 atm

$$L_x = \frac{1.8 \times 1.68 \times 10^{-2} (1.89^2 - 1.0^2)}{2.89 \times 10^{-2} (4.35^2 - 1.0^2)} = 0.17 \text{ atm } cm^3/s$$

したがって、1.89 atmでは1週間で

$$L_x = 0.17 \times 3600 \times 168 / 1.89 = 54,600 \text{ cm}^3/\text{W}$$

(4) 事故時条件における放射性ガスの漏洩率

これより放射性ガスの漏洩率 $L_c (\text{Ci}/\text{W})$ は

$$L_c = L_x \times C = 54,600 \times 1.05 \times 10^{-9} = 5.75 \times 10^{-5} \text{ Ci}/\text{W}$$

ここで、 $L_x = \text{ガスの漏洩率} = 54,600 \text{ cm}^3/\text{W}$

$$C = \text{容器内ガス } 1 \text{ cm}^3 \text{ 当りの放射能} = 1.05 \times 10^{-9} \text{ Ci/cm}^3$$

以上より事故時条件下の放射性物質の漏洩は、

$5.75 \times 10^{-5} \text{ Ci}/\text{W}$ であり、安全基準に定める値は

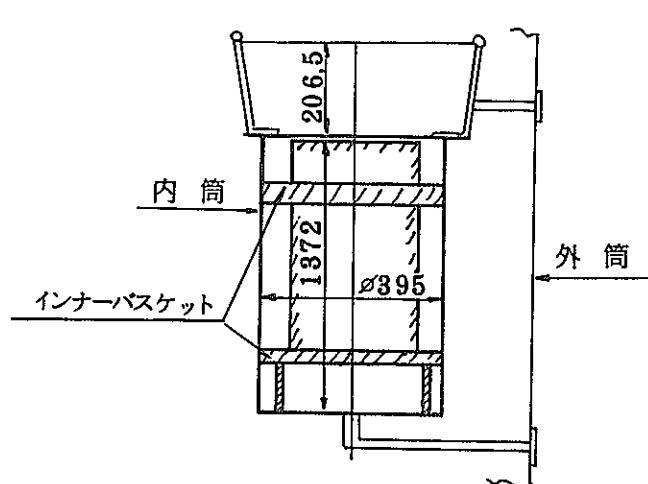
$4 \times 10^{-1} \text{ Ci}/\text{W}$ である。

したがって、放射性物質の漏洩は省令を満足している。

C.4. 付 属 文 書

C.4.1 容器内の空気容積

1. 容器の内容積



$$\text{内筒内 } \frac{\pi \times (39.5)^2}{4} \times 137.2 = 168,042 \text{ cm}^3$$

本体と蓋との隙

$$\frac{\pi (45.0^2 - 44.9^2)}{4} \times 20.5 = 43 \text{ cm}^3$$

$$\text{管 } \frac{\pi \times 1^2 \times 55}{4} = 43 \text{ cm}^3$$

$$\text{内筒容積 } 168,120 \text{ cm}^3$$

2. 収納物容積

図 C.4-1 容器の空気容積モデル図

$$\text{バスケット容積 } 110,000 / 7.8 = 14,200 \text{ cm}^3$$

・ A T R 壓力管照射試験片容積

$$\cdot \frac{\pi \times 4.0^2}{4} \times 87.4 \times 2 = 2,195 \text{ cm}^3$$

$$\cdot \frac{\pi \times 6.5^2}{4} \times 95.2 \times 6 = 19,700 \text{ cm}^3$$

$$\cdot \frac{\pi \times 5.0^2}{4} \times 60.0 \times 1 = 1,175 \text{ cm}^3$$

$$\text{収納物容積 } 38,280 \text{ cm}^3$$

・ 容器内の空気容積は、容器の内容積と収納物容積の差であるので

$$\begin{array}{r} 168,120 \\ - 38,280 \\ \hline 129,840 \text{ cm}^3 \end{array}$$

容器内の空気容積は、129,800 cm³とする。

C.4.2 非固定性放射能の量

非固定性放射能は、試料外表面からのみ発生すると考えると、各ホルダーの表面積は以下の通りである。

74 LM-12 P、70 LM-8 P

ホルダー A の表面積 (直径約 50 mm 長さ約 285 mm)

$$1.1 (\pi \times 50 \times 285 + \frac{\pi}{4} \times 50^2 \times 2) = 53,562 \text{ mm}^2$$

ホルダー B の表面積 (直径約 50 mm 長さ約 298 mm)

$$1.1 (\pi \times 50 \times 298 + \frac{\pi}{4} \times 50^2 \times 2) = 55,809 \text{ mm}^2$$

$$\text{合計} = 109,871 \text{ mm}^2 = 1,093 \text{ cm}^2$$

74 M-26 P、70 M-43 P、44 P、45 P、46 P、(直径約 65.5 mm 長さ約 952 mm)

$$1.1 (\pi \times 65.5 \times 952 + \frac{\pi}{4} \times 65.5^2 \times 2 + 8\pi \times 240) \\ = 225,826 \text{ mm}^2 = 2,258 \text{ cm}^2$$

69 M-19, 20 P (直径約 40 mm 長さ約 1,175 mm)

$$1.1 (\pi \times 40 \times 924 + 250 \times \pi \times 5 + \frac{\pi}{4} \times 40^2 \times 2) \\ = 134,807 \text{ mm}^2 = 1,348 \text{ cm}^2$$

また、内筒内表面の面積は、(直径約 $\frac{394}{512}$ mm 長さ約 $\frac{1372}{206}$ mm)

$$\text{内筒 } 1.1 (\frac{394}{512} \pi \times 1372 + 512 \pi \times 206 + \frac{\pi}{4} \times 394) \\ = 2,360,000 \text{ mm}^2 = 23,600 \text{ cm}^2$$

$$\text{蓋 } 1.1 (\frac{\pi}{4} \times 512^2 + 225 \times \pi \times 512) \\ = 623,000 \text{ mm}^2 = 6,230 \text{ cm}^2$$

$$\text{合計 } 29,830 \text{ cm}^2$$

ここで、表面から 10 μだけが非固定性放射能とのことであるので、収納物の全表面に 10 μの厚さを乗じた部分の放射能強度になる。

したがって、この体積 V cm³は全表面積を S cm²とすれば厚さが、10 μすなわち、 $10 \times 10^{-3} \text{ mm} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ cm}$ であるので、

$$V = 1 \times 10^{-3} \times S$$

また、S cm²は、次のようになる。

種類	個数	表面積 cm ²	小計 cm ³
74 LM-12 P、70 LM-8 P	2	1093	2,186
74-26P、70M-43~46P	5	2258	11,290
69 M-19、20 P	2	1348	2,696
面積合計			16,172 cm ³

よって、体積 $V \text{ cm}^3$ は、

$$V = 1 \times 10^{-3} \times 1 \times 16172 \text{ cm}^3$$

密度は、 7.8 g/cm^3 であるとすると、重量 $W \text{ g}$ は、

$$W = 7.8 \times V$$

したがって、 $W = 7.8 \times 16.3 = 127 \text{ g}$

一方収納物の単位重量当りの放射能 $p \text{ Ci/g}$ は全重が $96,000 \text{ g}$

であるので、 $p = 10,038 / 96,000 = 0.108 \text{ Ci/g}$

よって、非固定性放射能 $P_1 \text{ Ci}$ は

$$P_1 = pW$$

$$P_1 = 0.108 \times 127 = 13.7 \text{ Ci}$$

容器よりの非固定性放射能は最大 710 d.p.m であるので、

$$3.2 \times 10^{-4} \mu \text{Ci} / 100 \text{ cm}^3$$
 である。

したがって、容器よりの放射能 $P_2 \text{ Ci}$ は

$$P_2 = 3.2 \times 10^{-4} \mu \text{Ci} \times 29830 / 100 = 952 \times 10^{-4} \mu \text{Ci}$$

$$= 0.952 \times 10^{-1} \mu \text{Ci} = 0.1 \mu \text{Ci}$$

よって、 P_2 は、 P_1 に比して極小なので省略できる。

したがって、漏洩の可能性のある放射能は $P_1 \text{ Ci}$ と考えてもよい。

然しながら、この内漏洩出来るのは gas の中を浮遊出来かつ漏洩部のせまい隙間を通過出来るものでその比率は、 10^{-5} 程度と考えられるので、漏洩可能であり、かつ、内筒内空気に均一に分散している放射能の量 $P \text{ Ci}$ は、

$$P = P_1 \times 10^{-5}$$

ここで、 P_1 非固定性放射能の全量 13.7 Ci

よって、 $P = 13.7 \times 10^{-5} \text{ Ci} = 1.37 \times 10^{-4} \text{ Ci}$

C.4.3 シリコンラバー O - リングの耐熱シール性能試験報告

1. 概 要

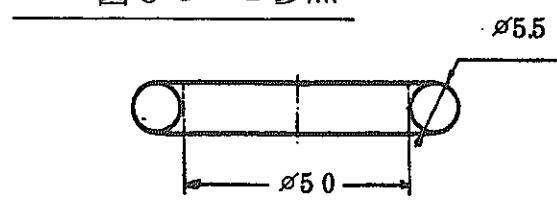
HZ75T輸送物の蓋部シールに用いているシリコンラバー O - リングの耐熱シール性能を実験で確認するため、市販シリコンラバー O - リングにロー図 B2-1 「シリコンラバー O - ロ - C - 14

リングの温度に対するシール寿命」に示す温度条件を負荷し、気密及び物性値計測試験を行うことにより、同図の信頼性を確証した。

2. 試験片及び装置

2.1 試験片（シリコンラバーO-リング）

ロ-図 C.4-2 参照



ロ-図 C.4-2 試験片

寸法 J I S B 24 01(O-リング) P 30 A 相当

材質 シリコンラバー

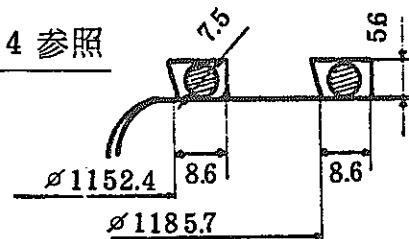
(大日本電線配合 № 1232-70)

注 HZ 75 トン輸送物 O-リング部寸法

ロ-図 C.4-3 参照

2.2 試験治具

ロ-図 C.4-4 参照



ロ-図 C.4-3

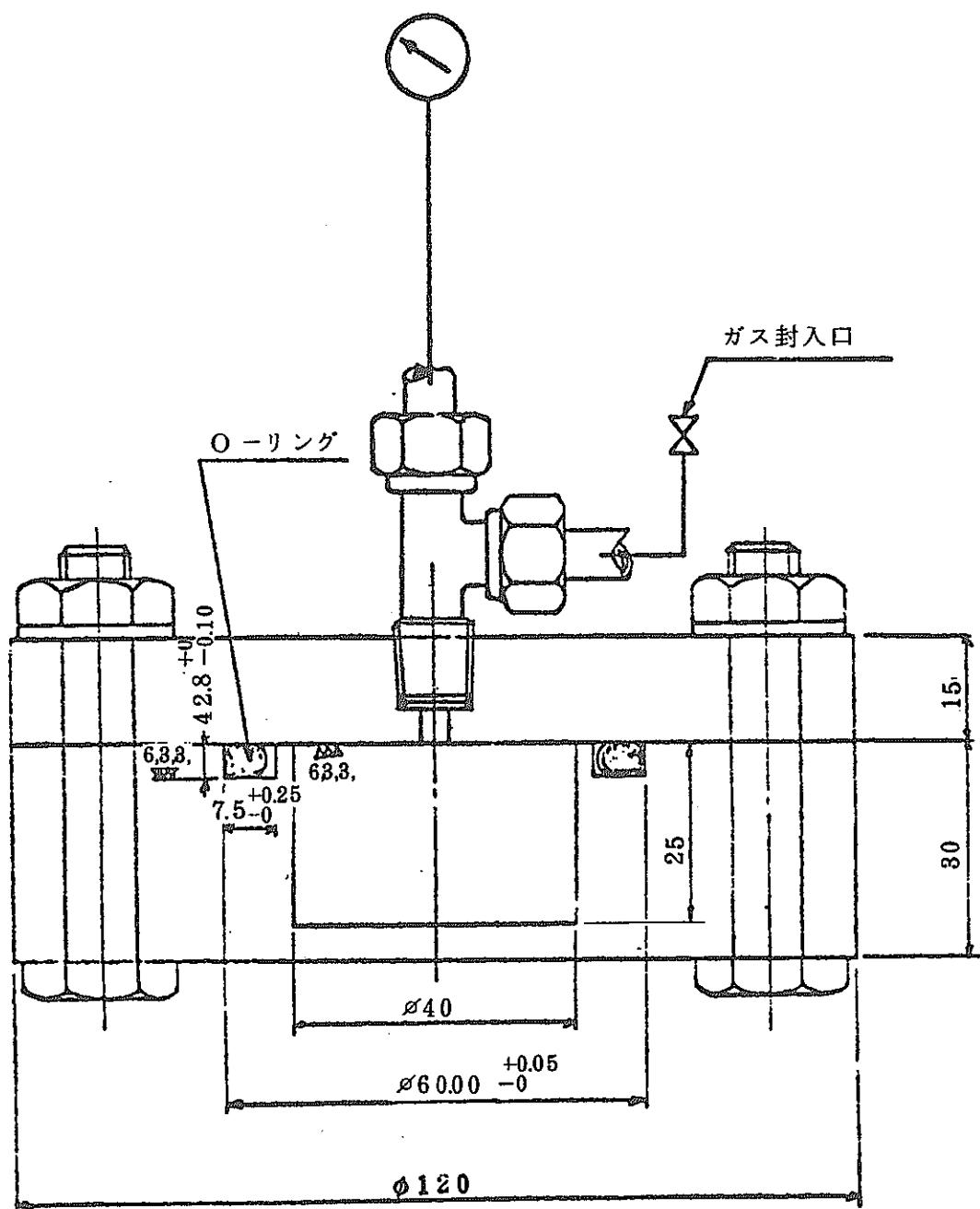
2.3 耐熱試験用高温槽

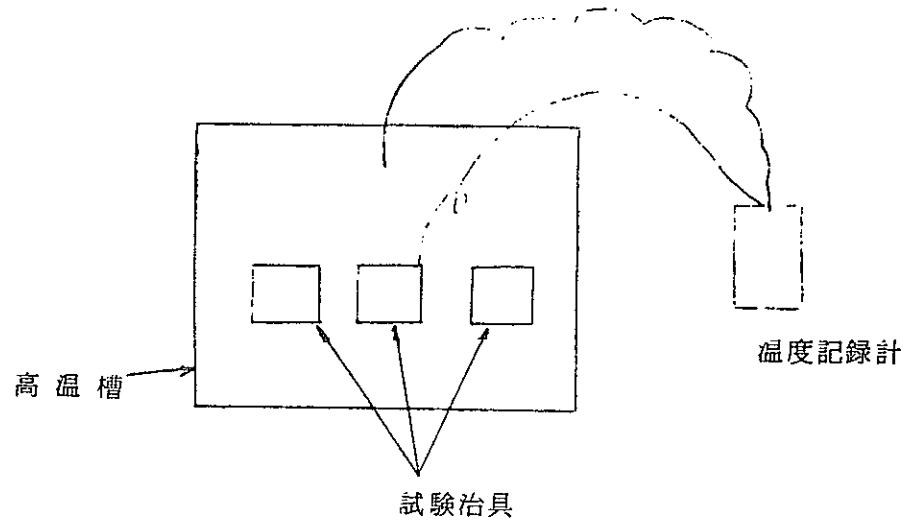
ロ-図 C.4-5 に示す如く、熱処理炉（電気炉）中にロ-図 C.4-4 に示す試験治具を設置して耐熱試験を行った。

図-C.4-4

ガスシール試験治具組立図

内容積：38.5cm³





口一図 C.4 - 5 耐熱試験概念図

高温槽の外観及び試験治具設置状態を各々写真 1 及び 2 に示す。

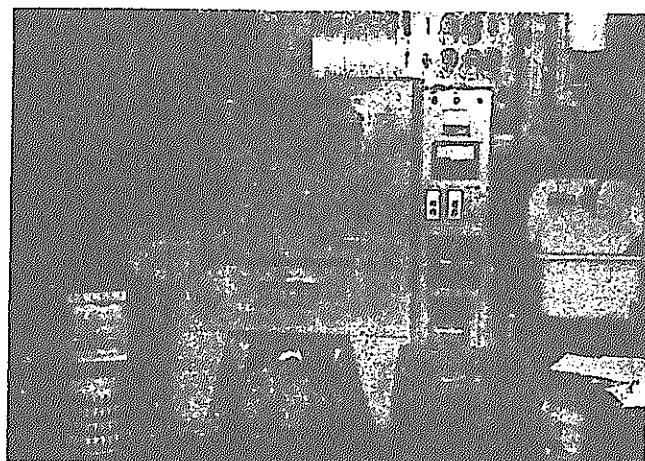


写真 1.



写真 2.

3. 耐熱試験

3.1 試験要領

試験片を図 C.4-4 に示すように試験治具に取付けた後、あらかじめ高温状態に保持してある高温槽内に写真の如く設置し試験を行った。試験中、試験治具及び高温槽雰囲気温度を計測記録した。

以下に示す試験片温度は試験治具と同一とし、保持時間は試験治具が規定温度以上に保たれた時間とした。

3.2 試験条件

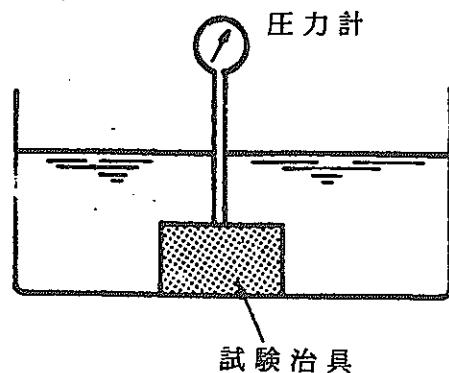
試験番号	試験片数量	試験片温度	保持時間
1	3	325 °C	1 時間
2	3	310 °C	1 時間
3	3	270 °C	10 時間
4	1	327 °C	短時間保持

4. シール性能確認試験

耐熱試験後、試験治具が常温になった後図 C.4-4 に示すように圧力計及びガス封入口を取付け、下記の気密及び水密試験を行った。(図 C.4-6 参照)

試験名称	試験方法	合格基準
1. 気密試験(1)	窒素ガスにて圧力 5 kg/cm ² G に加圧し 30 分間保持 圧力計にて圧力降下の有無を確認	圧力降下の認められないこと
2. 気密試験(2)	窒素ガスにて圧力 5 kg/cm ² G に加圧した試験治具を図 C.4-6 に示すように水中に沈め約 15 分間気泡発生の有無を確認	気泡発生のないこと

3.水密試験	試験治具のO-リング取付部に水を封入し、窒素ガスにて5kg/cm ² Gにて加圧30分間保持し水漏れの有無を確認する。	水漏れのないこと
--------	--	----------



ロ一図 C.4 - 6 気密試験(2)実施状況

5. 試験結果

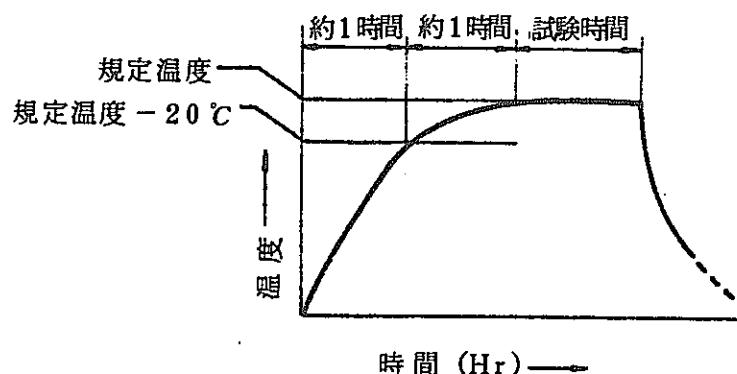
5.1 O-リング詳細寸法および取付状態（耐熱試験施工前）

試験番号	1 325°C × 1時間			2 310°C × 1時間			3 270°C × 10時間			4 327°C ×短時間
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WA リング径 (mm)	5.630	5.630	5.625	5.625	5.615	5.620	5.625	5.615	5.630	5.625
つぶし代 (mm)	1.860	1.400	1.395	1.355	1.385	1.360	1.355	1.385	1.370	1.355
つぶし率 (%)	24.16	24.87	24.80	24.09	24.67	24.20	24.09	24.67	24.34	24.09

5.2 耐熱試験温度チャート

各試験番号における耐熱試験温度チャートより明らかなるよう常温より（規定温度 - 20°C）に達するまでに1時間を

要し、それから規定温度まで昇温するにはさらに1時間かかる。典型的な昇温曲線を図C.4-7に示す。



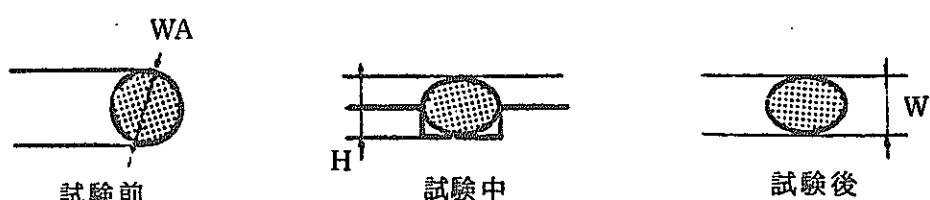
図C.4-7 昇温曲線

5.3 かたさ及び圧縮歪の測定結果

試験番号		1 325°C × 1時間			2 310°C × 1時間			3 270°C × 10時間			4 327°C 短時間
試験片No		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
注1) かたさ	試験前	72	72	72	72	72	72	72	72	72	10
	試験後	57	57	55	64	65	64	68	67	67	72
かたさ降下		-15	-15	-17	-8	-7	-8	-4	-5	-5	-12
注2) 圧縮歪 (%)		92.3	93.9	92.8	69.7	69.7	78.5	55.0	52.4	53.2	83.03

注1) ショアかたさ

2) 圧縮歪の定義



$$\text{圧縮歪} (\%) = \frac{WA - W}{WA - H} \times 100$$

5.3 シール性能試験

試験名称	試験番号	観察結果	判定
1. 気密試験(1)	1	約 $0.1 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ の圧力降下	不合格
	2	圧力降下なし	合格
	3	"	"
	4	"	"
2. 気密試験(2)	1	微小量の気泡発生あり	不合格
	2	気泡発生なし	合格
	3	"	"
	4	"	"
3. 水密試験	1	微小量の水漏れ	不合格
	2	水漏れなし	合格
	3	"	"
	4	"	"

5.5 外観観察

(1) 試験番号 1 $325^\circ\text{C} \times 1$ 時間 写真 3.4

O-リングはほとんど平らになっており圧縮歪が 100 % 位近いことがわかる。

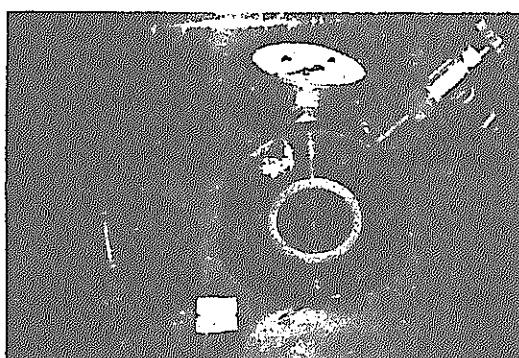


写真 3.

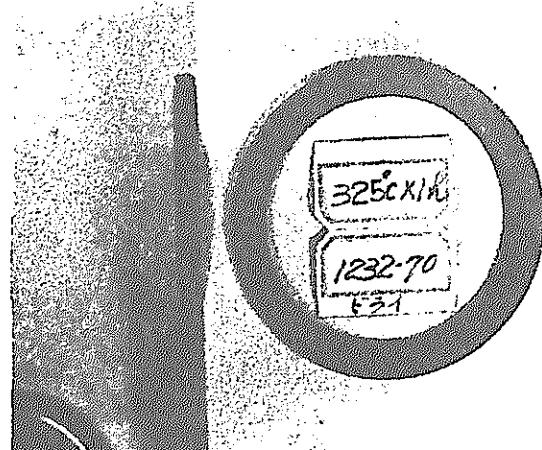


写真 4.

(2) 試験番号 2 $310^{\circ}\text{C} \times 1$ 時間 写真 5. 6

O - リングは若干凸状になっており、O - リングは
弾性復原力がありシール性能が保持されていることがわか
る。

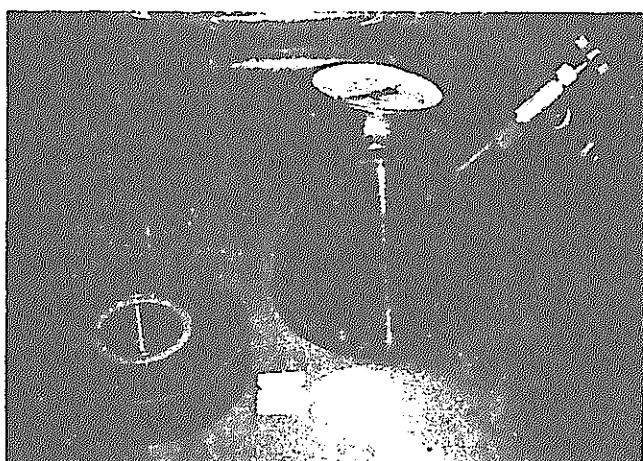


写真 5.

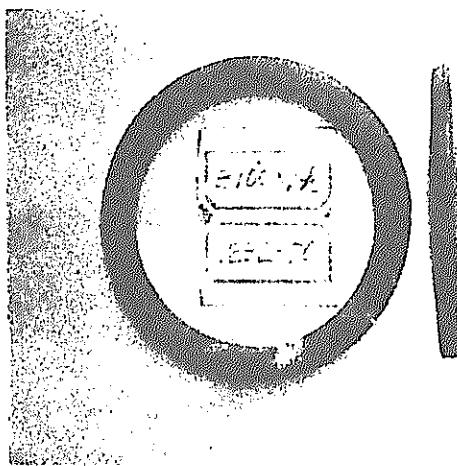


写真 6.

(3) 試験番号 3 270°C × 10 時間 写真 7-8

O-リングが破損したのは長時間保持のため O-リングが治具に付着し、その状態で強制的に治具をはずしたためと考えられるが、凸状態は上記(2)よりも大であり、より良好なシール性能が保持されていることがわかる。

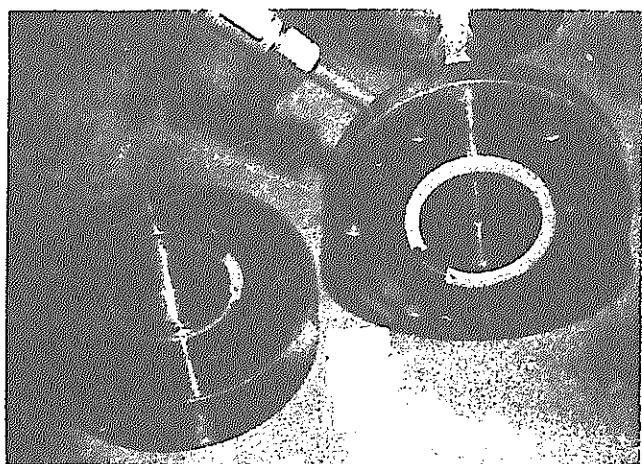


写真 7.

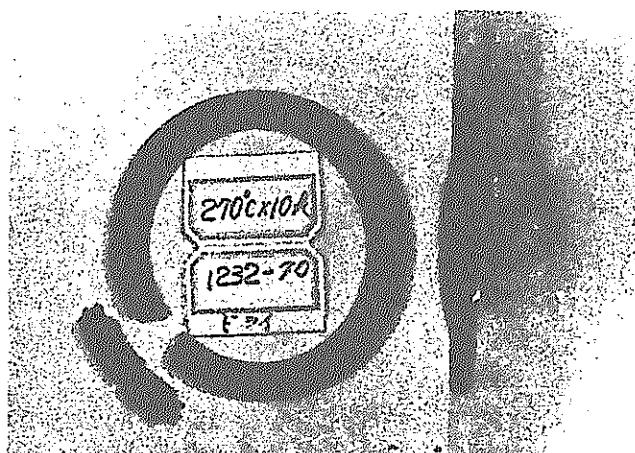


写真 8.

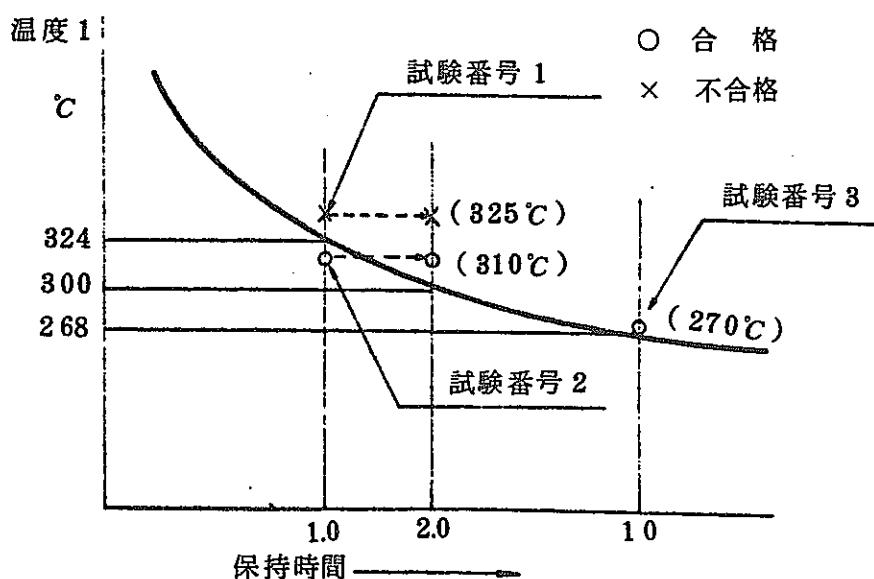
6. 考 察

6.1 耐熱試験は前述したように常圧で実施したが、実際の使用状態は、内圧加圧状態であり、O-リング部は締付圧力に加えて内圧による自緊効果の両方によりシールされるため、本試験条件は、実際の使用条件よりも厳しい条件である。

6.2 5項試験結果より試験番号 2、3、4 は試験後もシール性能を維持しているが試験番号 1 の条件では若干シール性能に

問題が生ずることが判明した。

6.3 試験条件を、申請書ローノー図B.2-1の曲線上にプロットするとローノー図C.4-8に示すとおりとなるが、5.2項でも述べたように規定温度-20°Cから規定温度に達するまでに約1時間必要としたこと、及び実際の規定温度での保持時間の超過（試験番号1が65分、2が70分）の両者を考慮すると、ローノー図C.4-8上にプロットした点は、矢印で示した位置まで移動すると考えてよい。すなわち試験番号2、3、4はシール性能が合格であったことより、本曲線は信頼性があることが証明された。



ローノー図C.4-8 試験結果のシール寿命曲線上へのプロット

7. 結論

本試験結果よりローノー図B.2-1「シリコンラバーO-リングの温度に対するシール寿命」に示された曲線は、十分信頼性のあるものであることが確認でき、ローノー図B.3に示す事故条件下のO-リング使用条件基準値293°C×1時間に対してもシール性能を保持できることが証明された。

□
I
D



□ 章 D. 遮 蔽 解 析

□章D 遮蔽解析

D.1 検討と結果

(1) 概要

本輸送容器の材質は、内筒および外筒のステンレス鋼と、その間に置かれた厚み約200mmの鉛である。したがって、本輸送容器の主なガンマ線遮蔽材はステンレス鋼と鉛である。

遮蔽解析は、本容器が下記の運輸省令及び運輸省告示に規定された条件を満すことを示すために行なわれた。

- (1) 省令第32号第91条第1号、第2号並びに省令第33号第6条第2号、第3号及び告示第585号第7条、第8条並びに告示第586号第7条、第8条

- (2) 省令第32号第91条及び省令第33号第6条第1号

□章A.5及びA.6に述べたように、本容器は通常時条件下においてはもちろんのこと、事故時条件下においても遮蔽性能上問題を生じないよう設計されている。

ガンマ線遮蔽計算には、点減衰核積分法にもとづくQADコードをもちいた。

(2) 線源条件

本容器に収納する放射性物質は、(イ)章Cで述べたとおり、ATR圧力管の照射試験片である。各々の試験片の線源強度の計算に用いた条件を表D.1-1に示す。

イ-表C.1に示したように、照射試験片はそれぞれ放射能強度が異なるが、本解析においては、安全側に最大の放射能強度を有する74M-26Pのみ9体が収納された場合を仮定した。

(3) 結果

本容器は、表面が汚染されているため輸送容器各部での線量率は、収納

物によるものと表面汚染によるものとの合計となる。

これを口一表D 1 - 2に示す。

得られた線量率は、安全基準で定められた条件を満たしている。

なお、収納物のみによる輸送容器各部での線量率を口一表D 1 - 3に示す。

また、表面汚染による輸送容器各部での線量率についての測定結果を付属文書D.5.1にまとめた。

口 - 表 D.1 - 1 線 源 条 件

試 料 名 称	69M-19P	69M-20P	74M-26P	70M-43P	70M-44P	70M-45P	70M-46P	70 LM -8 P-3	74 LM -12 P
照射試料の重量(g)									
F e	2 6 1 3	2 6 1 3	2 5 9 1	2 5 9 1	2 5 9 1	2 5 9 1	2 5 9 1	3 2 5 7	3 2 5 7
C r	7 4 0	7 4 0	7 3 3	7 3 3	7 3 3	7 3 3	7 3 3	9 2 2	9 2 2
N i	4 2 8	4 2 8	4 2 4	4 2 4	4 2 4	4 2 4	4 2 4	5 3 4	5 3 4
M n	7 8	7 8	7 7	7 7	7 7	7 7	7 7	9 7	9 7
S i	3 9	3 9	3 9	3 9	3 9	3 9	3 9	4 9	4 9
Z r	2 0 9 3	2 0 9 3	4 2 3 7	4 2 3 7	4 2 3 7	4 2 3 7	4 2 3 7	4 3 5 2	4 3 5 2
N b	5 4	5 4	1 0 9	1 0 9	1 0 9	1 0 9	1 0 9	1 1 2	1 1 2
C o	0.0 8	0.0 8	0.0 9	0.0 9	0.0 9	0.0 9	0.0 9	0.0 9	0.0 9
A l			4 8 4 4	4 8 4 4	4 8 4 4	4 8 4 4	4 8 4 4		
(照射条件)									
照射日数(最大日)	1 0 8	9 0	4 4	8 2	8 2	8 9	1 5 0	8 8	9 5
冷 却 日 数	2 3 6 7	2 3 1 1	8 4	2 2 6 0	2 2 6 0	1 3 7 7	1 3 1 6	9 8 1	2 0 1

口 - 表 D.1 - 2 輸送容器各部の最高線量率の要約

(単位 mrem/hr)

	輸送物表面			表面より 1 m		
	側 部	蓋 部	底 部	側 部	蓋 部	底 部
通常輸送時	3.04	2.78	60.10	0.75	0.25	7.51
通常時条件下	5.7	6.4	64.4			
事故時条件下				1.32	0.52	7.84
安全基準						
通常輸送時	200				10	
通常時条件下	200				—	
事故時条件下	—				1000	

(注) 輸送物底部での線量率は、底部（線源の直下）と底部コーナーで計算した値のうち、最大のものを示した。

口-表 D.1 - 3 収納物のみによる輸送容器各部の線量率

(単位 mrem/hr)

	輸送物表面			表面より 1 m		
	側 部	蓋 部	底 部	側 部	蓋 部	底 部
通常輸送時	0.24	0.28	0.080	0.059	0.025	0.010
通常時条件下	2.9	3.9	4.4			
事故時条件下				0.63	0.30	0.34

(注) 輸送物底部での線量率は、底部（線源の直下）と底部コーナーで計算した値のうち、最大のものを示した。

D.2 線 源 仕 様

D.1(2)に述べた線源条件にもとづいて、本輸送容器に収納する各種試料のガンマ線源強度を求めた。

D.2.1 ガンマ線源強度

ガンマ線源強度の計算には ORIGIN コードをもちいた。

ORIGINは、個々の核種の生成量と壊変量を1階の微分方程式を解くことにより求め、ガンマ線と中性子の線源強度を求める計算コードである。

計算の結果得られた各々の収納物の各エネルギー毎の強度を ローテーブル D.2-1 に示す。

ローテーブル D.2-1 より、9種類の試料のうちで、試料 74M-26P がすべてのエネルギー組で最大のガンマ線強度を有することがわかる。

そのため、遮蔽計算においては、試料 74M-26P が9体収納されているとした。

遮蔽計算にもちいたガンマ線源強度を ローテーブル D.2-2 に示す。

なお、ORIGIN コードでは、12エネルギー組のガンマ線強度を計算することができるが、本計算においては 1.99 Mev 以上のエネルギー範囲に相当する第 5 ~ 12 組の線源強度は無視しうる程度なので記載していない。

また、線源計算の結果得られた主要核種の放射能強度を、付属文書 D.5.2 にまとめた。

口一表D.2-1 各々の試料の線源強度

口一D-7

試 料 名 称			69M-19P	69M-20P	74M-26P	70M-43P	70M-44P	70M-45P	70M-46P	70 LM -8 P-3	74 LM -12 P
ガ ン マ 線											
エネルギー 組 数	平 均 エネルギ (Mev)	エネルギ 範 囲 (Mev)	線 源 強 度 (Photons/sec)								
1	0.3	0.1-0.4	5.49×10^5	5.52×10^5	8.27×10^{12}	9.82×10^5	9.82×10^5	7.98×10^5	1.25×10^6	6.79×10^5	3.81×10^{11}
2	0.6 3	0.4-0.9	3.11×10^{10}	3.30×10^{10}	4.98×10^{13}	3.73×10^{10}	3.73×10^{10}	1.98×10^{11}	4.58×10^{11}	8.39×10^{11}	1.26×10^{13}
3	1.1 0	0.9-1.3 5	3.17×10^{11}	3.24×10^{11}	3.33×10^{12}	3.48×10^{11}	3.43×10^{11}	4.87×10^{11}	9.82×10^{11}	5.82×10^{11}	1.13×10^{12}
4	1.5 5	1.3 5-1.8	5.56×10^1	5.94×10^1	3.88×10^{10}	1.12×10^{10}	1.12×10^{10}	9.50×10^4	2.87×10^5	8.86×10^6	1.14×10^{10}
合 計		0.1-3.5	3.48×10^{11}	3.57×10^{11}	6.14×10^{13}	3.80×10^{11}	3.80×10^{11}	6.58×10^{11}	1.44×10^{12}	1.42×10^{12}	1.41×10^{13}
キ ュ リ 一 数 (Ci)											
			3 3 0	3 3 8	4 2 4 0	3 2 8	3 2 8	5 7 2	1 0 6 0	1 0 4 0	1 8 1 0

口一表D.2-2 線源強度(輸送容器1基当り)

エネルギー 組番	平均エネルギー (MeV)	エネルギー範囲 (MeV)	線源強度 (MeV/sec)
1	0.3	0.1 - 0.4	2.233×10^{13}
2	0.63	0.4 - 0.9	2.824×10^{14}
3	1.10	0.9 - 1.35	3.297×10^{13}
4	1.55	1.35 - 1.8	5.413×10^{11}

D.3 遮蔽計算

本遮蔽解析で用いた解析モデルの仕分けをロ－表D.3－1に示す。

事故時条件は、容器が落下試験又は貫通試験により変形して、薄くなつた場合について行なう。

ロ－表D.3－1 遮蔽モデルの仕分け

通常輸送時・通常時条件下	事故時条件下
I 半径方向 表面、表面より1m	I 半径方向 表面より1m
II 軸 方 向 ◦蓋 部 表面、表面より1m ◦底 部 表面、表面より1m	II 軸 方 向 ◦蓋 部 表面より1m ◦底部(コーナーを含む) 表面より1m

(1) 通常輸送時

通常輸送時の輸送物の遮蔽解析モデルをロ－図D.3－1に示す。

図中の⊗印は、放射線量率の測定を行つた個所を示す。

本解析モデルは、中央に線源があり、その外側に空気、ステンレス鋼(インナーバスケット)、ステンレス鋼(内筒)、鉛、ステンレス鋼(外筒)がある。また、線源より蓋部に向つて、空気、ステンレス鋼(内筒)、鉛がある。線源より底部に向つて、空気、ステンレス鋼(内筒)、鉛、ステンレス鋼(外筒)がある。

線源部は、インナーバスケットの9個のチューブの内側(チューブの板厚は含まない)の全断面を等価面積の円におきかえたものであつて、この円の半径は103.95mmである。なお、インナーバスケットのチューブは実

物では外径 7 6.3 mm のもの 7 個、外径 4 8.6 mm のものが 2 個であるが、本解析モデルでは、すべて外径 7 6.3 mm のチューブとした。その理由は、D. 2 線源計算でのべたように、各チューブには最大の放射能強度を有する試料 74 M - 26 P をそれぞれ収納すると仮定したからである。

空間部は、線源と内筒との間に存在する。

また、インナーバスケットの 9 個のチューブの肉厚をまとめて、内筒の内側に厚み 3.5 mm のステンレス鋼の層があるとした。

内筒の厚みは、側部で 6.35 mm、蓋部及び底部で 19.1 mm である。

鉛の厚みは、側部で 20.3 mm、蓋部で 19.7 mm、底部で 19.1 mm である。

外筒の厚みは、側部で 12.7 mm、底部で 25.4 mm である。

なお、インナーバスケット本体、及びスカートの遮蔽効果を無視した。

また、積層外筒の遮蔽効果も無視した。

r 線の遮蔽計算には点減衰核積分法コード QAD を用いた。このコードへの入力形状を 図 D.3 - 2 に示す。

単位 mm

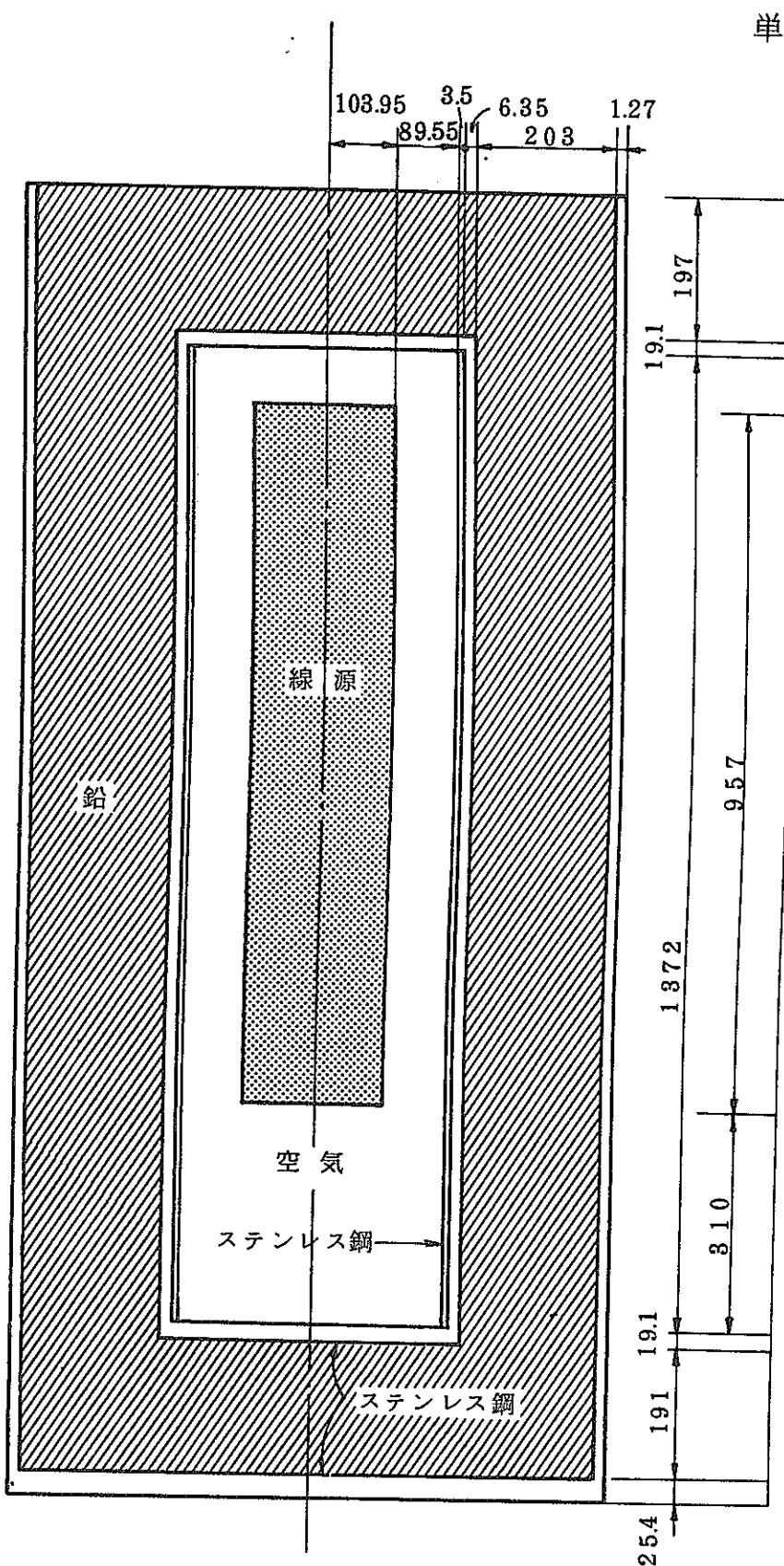


図 D.3-1 通常輸送時遮蔽解析モデル

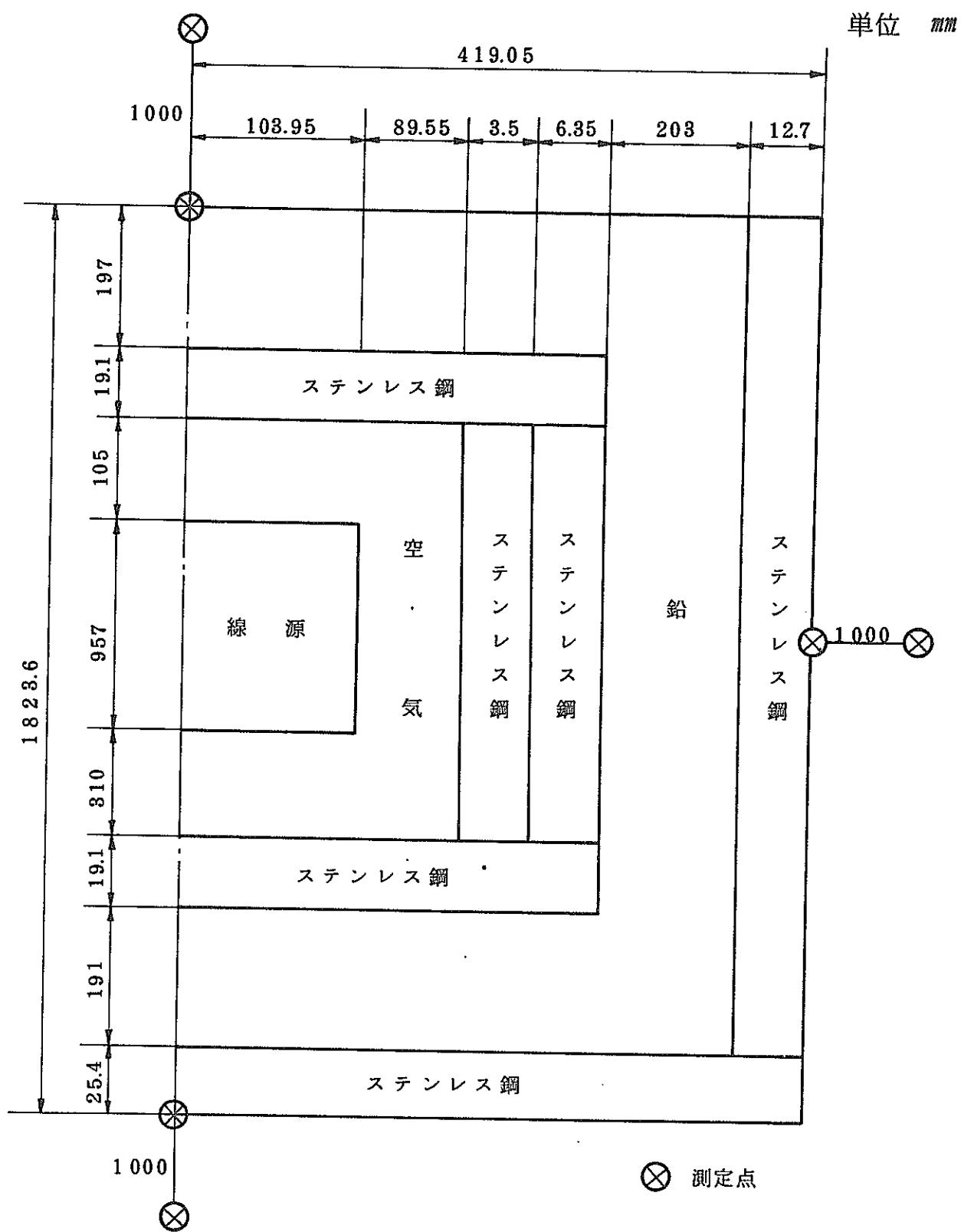


図 D.3-2 通常輸送時条件下QAD入力形状

(ii) 通常時条件下

水平落下、蓋部からの垂直落下、底部からの垂直落下によって容器の鉛の厚みは、それぞれ 5.8 mm、2.6 mm、3.2 mm 薄くなる。

また、コーナー落下では口章 A.6.1.3 にしたがい、より強い衝撃をうける底部のコーナーからの落下をあつかう。この場合、鉛の厚みが 208 mm に減る。

以上の 4 つの場合における容器の変形は、(iii) 事故時条件下にのべる各々の変形にくらべて小さい。したがって、容器の変形による遮蔽効果への影響も、事故時条件下とくらべて小さい。

そのため、事故時条件下における遮蔽解析モデルにより計算した容器表面での線量率を、通常時条件下における線量率として示した。

(iii) 事故時条件下

水平落下、蓋部からの垂直落下、底部からの垂直落下によって容器の鉛遮蔽体の厚みは、それぞれ 37 mm、39 mm、49 mm 薄くなる。また、コーナ落下では口章 A.6 にしたがい、より強い衝撃をうける底部のコーナからの落下をあつかう。

この場合、鉛遮蔽体の厚みが 115 mm に減る。

以上の 4 つの場合について述べる。

〔水平落下〕

側部での鉛遮蔽体の厚みが 37 mm 薄くなることを除き、通常輸送時の遮蔽解析モデルと同一である。この場合の遮蔽モデルを 図 D.3 - 3 に示す。

〔蓋部からの垂直落下〕

蓋部での鉛遮蔽体の厚みが 39 mm 薄くなることを除き、通常輸送時の遮蔽解析モデルと同じである。この場合の遮蔽モデルを 図 D.3 - 4 に示す。

〔底部からの垂直落下〕

底部での鉛遮蔽体の厚みが 49 mm 薄くなることを除き、通常輸送時の遮蔽解析モデルと同一である。この場合の遮蔽モデルを 図 D.3 - 5 に示す。

〔コーナ落下〕

底部コーナでの鉛遮蔽体が薄くなり、その厚みは最も薄い個所で 115 mm になる。この場合の遮蔽モデルを 図 D.3 - 6 に示す。

前記の 4 つの場合の Q A D コードへの入力形状をそれぞれ 図 D.3 - 7、図 D.3 - 8、図 D.3 - 9、図 D.3 - 10 に示す。

单位 mm

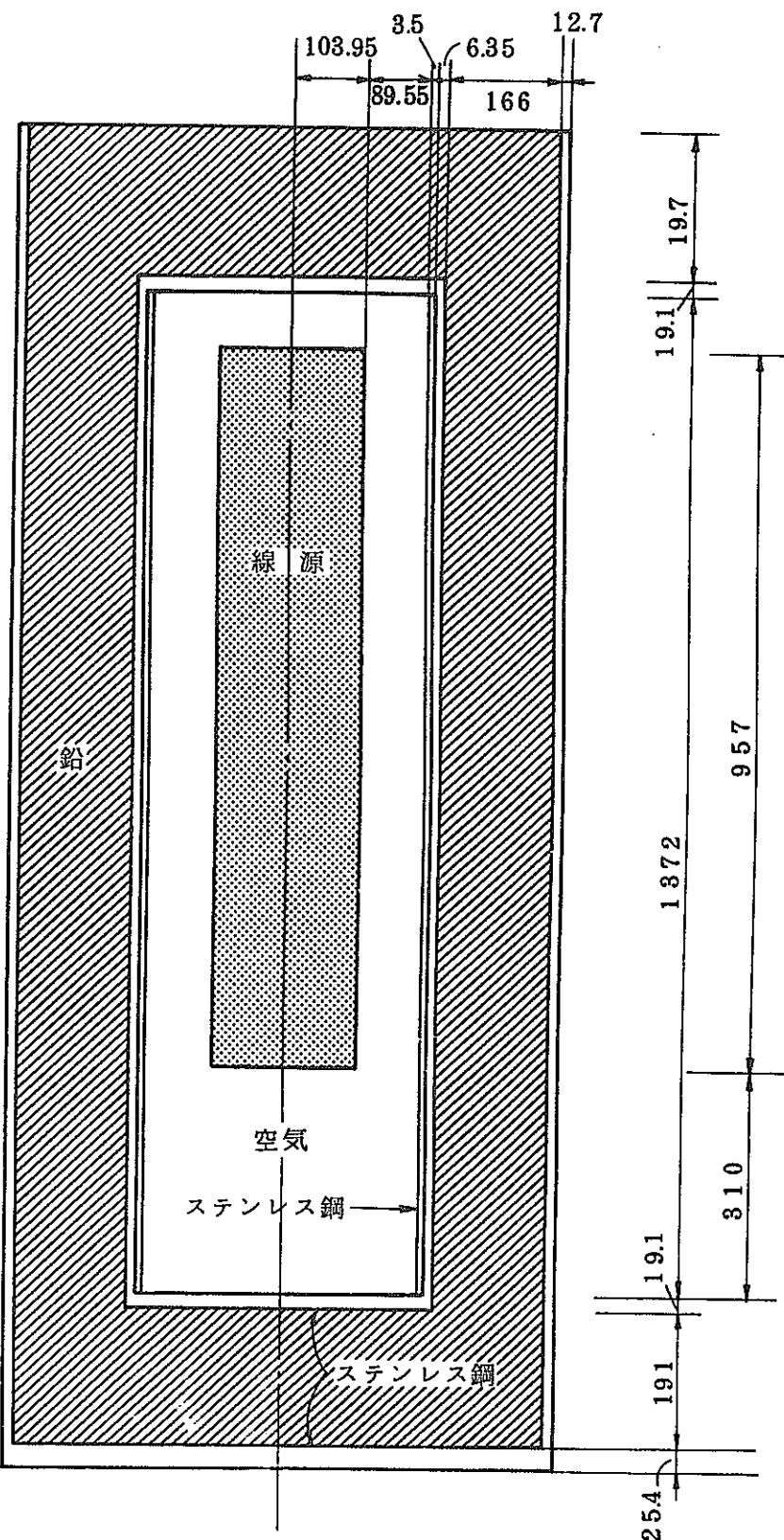


図 D.3-3 事故時(水平落下)条件下遮蔽解析モデル

単位 mm

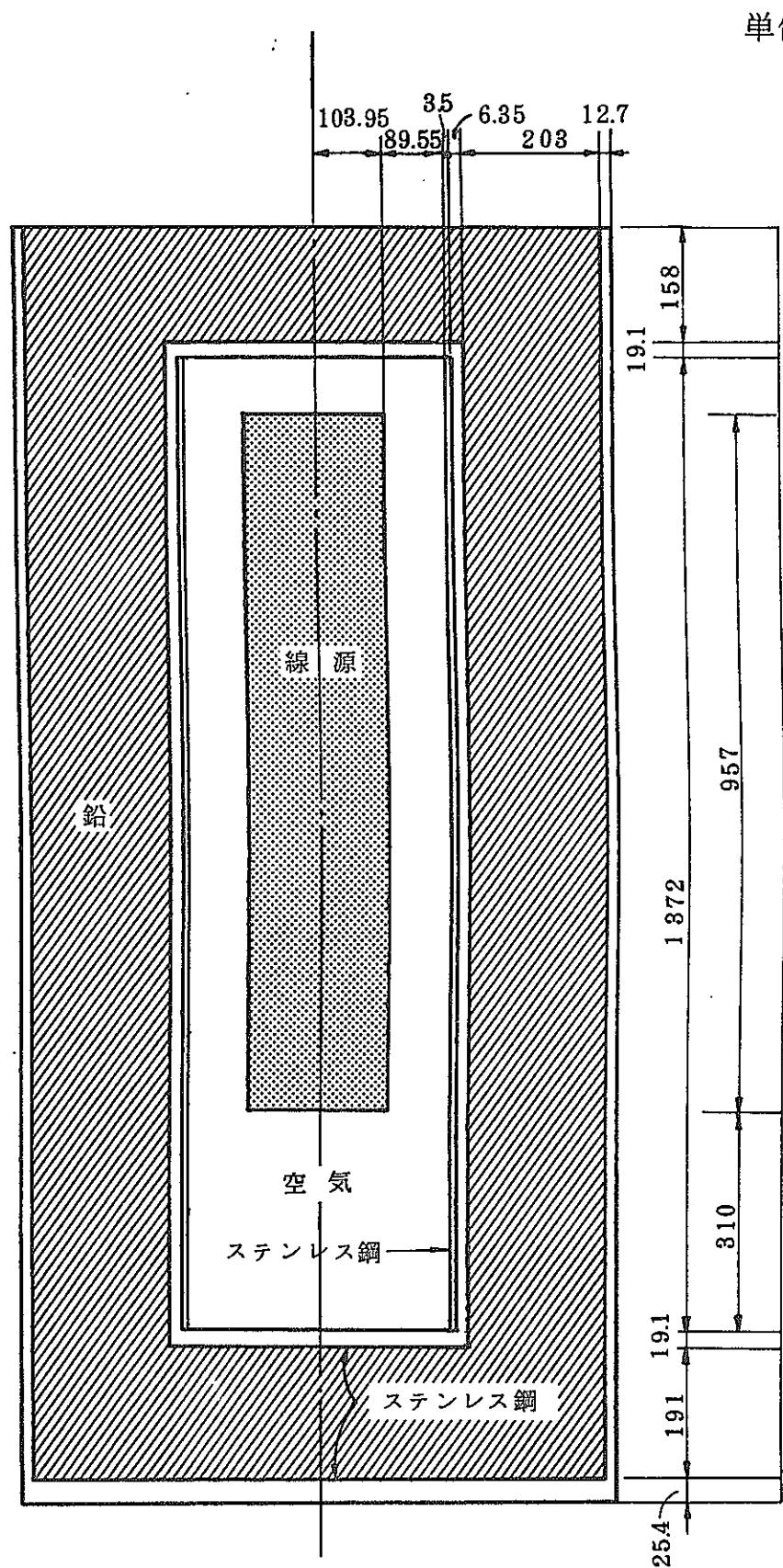


図 D.8-4 事故時(蓋部からの垂直落下)条件下遮蔽解析モデル

単位 mm

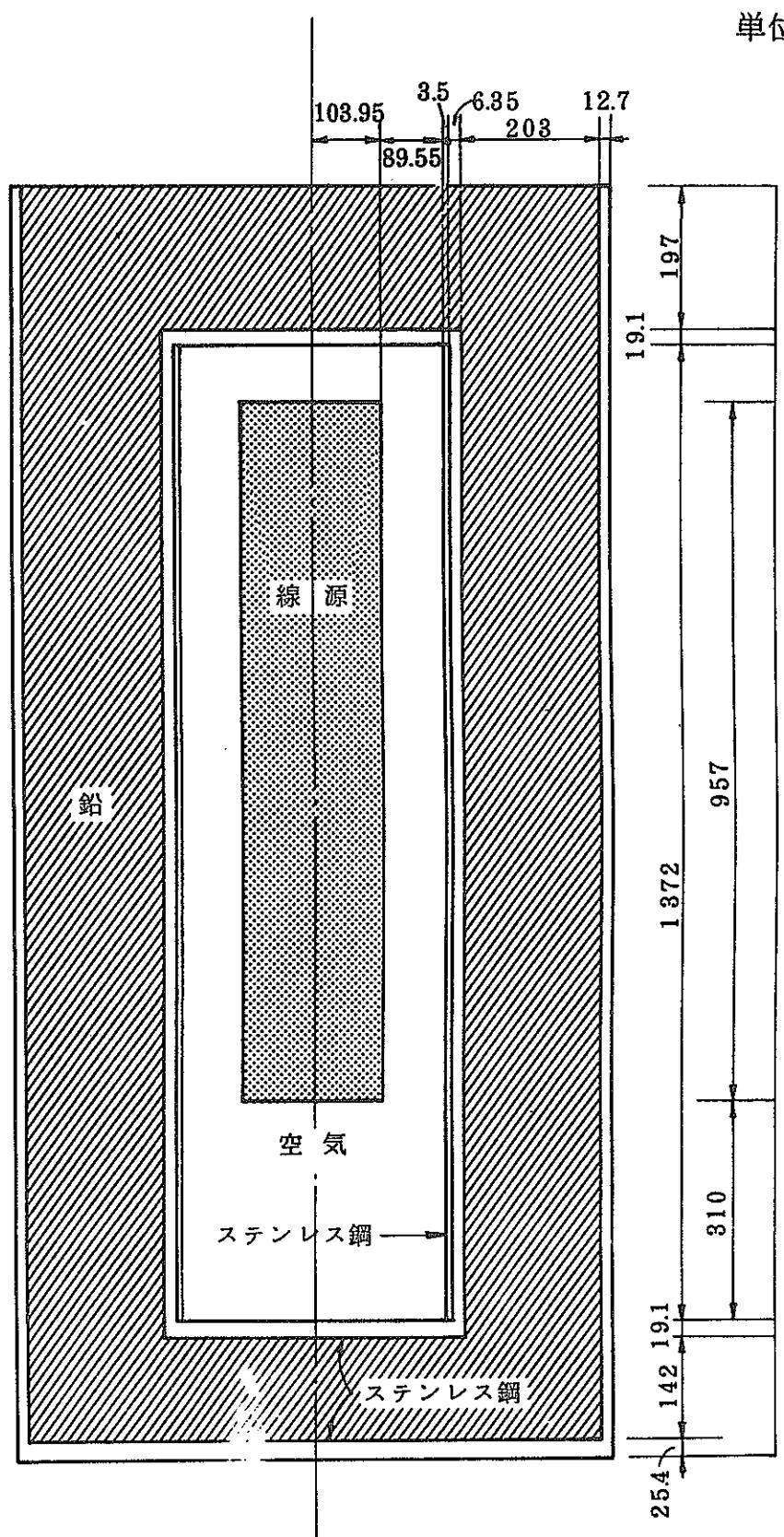
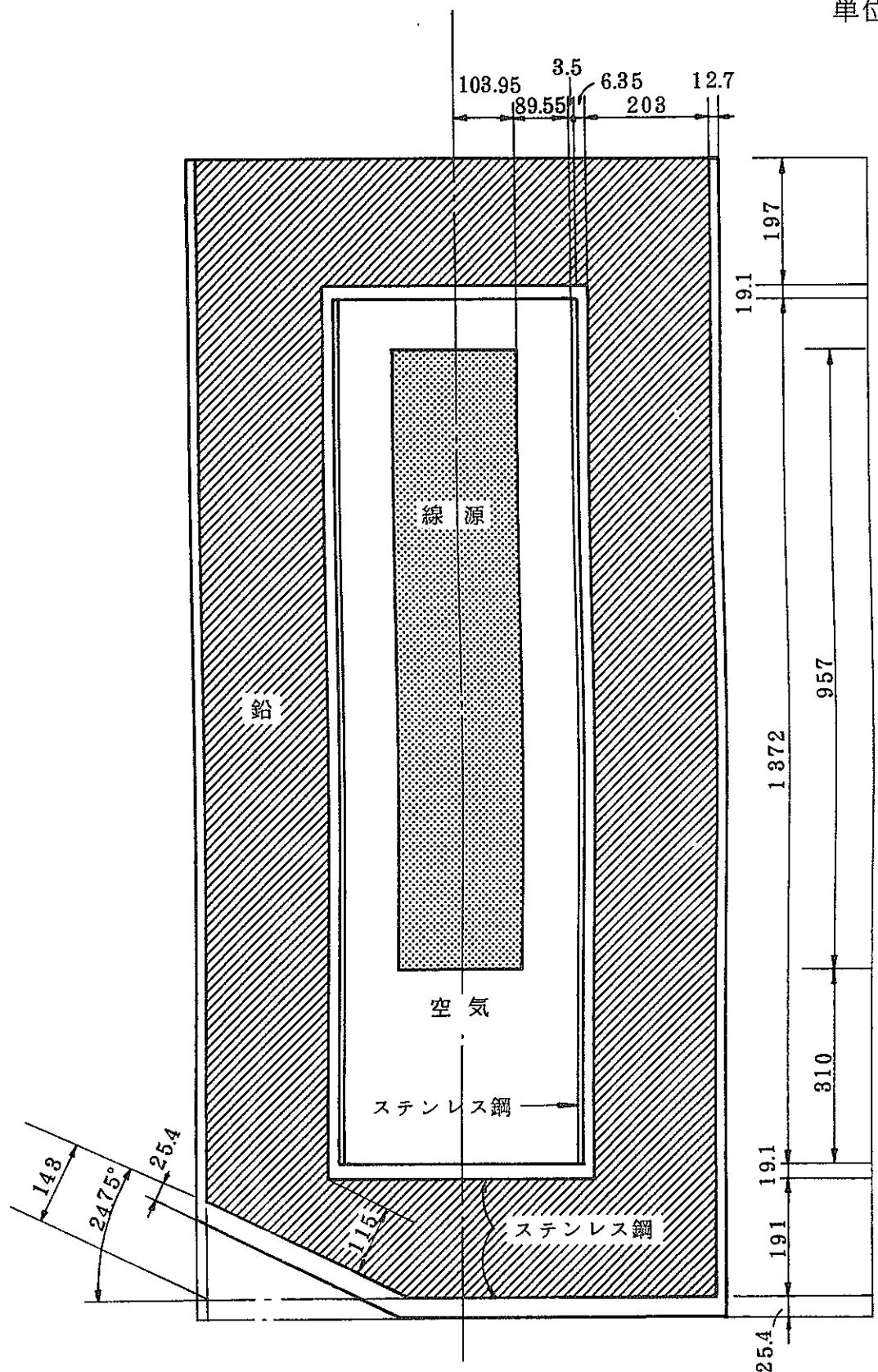


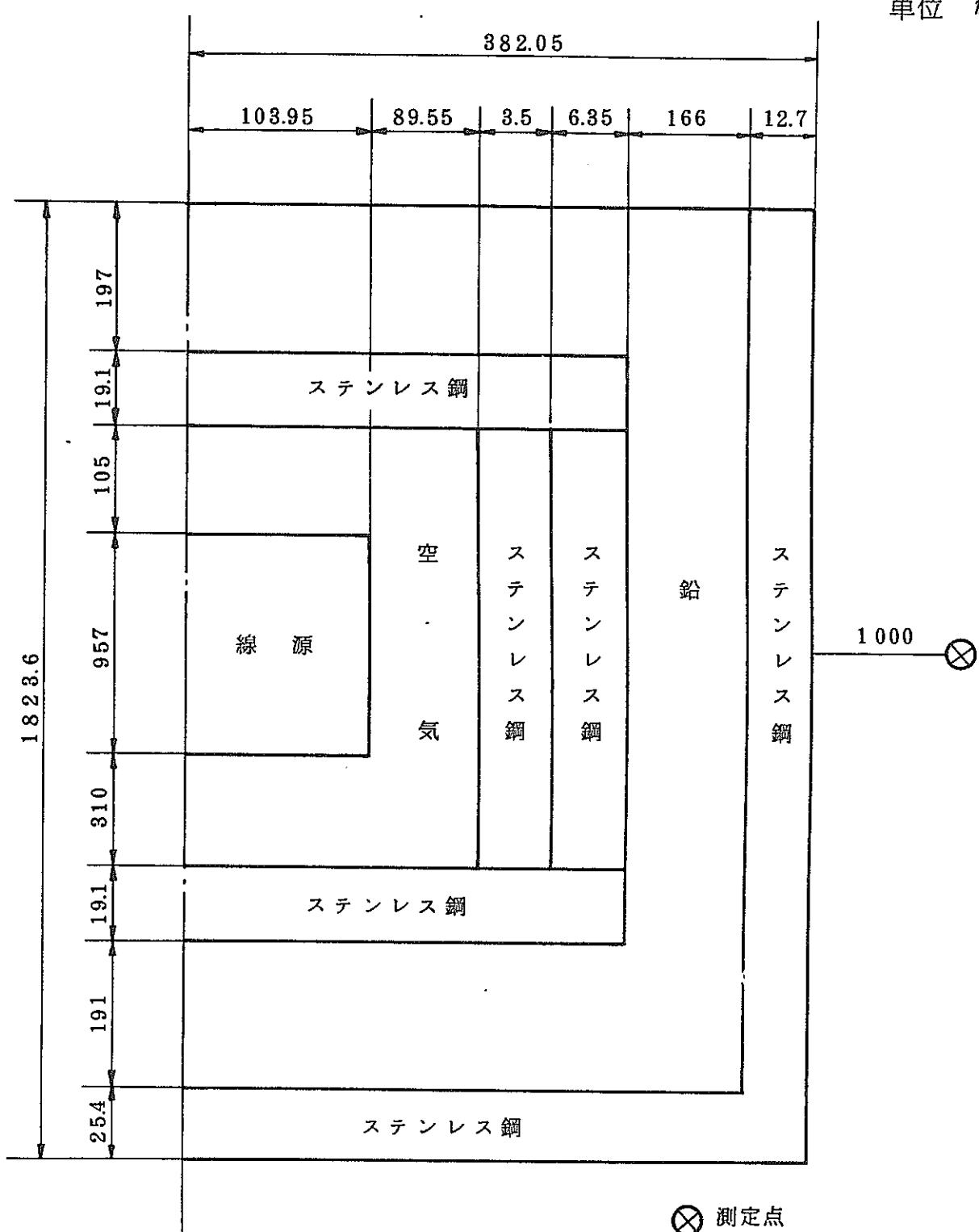
図 D.3-5 事故時(底部から垂直落下)条件下遮蔽解析モデル

単位 mm



口一図 D.3-6 事故時(コーナ落下)条件下遮蔽解析モデル

単位 mm



ロ一図D.3-7 事故時(水平落下)条件下のQA D入力形状

単位 mm

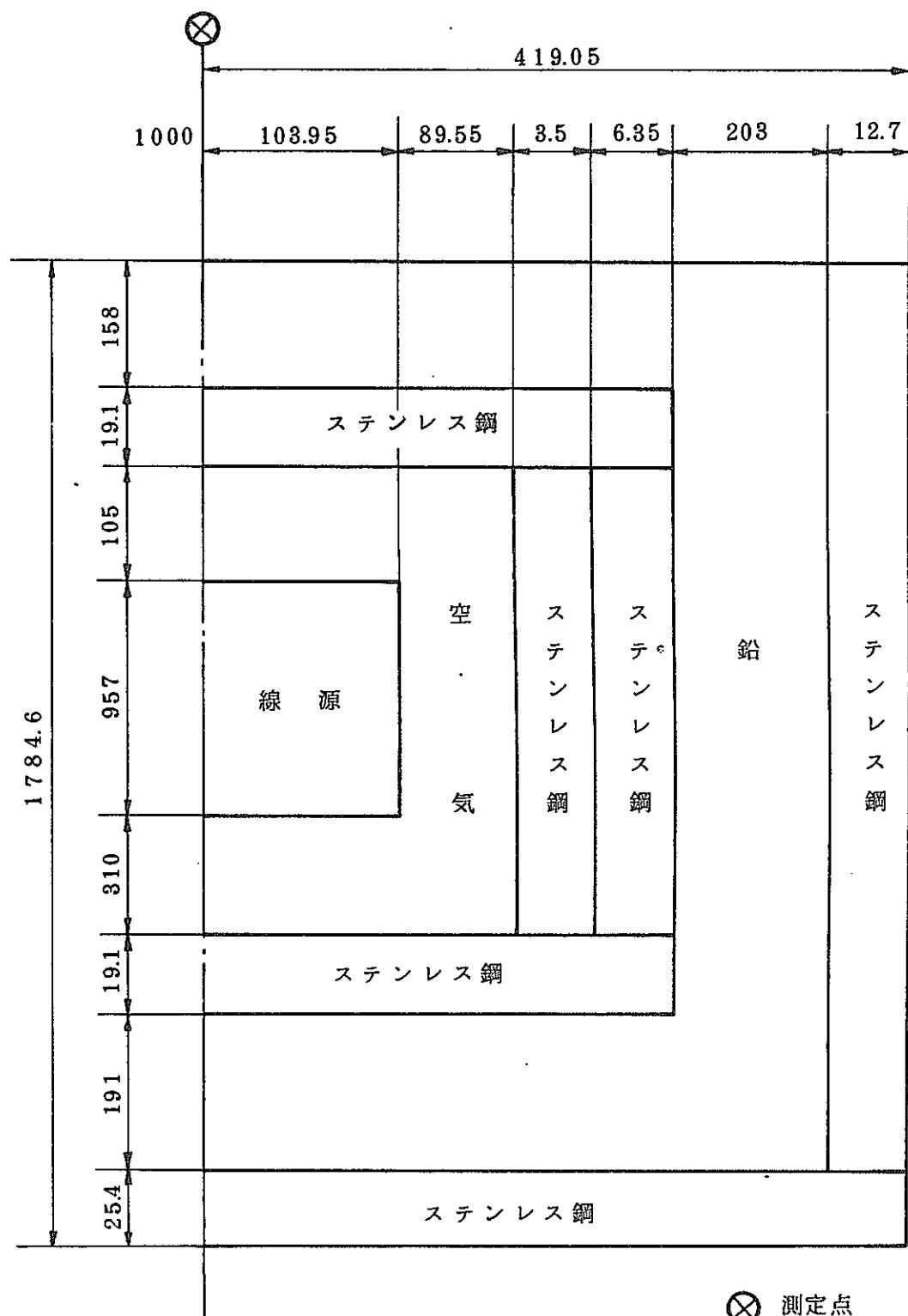
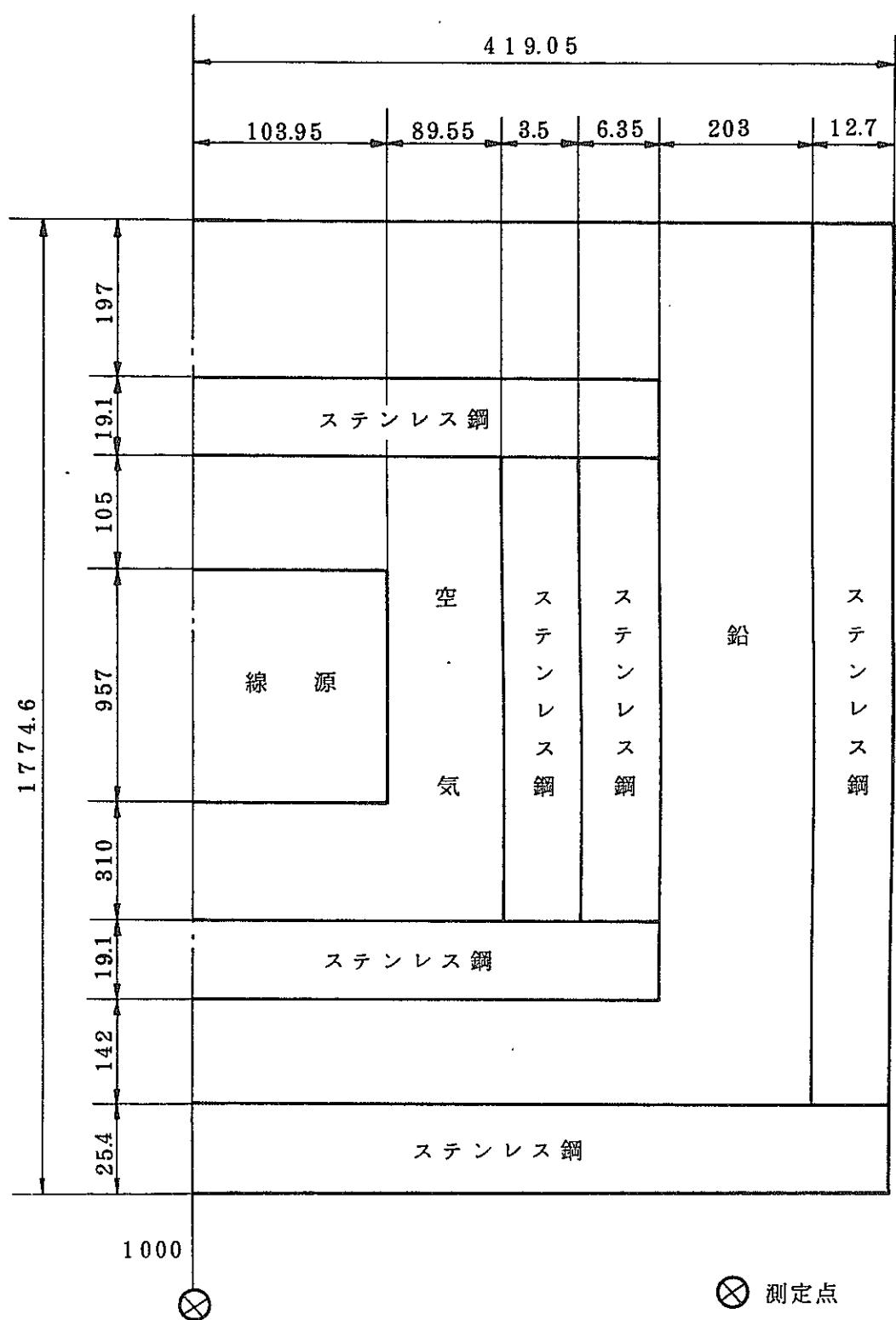


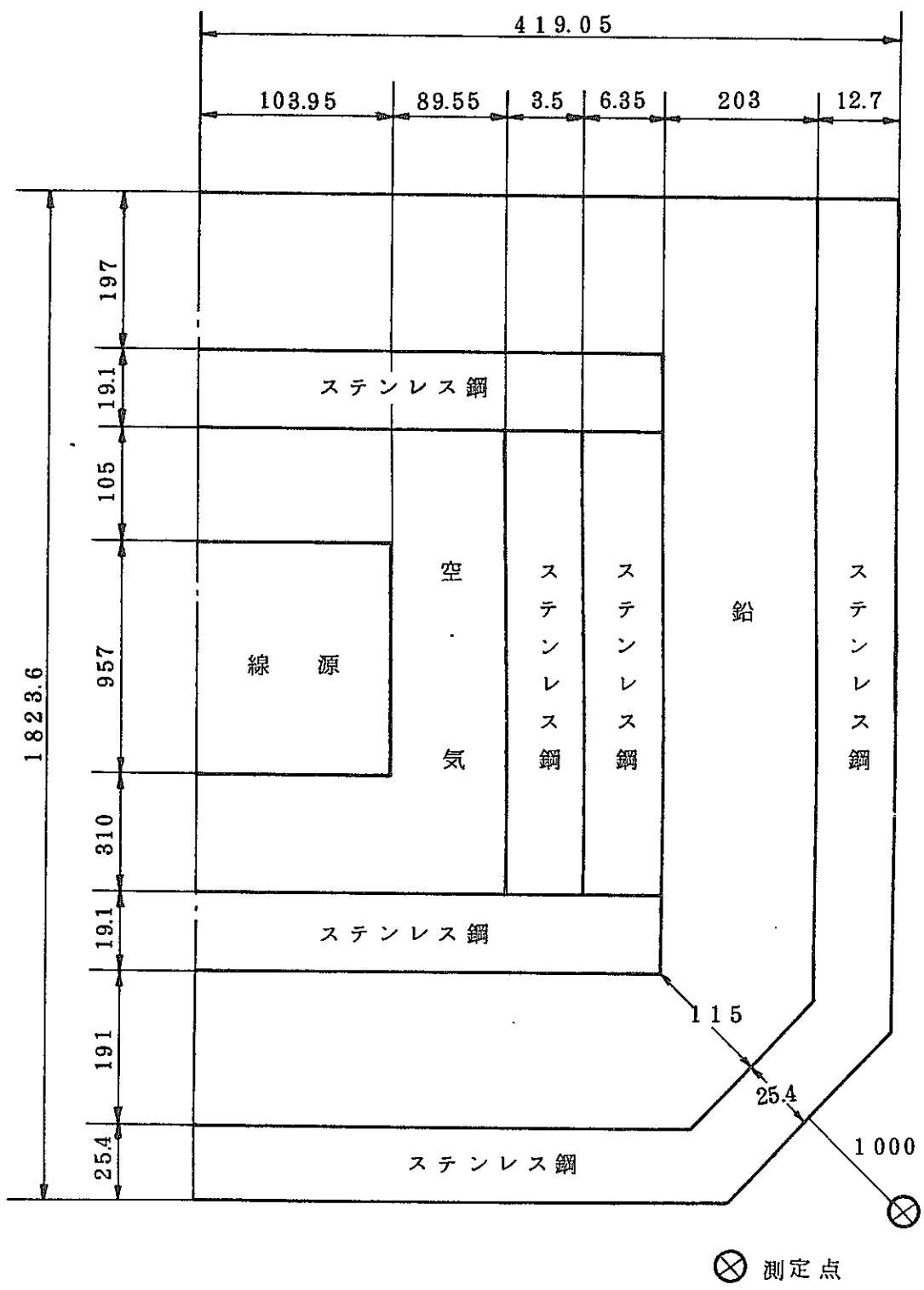
図 D.3-8 事故時(蓋部からの垂直落下)条件下のQAD入力形状

単位 mm



口一図 D.3-9 事故時(底部からの垂直落下)条件下のQA D入力形状

単位 mm



ロ-図 D.3-10 事故時(コーン落下)条件下のQAD入力形状

D.4 遮蔽評価

D.4.1 ガンマ線遮蔽計算

ガンマ線遮蔽計算は、点減衰核積分法にもとづく Q A D コードをもちいておこなった。本コードは、点状核よりのガンマ線の減衰を、多項式表示のビルドアップ係数をもちいて求める。ガンマ線減衰計算にはビルドアップ係数をつかう点減衰核積分法が一般的にもちいられており、Q A D コードは使用済核燃料輸送容器の遮蔽計算に実績を持っている。（付属文書 D.5.1 参照）

計算上のエネルギー組分けは、ガンマ線強度計算の結果に合わせて 4 組とした。各組の平均エネルギーと計算にもちいた質量吸収係数を ロード表 D.4 - 1 に示す。このデータは、NBS-CIRCLAR にもとづいている。

ガンマ線のビルドアップ係数として鉛に対する値を使用した。

その理由は、本輸送容器においては側部、蓋部、底部の各方向において、いずれも鉛の厚みが鉄の厚みの数倍以上になっているからである。

多項式表示のビルドアップ係数として Capo のデータを引用した。これを ロード表 D.4 - 2 に示す。

線量変換係数のデータとして ICRP 勧告 (Pub. 21) の値を引用した。これを ロード表 D.4 - 3 に示す。

以上のデータは、ガンマ線の遮蔽計算に一般にもちいられているものである。

口-表D.4-1 質量吸収係数

エネルギー組	平均エネルギー(Mev)	N		O		Cr		Fe		Ni		Zr	
1	0.30	1.06	E-01	1.07	E-01	1.08	E-01	1.06	E-01	1.11	E-01	1.24	E-01
2	0.68	7.95	E-02	7.91	E-02	7.87	E-02	7.47	E-02	7.68	E-02	7.36	E-02
3	1.10	6.09	E-02	6.12	E-02	5.68	E-02	5.73	E-02	5.89	E-02	5.52	E-02
4	1.55	5.08	E-02	5.10	E-02	4.76	E-02	4.79	E-02	4.93	E-02	4.61	E-02

データ出典：NBS Circular 583

エネルギー組	平均エネルギー(Mev)	Pb		Al	
1	0.30	3.56	E-01	2.82	E-02
2	0.68	1.09	E-01	2.85	E-02
3	1.10	6.50	E-02	2.65	E-02
4	1.55	5.07	E-02	2.46	E-02

γ 線ビルドアップ係数は、Cap o の式

$$B(\mu r) = \sum_{i=0}^3 \beta_{ki} (\mu r)^i$$

ここに

$$\beta_{ki} = \sum_{j=0} C_{ij} (E_k)^j$$

をもちいて算出した。

μ : 質量吸収係数

r : 遮蔽領域での透過距離

i : 多項式の次数

E_k : k 番目のエネルギー組の γ 線の平均エネルギー

以下に鉛についての C_{ij} の値を示す。

口 - 表 D.4 - 2 γ 線ビルドアップ係数

j	i = 0	1	2	3
0	$9.59342 \cdot 10^{-1}$	$6.78254 \cdot 10^{-2}$	$-2.26626 \cdot 10^{-2}$	$6.39872 \cdot 10^{-4}$
1	$1.13722 \cdot 10^{-1}$	$4.50412 \cdot 10^{-1}$	$7.55191 \cdot 10^{-3}$	$1.52094 \cdot 10^{-4}$
2	$-7.39816 \cdot 10^{-2}$	$-2.15037 \cdot 10^{-1}$	$5.10254 \cdot 10^{-3}$	$-6.04887 \cdot 10^{-4}$
3	$1.87767 \cdot 10^{-2}$	$4.05189 \cdot 10^{-2}$	$-18.9332 \cdot 10^{-3}$	$2.42263 \cdot 10^{-4}$
4	$-2.04254 \cdot 10^{-3}$	$-34.0802 \cdot 10^{-3}$	$1.93415 \cdot 10^{-4}$	$-2.93865 \cdot 10^{-5}$
5	$7.93621 \cdot 10^{-3}$	$1.06510 \cdot 10^{-4}$	$-6.24306 \cdot 10^{-4}$	$1.13914 \cdot 10^{-5}$

なお、付属文書 D.5.3 Q A D コードの説明において、Q A D コードにおける γ 線ビルドアップ係数の使用法について述べる。

口一表D.4-3 ガンマ線量変換係数

エネルギー組数	線量変換係数 (mr em / hr / ガンマ線束)
1	5.56 × 10 ⁻⁴
2	1.18 × 10 ⁻³
3	1.92 × 10 ⁻³
4	2.50 × 10 ⁻³

D.5 付 属 文 書

D.5.1 表面汚染による輸送容器各部の線量率



Pacific Northwest Laboratories

P.O. Box 999

Richland, Washington 99352

Telephone (509) 946-2572

Telex 32-6345

July 27, 1978

Mr. K. Yamada, Chief
Nuclear Fuel Contracting Section
Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corp.
9-13 1-chome, Akasaka, Minato-Ku
Tokyo, 107 JAPAN

Subject: Radiation Map of BMI-1 Cask

Dear Mr. Yamada:

Enclosed are four (4) figures showing the radiation mapping of the cask. All radiation readings are in dpm/100 cm². Gamma (γ) and $\beta\gamma$ readings are in mr/hr.

A mesh metal skirt was fabricated to reduce fixed contamination radiation levels contained between the outer stainless steel shell and the inner lead shielding. The skirt framework is made of steel angle and beams. The skirt geometry is essentially a truncated pyramid. The skirt is truncated or cut-off around one-half the cask height and extends down to the level of the cask skid. The cut-off line is above the turnbuckles, but below the trunnion.

The figures show the cask radiation readings with the skirt and skid off (Figures 1 and 2) and the skirt and skid on (Figures 3 and 4). The readings shown on the four enclosed figures were all taken at 2 to 3 cm from the points or surfaces shown. Specific points are shown as an arrow (\rightarrow) or a point (\cdot). The other readings are maximum for the region in which the numbers are located; they are always listed in the order

α
 γ
 $\beta\gamma$

Specific comments on each figure follow:

Page 2

Mr. K. Yamada
July 27, 1978

Figures 1 and 2. All readings made with skirt and skid removed.

Figure 3. All readings made with skirt and skid on. The cask (including skirt and skid) was lifted overhead in order to take readings on bottom.

Figure 4 All readings made with skirt and skid on. This view looking down on cask and skirt from above. Point (.) readings were made near bottom of skirt.

After much discussion within BCL, it is believed that an encompassing conversion factor is not possible to obtain. From 0 to 10 mr/hr, we believe it is possible that one (1) mr/hr is equivalent to 5,000 dpm/100 cm² (linear). No conversion is practical above 10 mr/hr. Also gamma and beta-gamma readings are practically always reported in terms of mr/hr in the United States.

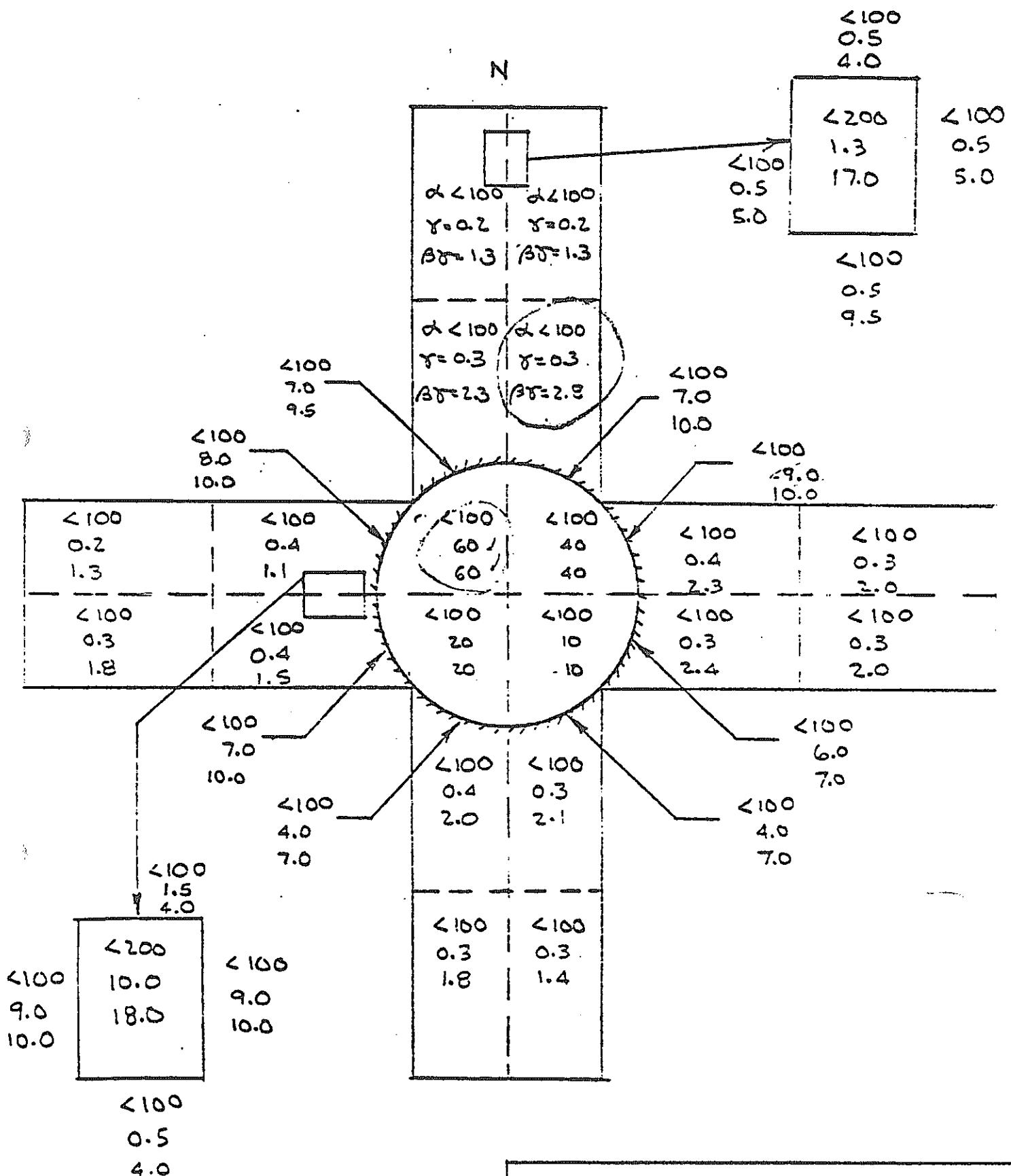
Sincerely yours,

Carl B. Schwenk

Carl B. Schwenk, Project Director
Metallurgy Research Section
Materials Department

Enclosures

cc: Dr. K. Hayashi, PNC
Mr. Y. Kayama, MC



NOTES:

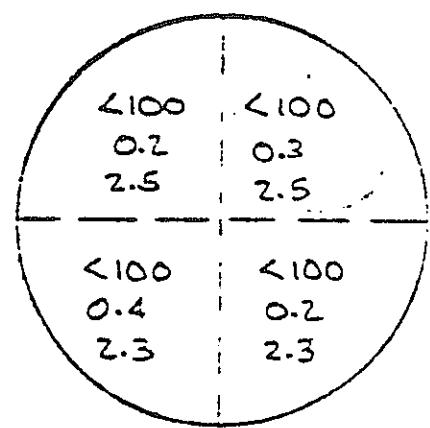
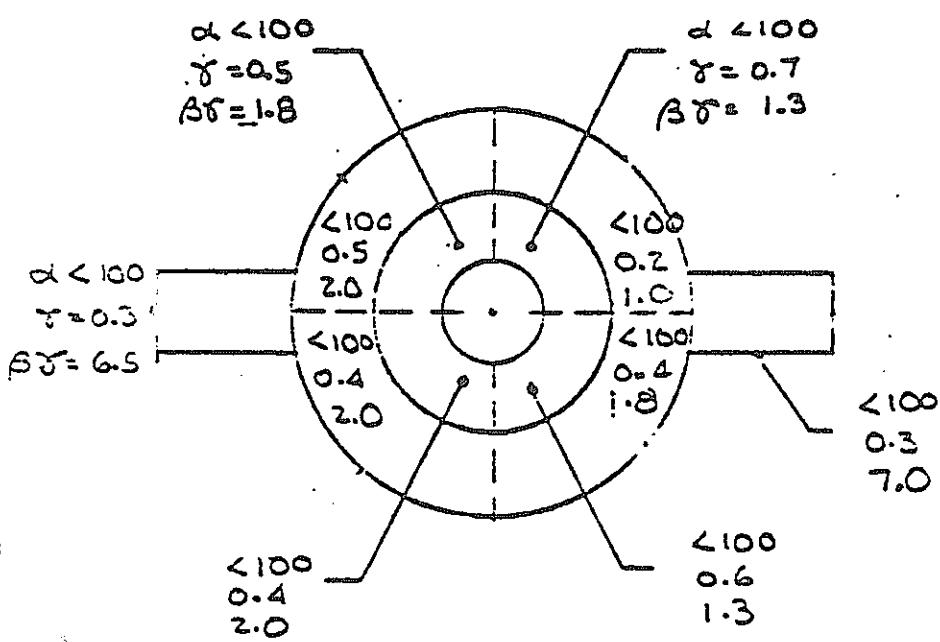
- 1) α in dpm/100 cm²
- 2) γ and $\beta\gamma$ in mr/hr.
- 3) All readings at 2 to 3 cm from surfaces
- 4) // = Weld
- 5) DWG Not To Scale.

RADIATION MAP CASK BM1-1

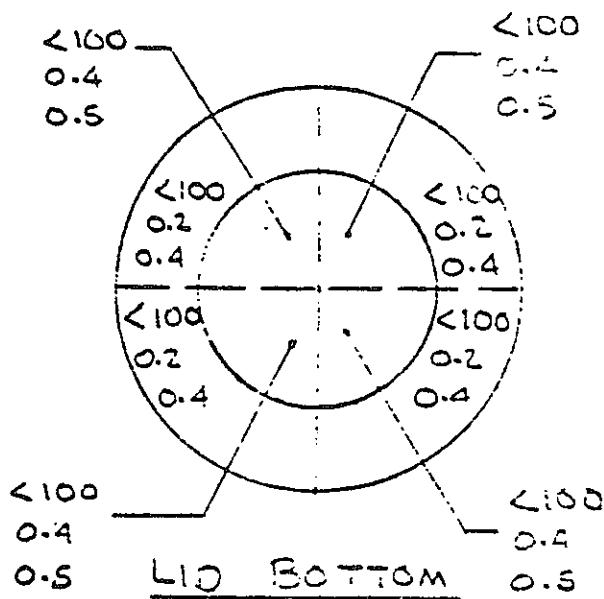
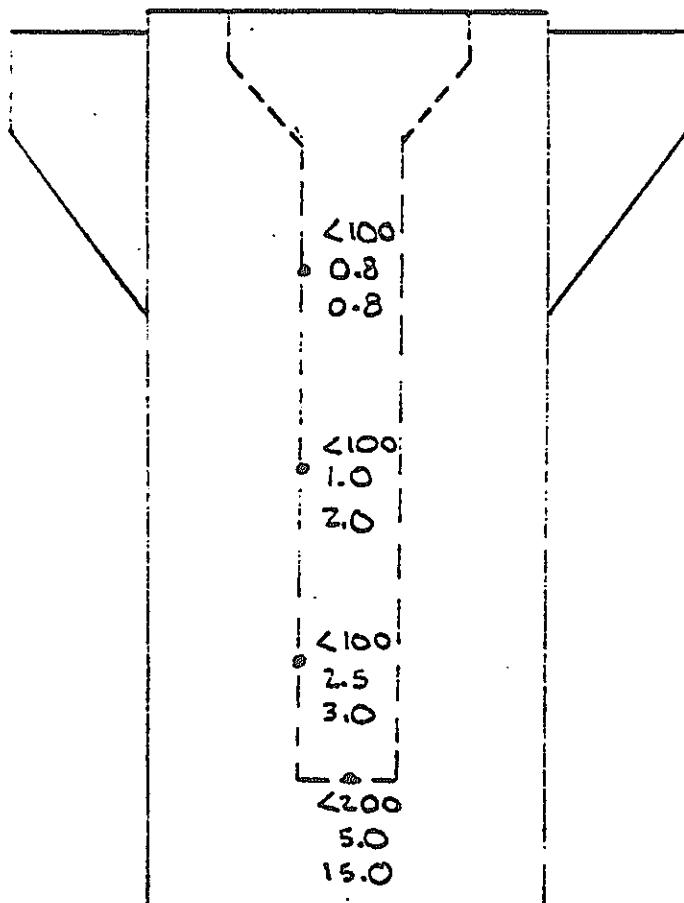
SKIRT and SKID OFF

FIG 1 BOTTOM and SIDES

7/21/78



LID TOP



LID BOTTOM

NOTES:

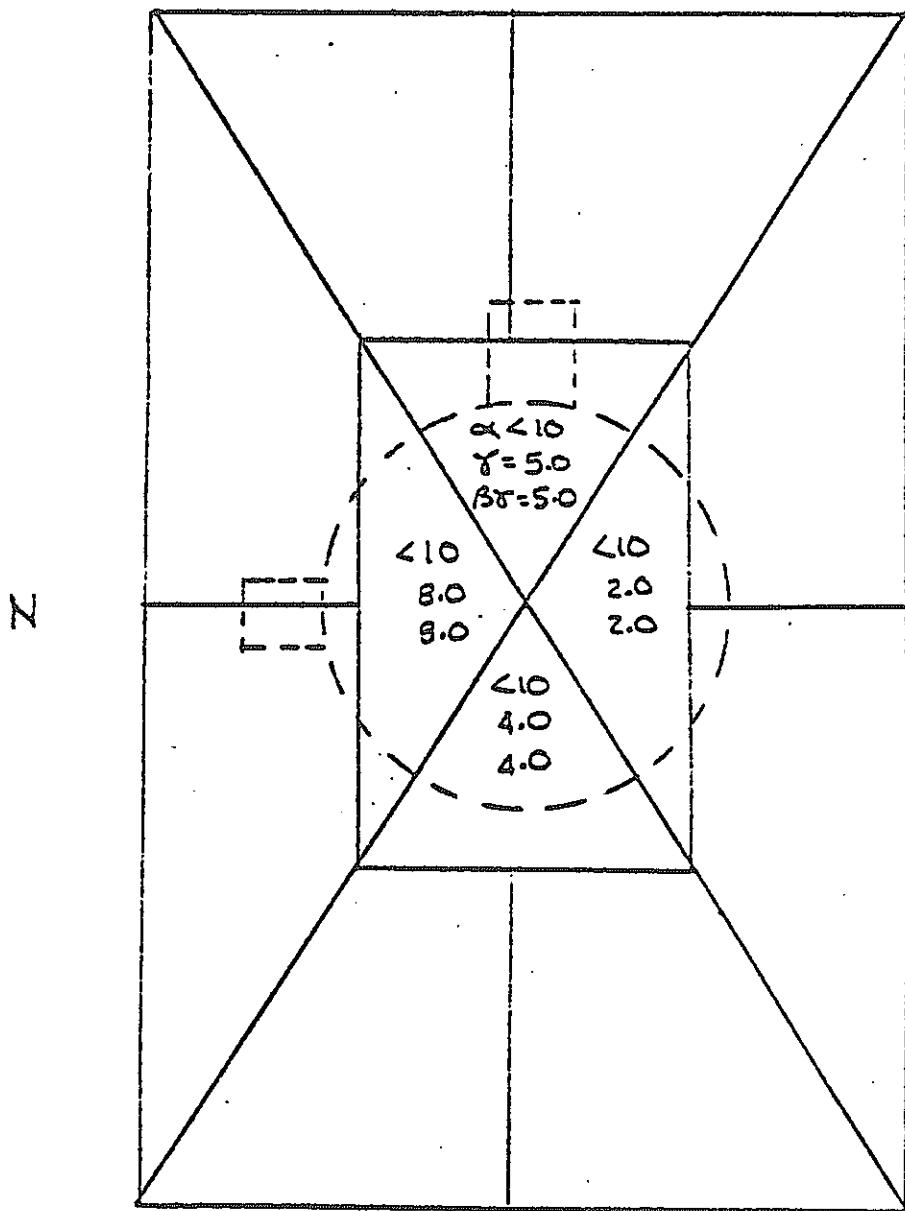
- 1) α in dpm/100 cm²
- 2) γ and $\beta\gamma$ in mr/hr
- 3) All readings 2 to 3 cm from surface
- 4) DWG NOT TO SCALE

RADIATION MAP CASE BM1-1

SKIRT AND SKID OFF

FIG 2 LID AND INTERVALS

7121178



NOTES:

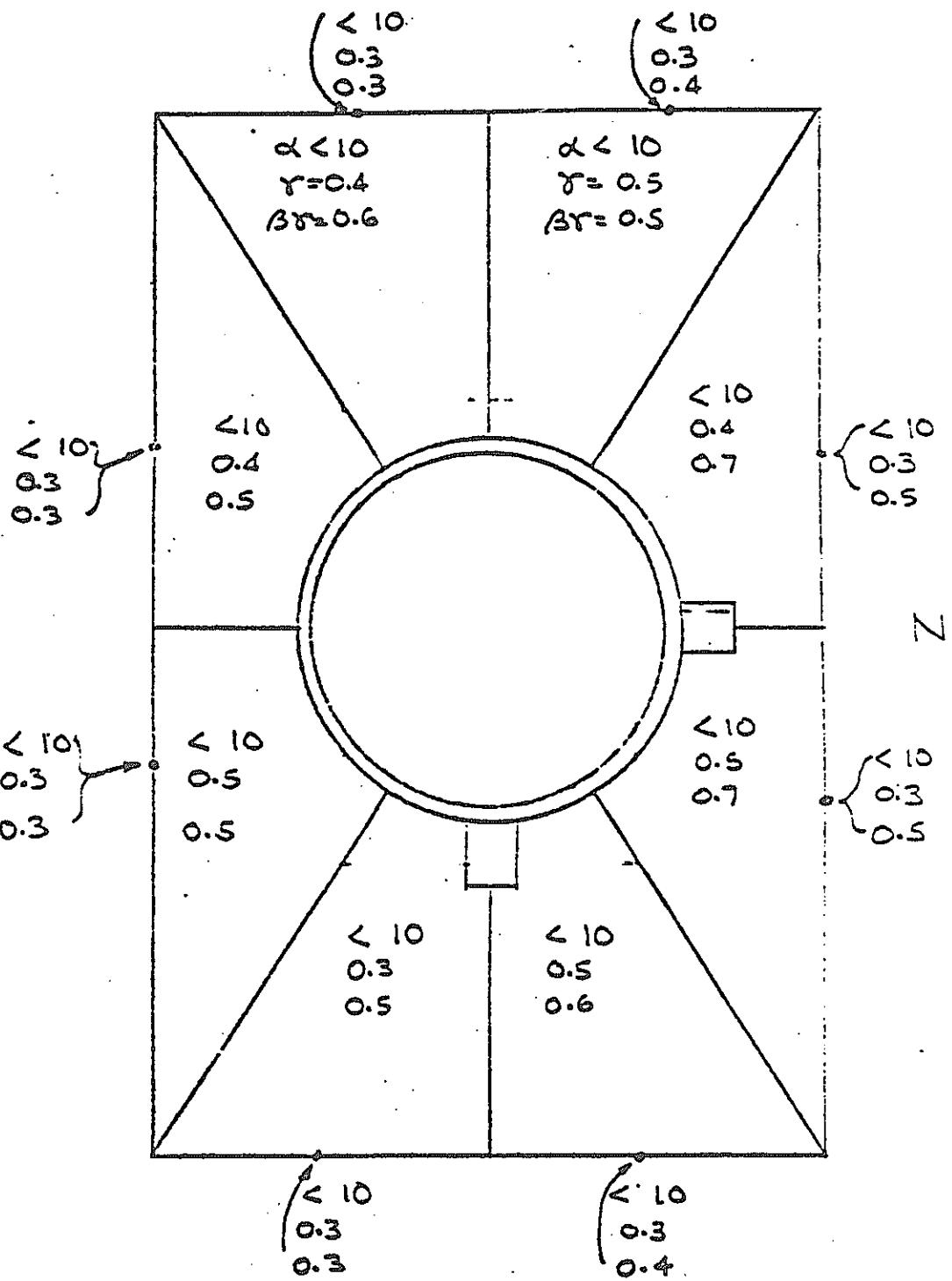
- 1) α in $dpm/100 \text{ cm}^2$
- 2) γ & $\beta\gamma$ in mr/hr
- 3) All rdgs 2 to 3 cm from surface
- 4) DUG NOT TO SCALE
- 5) Rdgs made with Cask, Skid and Skirt suspended overhead.

RADIATION MAP CASK BMI-1

SKIRT AND SKID ON

FIG 3. BOTTOM OF SKID

7/23/79



NOTES:

- 1) α in $dpm/100cm^2$
- 2) γ and $\beta\gamma$ in mr/hr
- 3) All readings 2 to 3 cm from surface
- 4) Dwg Not to Scale
- 5) View Looking Down on Cask from above

RADIATION Map CASK BMI -1

SKIRT AND SKID ON

FIG 4: SURFACE OF SKIRT

7/23/78

D.5.2 試料に含まれる主要核種の放射能強度

ORIGIN コードをもちいて計算した各々の試料の放射能強度を、
放射能強度の強い核種別にまとめて 表 D.5 - 1 に示した。

ヨー表D.5-1 主要核種の放射能強度

(単位 Ci)

試料 核種	69M-19P	69M-20P	70M-43P	70M-44P	70M-45P	70M-46P	74M-26P	74 LM -8P-3	74 LM -12P	計
⁶⁰ Co	3.76	3.85	4.07	4.07	5.78	11.7	4.34	6.90	8.89	53.36
⁵¹ Cr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2270	0.0	103	2373
⁵⁹ Fe	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74.4	0.0	9.59	83.99
⁹⁵ Zr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	365	0.0	60.1	425.1
⁹⁵ Nb	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	490	0.0	109	599
⁵⁴ Mn	0.633	0.673	0.761	0.761	4.04	9.34	60.8	17.0	48.9	142.908
⁵⁵ Fe	803	311	302	302	539	997	800	992	1390	5936
⁵⁸ Co	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	161	0.0	47.4	208.4
⁶³ Ni	22.3	22.6	20.4	20.4	22.5	37.7	11.5	28.3	30.7	216.4
計	329.693	338.123	327.231	327.231	571.32	1055.74	4237.04	1044.2	1807.58	10038.158

D.5.3 Q A D コードの説明

(1) 概 要

「Q A D」は、 Los Alamos Scientific Laboratory で開発された点減衰核積分法にもとづくコードで、遮蔽体内での高速中子及びガンマ線の透過を計算できる。本輸送容器の遮蔽解析では、ガンマ線の線量率を計算するために用いた。

(2) 機 能

本コードは、ガンマ線のエネルギー組を最高 20 組、又、中性子のエネルギー組を最高 10 組まで取り扱うことができる。

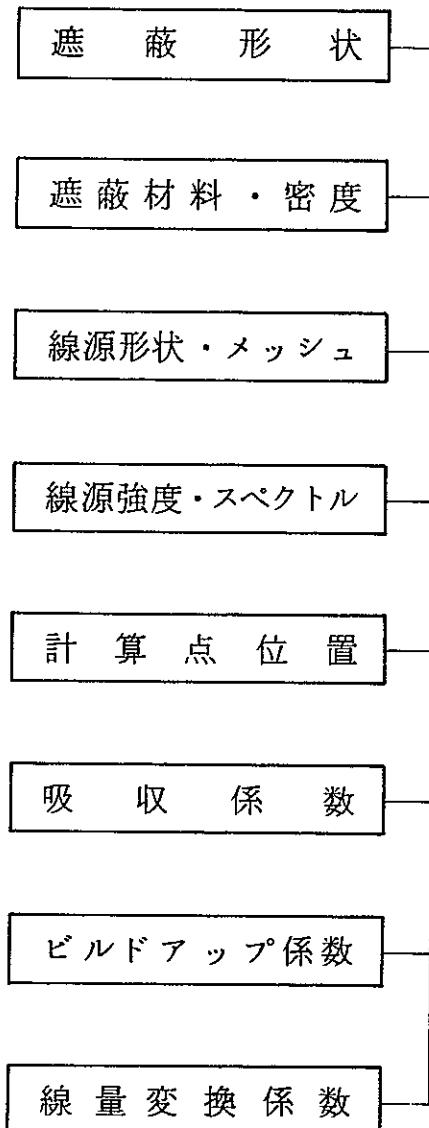
線源は角柱、円柱、あるいは球形形状であらわすことができる。

遮蔽体領域は、2 次曲線で記述され、3 次元問題まで取り扱うことができる。

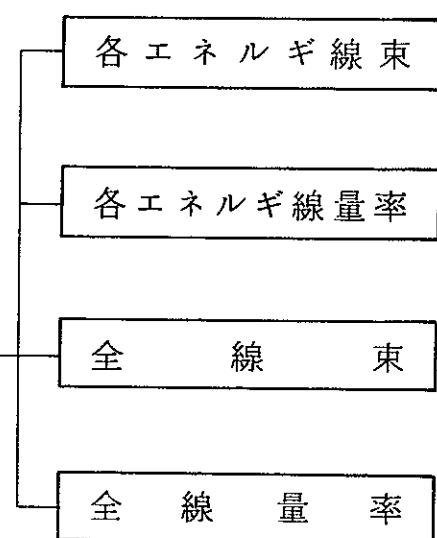
計算は、入力で指定した検出点について行われ、結果は同じく入力で指定される種々の形に表わすことができる。

本コードのインプットとアウトプットを 図 D.5-1 に示す。

インプット



アウトプット



ローリー図 D.5-1 QAD コードのインプット／アウトプット

(3) 計算手法

本コードは、点減衰核積分法にもとづいている。以下に、ガンマ線の検出点での放射線強度を計算する計算式を示す。

$$I = \frac{1}{4\pi} \sum_j \sum_r \frac{K_j S_{jr}}{R_r^2} B \left\{ \sum_{nm} \rho_{nm} \mu_{mj} D_{nr} \right\} \times \\ \exp \left\{ \sum_{nm} \rho_{nm} \mu_{mj} D_{nr} \right\}$$

ここで、 j : j 番目のエネルギー群をあらわす添字

r : r 番目の線源点状核をあらわす添字

m : 遮蔽領域をあらわす添字

n : 元素をあらわす添字

K : 線量変換係数（例えは γ 線束 \rightarrow γ 線エネルギー束）

S : 線源強度

R : 線源 - 検出点間の距離

B : ビルドアップ係数

μ : 元素の質量吸収係数

ρ : 遮蔽領域での元素の密度

D : 遮蔽領域を透過する距離

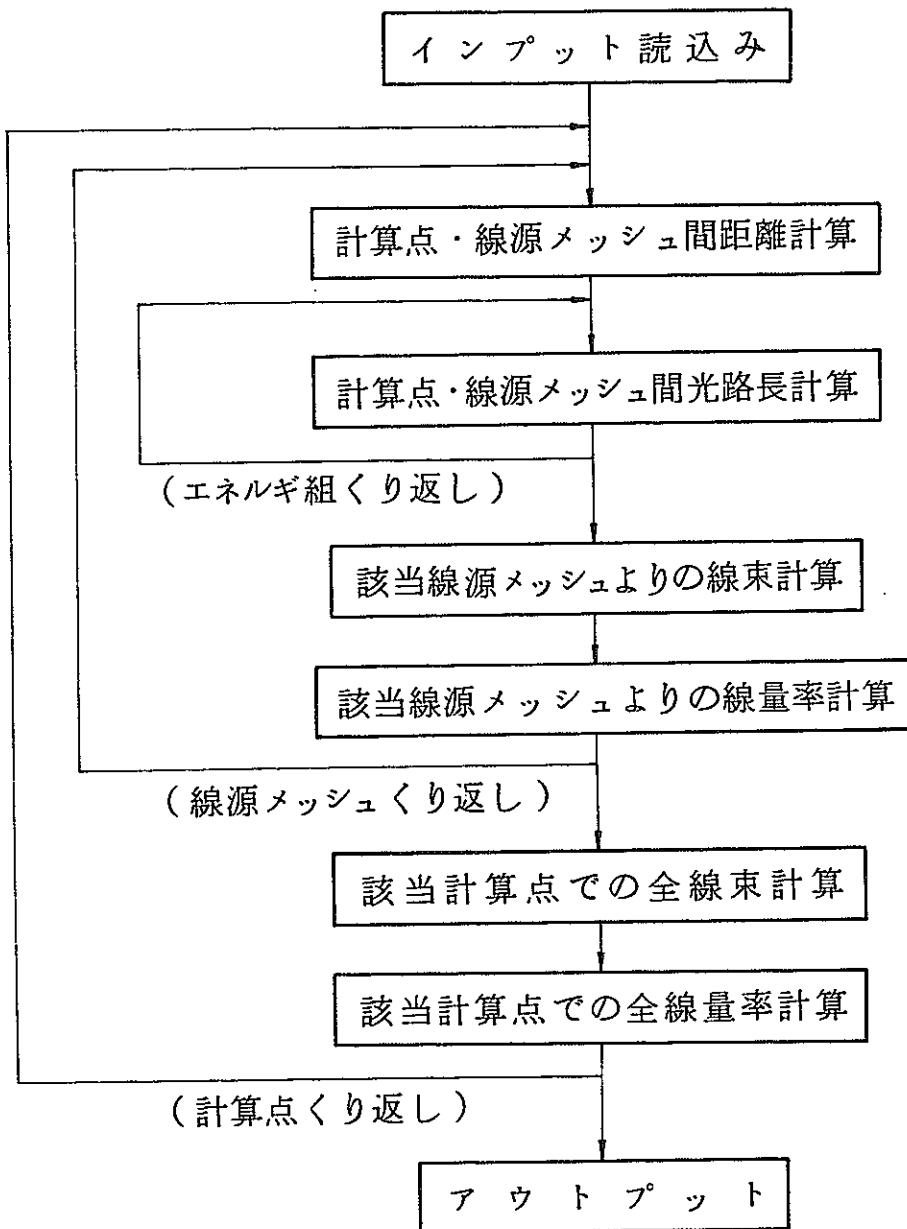
I : 検出点での放射線強度

また、ビルドアップ係数は次のような多項式であらわされる。

$$B(X_{jr}) = \beta_{j0} + \beta_{j1} X_{jr} + \beta_{j2} (X_{jr})^2 + \beta_{j3} (X_{jr})^3$$

$$X_{jr} = \sum_{nm} \rho_{nm} \mu_{mj} D_{nr}$$

$\beta_{j0}, \beta_{j1}, \beta_{j2}, \beta_{j3}$ については、ガンマ線透過特性を代表する物質の値を選ぶ必要がある。



ロー第D.5-2図 QADコードの概略計算フロー

(4) 信頼性

QADは、Los Alamos Scientific Laboratoryで開発されたコードであり、使用済燃料輸送容器のガンマ線遮蔽解析に使用された実績として次のものがある。

- (a) GE-IF-300⁽⁷⁾
- (b) BCL-6⁽⁸⁾
- (c) NLI-10/24⁽⁹⁾
- (d) NLI-1/2⁽¹⁰⁾

D.5.4 ORIGEN コードの説明

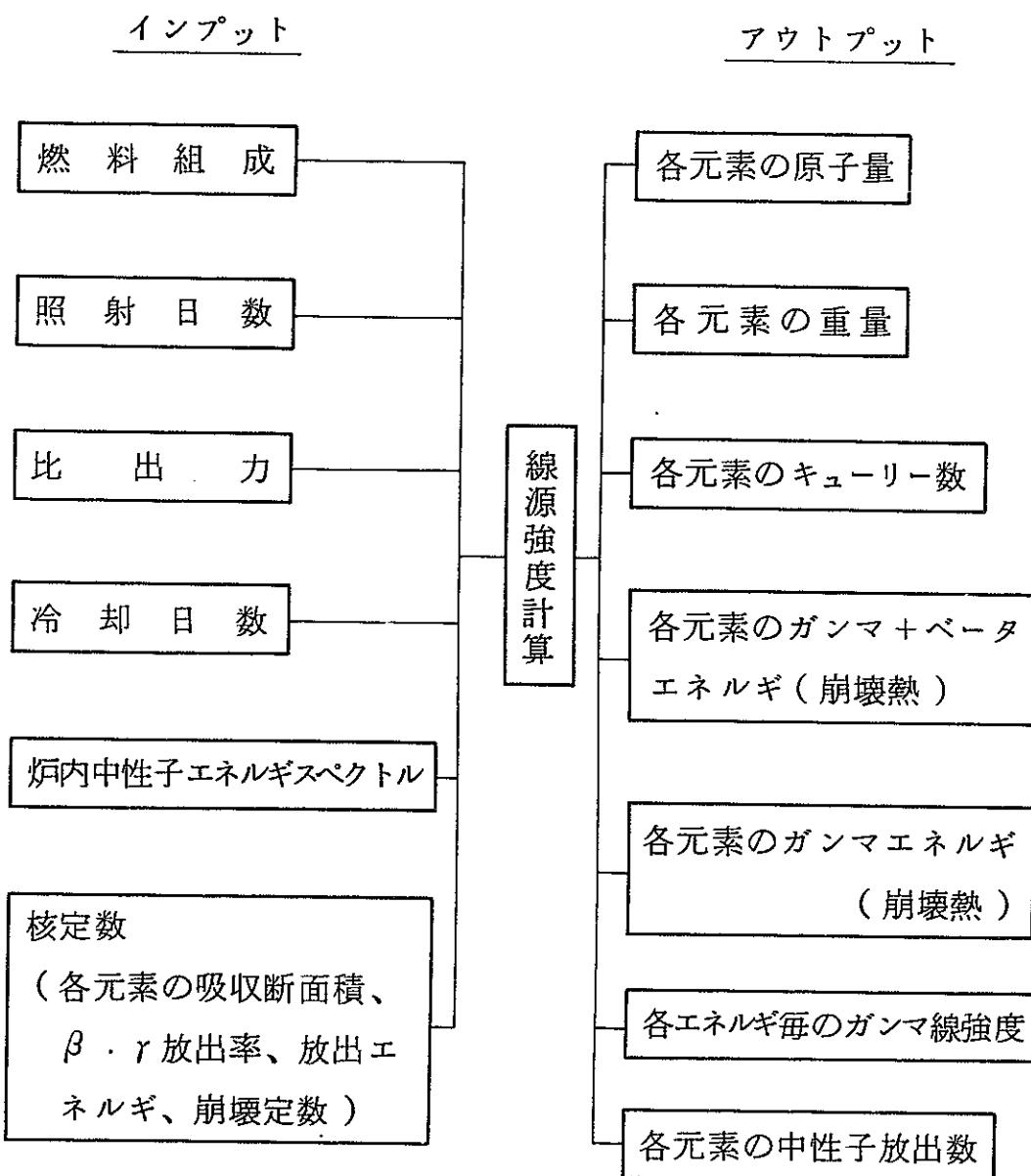
(1) 概 要

「ORIGEN」は、Oak Ridge National Laboratoryで開発されたコードで、互に関連した多数の同位元素の生成及び壊变量を計算できる。本輸送容器の遮蔽解析では、本コードを、ガンマ線源強度及び中性子源強度の計算にもちいた。

(2) 機 能

ORIGENは、燃料及び燃料被覆材中に生成される同位元素と放射能の量を求める汎用コードとして作成され、炉型式をとわずに適用できる。

本コードは、約 800 核種におよぶ同位元素のデータライブラリーを持っており、これをもちいて U-235 燃料だけでなく Pu-239 及び U-233 燃料を扱うことができる。また、本ライブラリー中には核分裂生成物からのガンマ線放出率及び超ウラン元素からの中性子放出率のデータがふくまれているので、本コードを使用済燃料中の放射線源強度及び崩壊熱の計算に用いることができる。



ロ-第D.5-4図 ORIGEN コード インプット／アウトプット

(3) 計算手法

ORIGENでは、個々の同位元素の生成量と壊变量を下記に示す1階の微分方程式を解くことにより求める。

すなわち、核種 i について

$$\frac{dX_i}{dt} = \sum_{j=1}^N I_{ij} \lambda_j X_j + \sum_{k=1}^N f_{ik} \sigma_k X_k - (\lambda_i + \phi \sigma_i) X_i$$

ただし

X_i : 核種 i の密度

λ_i : 核種 i の崩壊定数

σ_i : 核種 i の平均中性子吸收断面積

$\bar{\phi}$: 平均中性子束

f_{ij} : 核種 j が中性子と反応して核種 i になる割合

I_{ik} : 核種 k から核種 i に崩壊する割合

N : 同位元素の総数

この1階連立微分方程式を解くにあたって、2つの方法が用いられる。

1つはマトリックス指数法であり、長寿命核種に対して用いられる。他の1つはBateman法であり短寿命核種に対して用いられる。

本コードの概略計算フローを図-D.5-5に示す。

(4) 信頼性

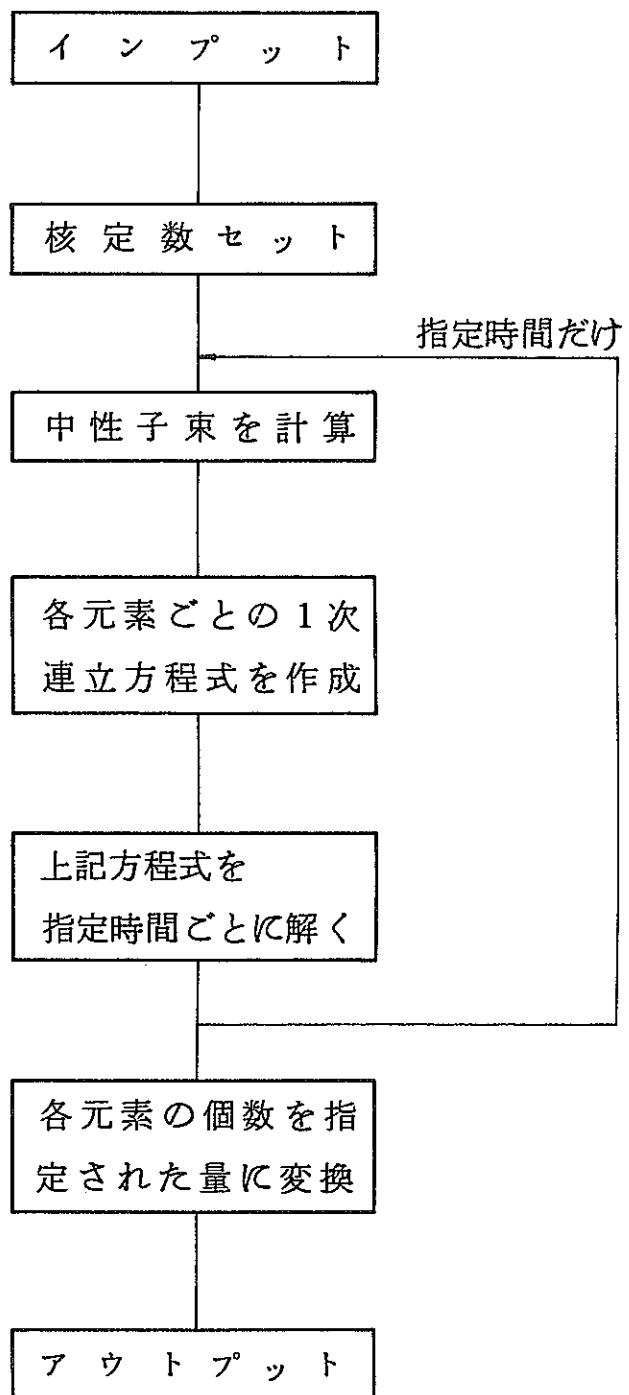
ORIGENはOak Ridge National Laboratoryで開発されたコードである。

ORIGENは約800核種におよぶ元素の核データを内蔵しており、他の同種のコードに比べて、取り扱うことができる核種が多い。

ORIGENが使用済核燃料輸送容器の放射線源強度の計算にも高いられた実績として次のものがある。

(a) BCL-6

(b) I-181-1⁽¹³⁾



ロード第D.5-5図 ORIGEN コード概略計算フロー

□ — E

1

□章 F. 運輸省令及び運輸省告示
に対する適合性の評価

□章 F 安全基準に対する適合性の評価
(運輸省令及び運輸省告示による)

□-表F.1-1に示す。

ロー表 F.1-1 安全基準による適合性の評価（運輸省令及び運輸省告示による）

運輸省令 第33号 の項目	運輸省告示 第586号 の項目	運輸省令 第32号 の項目	運輸省告示 第585号 の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
第3条		第88条		<p>＜放射性輸送物の種類＞</p> <p>本輸送物は、ATR圧力管照射試験片を、JMTRより輸送容器に収納して米国へ輸送するB()型輸送物である。</p>	イーA	イー図B.1
第4条		第89条		該当しない。		
第5条		第90条		該当しない。		
第6条1号		第91条		<p>＜B()型輸送物＞</p> <p>容器の仕様は、外径約0.85m、高さ約1.8mの円筒型容器であり、100t以上である。</p> <p>本輸送物は、取扱いが容易で、かつ輸送中の安全性が十分に保たれるように設計されており、運輸省令及び運輸省告示の技術上の基準を満足している。</p> <p>輸送物の吊上げ、吊下しは、専用の吊具を用い、クレーンを使用して行う。吊具とクレーンフックとの連結は、専用のシャックル等を使用して行うので操作中にはずれることはない。</p> <p>また、輸送物は、専用の架台及びコンテナーを用いて車両または船舶に強固に積付けられる等安全に取扱え</p>	イーA ローA.4 ローA.4	イー図B.2 イー図B.8

運輸省令 第33号 の項目	運輸省告示 第586号 の項目	運輸省令 第32号 の項目	運輸省告示 第585号 の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
第6条1号		第91条		<p>るものである。</p> <p>輸送物の吊上げ装置は、負荷係数を3としており、急激な吊上げに耐えられるものである。</p> <p>輸送物には、トラニオンを除いて、輸送物を吊上げるおそれのある吊手はない。</p> <p>また、輸送物は、専用吊手によって、吊上げるので輸送中不用意に吊上げるおそれはないものである。</p> <p>輸送物の表面は、滑らかにできており、雨水がたまらない。また、弁は輸送物本体に取付けた弁箱内に設けた構造となっており、保護蓋で保護されている。</p> <p>輸送中使用される架台、固縛装置、近接防止金網は、いずれも輸送物の安全性を損うものではない。</p> <p>輸送時に輸送物を車両等に固定する時の設計は、あらゆる方向に2gの加速度(減速度)に対して耐えられるようになされている。</p> <p>密封容器の蓋は、輸送時の振動等により緩まないようボルトで強固に締め付けられている。</p> <p>密封容器の蓋は、ボルトで強固に締め付けられており、輸送中圧力が上昇しても開くことはない。</p> <p>密封容器の密封境界には、シリコンラバー製のパッキンを設けており、密封を保っている。</p>	イーB.(1) イーB.(1) イーB.(1) イーB.(1) イーB.(1) イーB.(1) ローA.4.4 イーB.(1) ローA.4.2 イーB.(1) ローA.4.2	イー図B.6 イー図B.4 イー図B.4 イー図B.5 イー図B.5

運輸省令 第33号 の項目	運輸省告示 第586号 の項目	運輸省令 第32号 の項目	運輸省告示 第585号 の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
第6条1号		第91条		<p>収納物の発熱量が29Wのとき、収納物の最高温度は140°Cとなり、収納物が溶融することはない。したがって、収納物の幾何学的形状、物理的状態が変化することはない。又、発熱によって極度に内圧が上昇し、密封が損われることはない。</p> <p>輸送物の主要遮蔽材であるステンレス鋼、及び鉛の温度は、上記の状態でも92°C程度であり、融点よりはるかに低く、遮蔽能力が低下することはない。</p> <p>また、容器内外壁面の温度差は2°Cしかなく、熱応力により破損が生じることはない。</p> <p>輸送物の主要材であるステンレス鋼は、-40°Cの温度においても十分な強度を有するので、輸送中に予想される温度変化に、十分耐えられるものである。</p> <p>みだりに開封されないよう、蓋ボルトのゆるみ止めのワイヤーを封印し、かつ、開封されればわかるようになっている。</p> <p>輸送物は、ドライキャスクであり、水分はない。したがって、放射能によって水が分解し、気体を発生し、内圧を高めることなく、密封性を損うことはない。</p>	ロ－B.4 ロ－B.4 ロ－B.4 ロ－A.4 ロ－A.4 ロ－B.4	

運輸省令 第33号 の項目	運輸省告示 第586号 の項目	運輸省令 第32号 の項目	運輸省告示 第585号 の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
第6条1号		第91条		<p>本輸送物は、最大放射能を収納しても輸送物の最高表面線量率は 60.10 mrem/h であり、運輸省令の基準 (200 mrem/h を超えないこと) を満足している。</p> <p>本輸送物は、最大放射能を収納しても、輸送物の表面から 1 m の距離に於ける最高線量率は 7.51 mrem/h であり、運輸省令の基準 (10 mrem/h を超えないこと) を満足している。</p> <p>放射性物質等の使用に必要な書類以外は、収納されない。</p>	ロー D.1	
第6条2号	第7条	第91条 1号	第7条	<p><B()型輸送物に係る条件></p> <p><u>水の吹きつけ試験</u></p> <p>本輸送物の表面は、ステンレス鋼製で滑らかになっているので水切りは極めてよく、したがって、本試験を行っても異常は生じない。</p> <p><u>自由落下</u></p> <p>本輸送物は、10.8トン の重量であるので落下高さは 0.6m であるが、更に厳しい条件の 9m 落下で解析している。</p> <p>輸送物は、最大損傷を受けるよう垂直、コーナー、水平方向の3ケースを考えて解析している。最大破</p>	イー B.(1) ロー A.5 ロー A.5	

運輸省令 第33号 の項目	運輸省告示 第586号 の項目	運輸省令 第32号 の項目	運輸省告示 第585号 の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
第6条2号	第7条	第91条 1号	第7条	<p>損はコーナの143mmである。</p> <p><u>圧縮試験</u></p> <p>自重の5倍に相当する荷重の方が大きいので、これで解析している。</p> <p>自重の5倍に相当する荷重は、$5.4 \times 10^4 \text{ kg}$である。投影面積に$0.13 \text{ kg/cm}^2$を乗じた荷重は、$4.3 \times 10^4 \text{ kg}$で、$5.4 \times 10^4 \text{ kg}$が垂直に負荷した場合は、応力が$1.62 \text{ kg/mm}^2$以下である。</p> <p><u>貫通試験</u></p> <p>本項の試験条件よりも、事故時条件の落下試験Ⅱに示してある試験条件がより厳しい条件であるので、落下試験Ⅱにより解析している。</p>	ローA.5 ローA.5 ローA.5	
第6条2号 イ.		第91条 1号イ.		本輸送物は、最大放射能を収納して通常時試験を行い、1週間放置したとしても輸送物の最高表面線量率は 64.4 mrem/h であり、基準値の 200 mrem/h 以下を満足している。	ローD.1	
ロ. 第9条1項		ロ. 第9条1項		本輸送物は、通常時試験を行い、1週間放置した後でも密封性が低下することなく、放射性収納物の損失が $1.7 \times 10^{-7} \text{ Ci/h}$ であり、基準値の $4 \times 10^{-7} \text{ Ci/h}$ 以下である。	ローC.2	

運輸省令 第33号 の項目	運輸省告示 第586号 の項目	運輸省令 第32号 の項目	運輸省告示 第585号 の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考						
ロ. 第6条2号 ハ.	第9条1項 第3条	ロ. 第91条 1号ハ. 第3条	第9条1項 第3条	<p>また、輸送物の、表面汚染密度も基準値をこえることはない。</p> <p>本輸送物は、最大崩壊熱量 29W の際に、通常時試験を行い、1週間放置した場合でも、容易に人が接近し得る部分の温度は 41°C 以下であり、基準値の温度 50°C 以下を満足している。</p> <p>表面放射能密度</p> <p>本輸送物の、表面の放射性物質の密度は、発送時に事業者管理規定によって管理されるので、運輸省令及び運輸省告示を満足している。</p> <p>〔運輸省告示〕</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>許容密度 ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>アルファ線を放出する放射性物質</td> <td>10^{-5}</td> </tr> <tr> <td>アルファ線を放出しない放射性物質</td> <td>10^{-4}</td> </tr> </tbody> </table> <p>事故時条件 <u>落下試験I</u></p> <p>輸送物は、最大損傷を受けるよう、垂直（蓋、底部）コーナ、水平方向に剛体平面である落下試験台上に、9m高さから落下するとして解析し、最大破</p>		許容密度 ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)	アルファ線を放出する放射性物質	10^{-5}	アルファ線を放出しない放射性物質	10^{-4}	ロ-B.2 ロ-B.4	
	許容密度 ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)											
アルファ線を放出する放射性物質	10^{-5}											
アルファ線を放出しない放射性物質	10^{-4}											
3号	第8条	2号	第8条		ロ-A.6							

運輸省令 第33号 の項目	運輸省告示 第586号 の項目	運輸省令 第32号 の項目	運輸省告示 第585号 の項目	説明	申請書記請 対応項目	備考
3号	第8条	2号	第8条	<p>損は143mmである。</p> <p><u>落下試験Ⅱ</u></p> <p>輸送物は、最大損傷を受けるよう、軟鋼丸棒先端より1mの高さの位置より、各姿勢で軟鋼丸棒を直撃するように落下するとして解析し、最大破損は50.8mmである。</p> <p>落下試験台の上面は、なめらかな水平面であり、直径15cmの軟鋼丸棒は、落下試験台上に垂直に固定されているとして、解析している。</p> <p>軟鋼丸棒の長さは、輸送物に、最大の破損を引き起すように十分長いものとして解析している。</p> <p>落下試験ⅠとⅡの順序に関係なく、落下試験を行っても耐火試験によって輸送物が、有意な影響を受けることはない。</p> <p><u>耐火試験</u></p> <p>輸送物は、0.9の熱放射係数を持つ800°Cの熱放射環境に、30分間さらされるとして解析している。</p> <p>輸送物の表面の熱吸収係数は、輸送物が火に曝されたときより大きい0.8として解析し、有意な変化がないことを確認した。</p>	ロ－A.6 ロ－B.3 ロ－B.5	

運輸省令 第33号 の項目	運輸省告示 第586号 の項目	運輸省令 第32号 の項目	運輸省告示 第585号 の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
第6条3号 イ.		第91条 2号イ.		<p>浸漬試験</p> <p>本輸送物は、$1.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$の水圧下におかれたとして解析し、有意な変化がないことを確認した。</p>	ロ-A.6.4	
ロ.	第9条2項	ロ.	第9条2項	<p>本輸送物は、事故時試験を行った後、1週間にわたって技術基準に定められた環境条件下に放置された場合でも、輸送物の表面から1 m離れた位置での最高線量率は、7.84 mrem/hであり、運輸省令及び運輸省告示の基準値$1,000 \text{ mrem/h}$以下を満足している。</p> <p>本輸送物は、事故時試験後1週間放置した場合、密封性は保持できる。</p> <p>したがって、放射性物質の漏洩が$1.05 \times 10^{-5} \text{ Ci/週}$であり、基準値である$4 \times 10^{-1} \text{ Ci/週}$以下である。</p>	ロ-D.1	
第7条		第91条 の2		該当しない。		
第8条	第5条	第91条 の3	第5条	<p><放射性物質等の運送></p> <p>収納される放射性物質等の量が、告示で定められた量を超えるので、B()型輸送物としている。</p>		
第9条		第91条 の4		核分裂性輸送物でないので該当しない。		

運輸省令 第33号 の項目	運輸省告示 第586号 の項目	運輸省令 第32号 の項目	運輸省告示 第585号 の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
第10条		第91条5		同上理由により該当しない。		
第11条		第91条6		同上理由により該当しない。		
第12条		第91条7		同上理由により該当しない。		
第13条		第91条8		同上理由により該当しない。		
第15条		第91条の		輸送物の取扱いは、輸送物の安全性が、損われない ように行われる。 <積載方法等> 輸送物は、専用の架台及びコンテナーを用いて、 車輛又は、船舶に強固に積付けられる。		
1項		13項1号		輸送物積付け時には、あらゆる方向に各々2分の 加速度(減速度)が加っても、耐えられるように強 固に積付けされる。	ローA.4	
2項				輸送物は、放射性物として輸送するので、関係者以外 の者が、通常立入る場所に積載することはない。		
3項		1項3号 及び4号		核分裂性輸送物でないので該当しない。		
第16条		第91条の 13項 2号				

運輸省令 第33号 の項目	運輸省告示 第586号 の項目	運輸省令 第32号 の項目	運輸省告示 第585号 の項目	説明	申請書記載 対応項目	備考
第18条		第91条の 10		本輸送物は、該当するようなコンテナは使用しない ので、該当しない。		
第19条		11		本輸送物の、輸送指數は7.6である。		
第20条		12		輸送物は、放射性であるので運搬時には次の措置を 講ずる。 イ. 標識 本条の表4号に定める標識を取付ける。 ロ. 取付個所 輸送物表面の2個所		
第21条		14		<積載限度> 輸送物1個の輸送指數は、7.6であり運搬車輛及び 船舶への積載は、輸送指數の合計が50を越えないよ うに行う。		

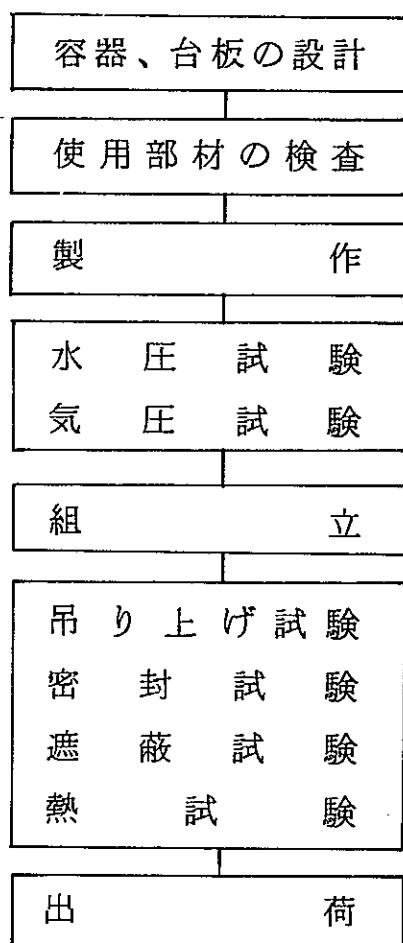
八
—
A

八章・輸送容器の製作

ハ章 A・輸送容器の製作法

A.1. 概 要

輸送容器の製作の概要を以下のフローチートに示す。



(1) 製 作

本容器は、Battelle Memorial Institute にて設計され、USA各監督官庁の認定を受けた後、Battelle Columbus Laboratories にて製作された、MODEL No. BMI-1 輸送容器である。本容器の Certificate No. は、5957 Package Identification No. USA/5957/B()F である。

A.2 材料の説明

本容器の製作に使用される材料は、下記の通りである。

A.2.1 板材類

部位名	材質
内筒、外筒、積層外筒 蓋、蓋外板、底板、	AISI 304 ステンレス鋼
インナーバスケット・サブバスケット	JIS SUS 304 ステンレス鋼
架台、固縛装置など	軟鋼
蓋ボルト	ASTM 325 鋼

A.2.2 管材類

ドレン管、ペント管	AISI 304 ステンレス鋼 sch. 40
-----------	----------------------------

A.2.3 鍛造品、ボルト、ナット類

ASTM 325 鋼

使用材料に適合する溶接材料を
使用

A.2.5 特殊材料

遮蔽体 鉛

A.2.6 ミルシート

米国監督官庁認可書にて代行する。

A.2.7 材料の欠陥部修理

該当事項なし

A.2.8 材料の切斷

材料は切断後、仕上加工する。

A.2.9 材料の成型

特殊な成型加工は行っていない。

A.3 溶接

A.3.1 溶接方法及び材料

溶接は、ステンレス鋼 — ステンレス鋼

軟 鋼 — 軟 鋼 のように、同種材料の組合せ
とし、それぞれ、それに適した溶接棒または、それ以上の品質を得る溶
接棒を使用して溶接する。

A.4 遮蔽体の製作法

A.4.1 鉛遮蔽材の鋸込み

B.M.I.の製作方法による。

A.4.2 ウラン遮蔽材の製作法

該当しない。

A.4.3 その他の遮蔽材料の製作法

該当しない。

A.5 弁等の付属機器の製作方法

各弁等のメーカーの標準により製作した。

A.6 組立等、その他の製作法

関係法規に従って製作した。

八
—
B

ハ章 B. 試験検査方法等

本容器は、 Battelle Memorial Institute にて製作され、 製作時所定の試験、 検査に合格し、 認定され、 下記の認定証書を交付された。

1. 6-16-1978 日付 Certificate No USA/5957/B()F

IAEA CERTIFICATE OF COMPETENT
AUTHORITY

Type B Fissile Radioactive Material Package
Design

2. 6-15-1978 日付 Certificate No 5957

U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION
CERTIFICATE OF COMPLIANCE
For Radioactive Materials Packages

3. 5-26-1978 日付 Certificate No 5957

Certificate OF Compliance
For BMI-1 Shipping Cask

これらの認定証書は、 B-10 付属文書に示した。

B.1 材料検査 検査報告書は、 上記認定証書にて代行する。

B.2 寸法検査 "

B.3 溶接検査 "

B.4 外観検査 "

B.5 構造及び耐圧検査

製作時 75 psi (5.3 kg/cm²G) にて、 2 時間水圧試験を実施。 検査報告書は、 B.10 認定証書により代行する。

B.6 漏洩検査

各輸送時毎に 50 psi (3.5 kg/cm²G) にて、漏洩試験を実施する。

B.7 構成機器の検査

検査報告書は、B.10 認定証書により代行する。

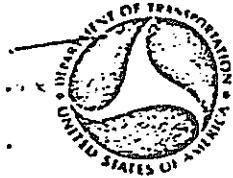
B.8 遮蔽確認検査

検査報告書は、B.10 認定証書により代行する。

B.9 熱 検 査

検査報告書は、B.10 認定証書により代行する。

B.10 付属文書



DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
RESEARCH AND SPECIAL PROGRAMS ADMINISTRATION
WASHINGTON, D.C. 20590
IAEA CERTIFICATE OF COMPETENT AUTHORITY

Type B Fissile Radioactive Material Package Design

REFER TO:

Certificate Number USA/5957/B(F)
(Revision 1)

This establishes that the packaging design described herein, when loaded with the authorized radioactive contents, has been certified by the National Competent Authority of the United States, as meeting the regulatory requirements for Type B packaging for fissile radioactive materials as prescribed in IAEA 1/ Regulations and in accordance with §§ 49 CFR 173.393b and 173.396(c)(3) of the USA 2/ Regulations for the transport of radioactive materials.

I. Package Identification - Model BMI-1.

II. Packaging Description - Packaging authorized by this certificate consists of a steel encased, lead-shielded cask, which is a cylinder approximately 73.4 inches high and 33.4 inches in diameter. The gross weight is approximately 23,600 pounds. The cask must be loaded and assembled in accordance with the requirements of U. S. Nuclear Regulatory Commission (USNRC) Certificate No. 5957 (Appendix A).

III. Authorized Radioactive Contents - The authorized contents consist of radioactive materials, n.o.s. and fissile radioactive materials as further limited in Section 5 of USNRC Certificate No. 5957.

Shipments are authorized as Fissile Class I or III, with a maximum of one package per vehicle or stowage area for Fissile Class III. Assignment of fissile class must be in accordance with the provision of USNRC Certificate No. 5957.

IV. General Conditions -

a. Each user of this certificate must have in his possession a copy of this certificate.

b. Each user of this certificate, other than Battelle Columbus Laboratories, Columbus, Ohio, shall register his identity in writing to the Office of Hazardous Materials Regulation, Materials Transportation Bureau, U. S. Department of Transportation, Washington, D. C. 20590

c. This certificate does not relieve any consignor or carrier from compliance with any requirement of the Government of any country through or into which the package is to be transported.

V. Marking and Labeling - The package must also bear the marking USA/5957/B()F as well as the other marking and labels prescribed by the USA Regulations.

VI. Expiration Date - This certificate, unless renewed, expires on November 30, 1980.

This certificate is issued in accordance with the requirements of the IAEA and USA Regulations and in response to the March 24, 1976 and June 15, 1978 petitions by Battelle Columbus Laboratories, Columbus, Ohio, and in consideration of the associated information provided in USNRC Certificate No. 5957 (Appendix A).

Certified by:

A. W. Grella
for *R. Rawl*

A. W. Grella
Chief, R & D Management
Office of Program Support
Materials Transportation Bureau
Washington, D. C. 20590

6/16/78
(DATE)

1/ "Safety Series No. 6, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials, 1967 Edition," published by the International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria.

2/ Title 49, Code of Federal Regulations, Parts 100-199, USA.

This certificate supersedes in its entirety, DOT Special Permit 5957 with respect to international shipments.

Revision 1 issued to incorporate Rev. 4 of USNRC Certificate and to extend expiration date.



UNITED STATES
NUCLEAR REGULATORY COMMISSION
WASHINGTON, D. C. 20555

JUN 15 1978

FCTR:RHO
71-5957

Addressees on Attached List

Gentlemen:

Enclosed is Certificate of Compliance No. 5957, Revision No. 4, for the Model No. BMI-1 shipping package. This certificate supersedes, in its entirety, Certificate of Compliance No. 5957, Revision No. 3, dated February 27, 1978.

Changes made to the enclosed certificate are indicated by vertical lines in the margin.

Those on the attached list have been registered as users of this package under the general license provisions of 10 CFR §71.12(b) or 49 CFR §173.393a.

Addressees should make the proper distribution within their organizations for use of this package under the general license.

This approval constitutes authority to use this package for shipment of radioactive material and for the package to be shipped in accordance with the provisions of 49 CFR §173.393a.

Sincerely,

Charles E. MacDonald
Charles E. MacDonald, Chief
Transportation Branch
Division of Fuel Cycle and
Material Safety

Enclosure:
As stated

cc: w/encl
Mr. Alfred W. Grella
Department of Transportation

Addressees: w/encl

Department of Energy
Ames Laboratory
ATTN: Mr. A. F. Voigt
Iowa State University
Ames, IA 50010

Atomics International
ATTN: Dr. M. E. Remley
P. O. Box 309
Canoga Park, CA 91304

Battelle Columbus Laboratories
ATTN: Mr. Harley L. Toy
505 King Avenue
Columbus, OH 43201

General Atomic Company
ATTN: Mr. William R. Mowry
P. O. Box 81608
San Diego, CA 92138

General Electric Company
ATTN: Mr. D. M. Dawson
175 Curtner Avenue
San Jose, CA 95125

Georgia Institute of Technology
ATTN: Mr. M. V. Davis
Eng. Exp. Sta.
Atlanta, GA 30332

Rhode Island Atomic Energy
Commission
ATTN: Mr. A. F. Dimeglio
Nuclear Science Center
Narragansett, RI 02882

Texas A&M University
ATTN: Mr. A. R. Luedecke
Nuclear Science Center
College Station, TX 77843

University of Arizona
ATTN: Dr. George W. Nelson
Nuclear Reactor Lab
Tucson, AZ 85721

University of Maryland
ATTN: Mr. R. L. Belcher
Department of Chemical Eng.
College Park, MD 20742

University of Michigan
ATTN: Mr. Gary M. Cook
Phoenix Memorial Lab
Ann Arbor, MI 48104

Allied Chemical Corporation
ATTN: Mr. F. H. Anderson
550 Second Street
Idaho Falls, ID 83401

U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION
CERTIFICATE OF COMPLIANCE
For Radioactive Materials Packages

1.(a) Certificate Number 5057	1.(b) Revision No. 4	1.(c) Package Identification No. USA/5057/B()F	1.(d) Pages No. 1	1.(e) Total No. Page 6
----------------------------------	-------------------------	--	----------------------	---------------------------

2. PREAMBLE

- 2.(a) This certificate is issued to satisfy Sections 173.393a, 173.394, 173.395, and 173.396 of the Department of Transportation Hazardous Materials Regulations (49 CFR 170-189 and 14 CFR 103) and Sections 146-19-10a and 146-19-100 of the Department of Transportation Dangerous Cargoes Regulations (46 CFR 146-149), as amended.
- 2.(b) The packaging and contents described in item 5 below, meets the safety standards set forth in Subpart C of Title 10, Code of Federal Regulations, Part 71, "Packaging of Radioactive Materials for Transport and Transportation of Radioactive Material Under Certain Conditions."
- 2.(c) This certificate does not relieve the consignor from compliance with any requirement of the regulations of the U.S. Department of Transportation or other applicable regulatory agencies, including the government of any country through or into which the package will be transported.

This certificate is issued on the basis of a safety analysis report of the package design or application—

3.(a) Prepared by (Name and address): Battelle Columbus Laboratories 505 King Avenue Columbus, Ohio 43201	3.(b) Title and identification of report or application: Battelle Memorial Institute application dated July 22, 1964, as supplemented
	3.(c) Docket No. 71-5957

4. CONDITIONS

This certificate is conditional upon the fulfilling of the requirements of Subpart D of 10 CFR 71, as applicable, and the conditions specified in item 5 below.

5. Description of Packaging and Authorized Contents, Model Number, Fissile Class, Other Conditions, and References:

(a) Packaging

(1) Model No.: BMI-1

(2) Description

A steel-encased lead shielded shipping cask. The basic cask body is a cylinder 33.37 inches in diameter by 73.37 inches high formed by two concentric stainless steel shells whose annular region is filled with lead. The outer 1/2-inch thick shell has a 0.12-inch thick plate spot welded to it, providing a 0.06-inch thick air gap insulator. The inner shell is 15.5 inches inside diameter by 54 inches inside length. The cask lid is a stainless steel weldment having 7.75 inches of lead shielding. The cask lid is secured to the cask by twelve steel studs which are welded to the cask body. Cask appurtenancies include a drain line with needle valve and plug, pressure gauge, and a pressure relief valve. The total cask weight, including maximum contents of 1800 lbs., is 23,600 lbs.

(3) Drawings

The cask is constructed in accordance with the following Battelle Memorial Institute (BMI) Drawings Nos.: 0001, Rev. A; 0101; and 0004, Rev. A.

5. (a) Packaging (continued)

(4) Product Containers

The various authorized product containers are constructed in accordance with the following Drawings Nos.:

- (i) Inner can assembly as shown in BMI Drawing No. 0107, Rev. B.
- (ii) Basket Assembly as shown in BMI Drawing No. 0004, Rev. A.
- (iii) Fermi Fuel Element copper casting assembly as shown in BMI Drawing No. 0049, Rev. to May 12, 1966.
- (iv) Basket Assembly as shown in BMI Drawing No. 1020, Rev. B.
- (v) Basket Assembly defined by BMI Drawing No. 0004, Rev. A, as modified by BMI Drawing No. 00-00-236, Rev. A.
- (vi) Basket Assembly and storage can defined by BMI Drawing No. 00-000-391, Rev. C, and Atomic International Drawing No. AIHL, S8DR 0019-01, respectively.
- (vii) BMI-1 Cask Basket Spacer for ALRR Converter Fuel; Ames Laboratory Research Reactor, Drawing No. RRM 245, Dated 4/3/77.
- (viii) Basket Assembly as shown in BMI Drawing No. 0004, Rev. A, as modified by BMI Drawing No. 00-001-376, Rev. A, and fuel canister as shown in BMI Drawing No. 00-001-375, Rev. O.

(b) Contents

(1) Type and form of material

- (i) Intact irradiated MTR or BRR fuel assemblies containing not more than 200 grams U-235 per assembly prior to irradiation. Uranium may be enriched to a maximum 93 w/o in the U-235 isotope. Active fuel length shall be 25 inches.
- (ii) Intact irradiated Enrico Fermi Core. A fuel assembly containing not more than 4.77 kgs U-235 prior to irradiation. Uranium may be enriched to 25.6 w/o in the U-235 isotope.

5. (b) Contents (continued)

(1) Type and form of material (continued)

- (iii) Greater than type A quantities of radioactive material which may include uranium enriched in the U-235 isotope, U-233, plutonium, as metal, oxides, or compounds which are thermally stable up to 600°F.
- (iv) Greater than type A quantities of byproduct material in special form.
- (v) Greater than type A quantities of byproduct material in normal form as metal, oxides, or compounds which are thermally stable up to 600°F.
- (vi) Irradiated Triga Type III fuel assemblies containing not more than 40 grams U-235 per assembly prior to irradiation. Uranium may be enriched to a maximum 20 w/o in the U-235 isotope. Active fuel length shall be 15 inches for stainless steel clad assemblies and 14 inches for aluminum clad assemblies.
- (vii) Irradiated S8DR fuel elements 0.56-inch OD by 18.7 inches long by 0.010-inch wall thickness of Hastelloy-N. The fuel material is UZrH fully enriched in U-235.
- (viii) Intact irradiated CP-5 fuel assemblies containing not more than 176 grams U-235 per assembly prior to irradiation. Uranium may be enriched to a maximum 93 w/o in the U-235 isotope. Active fuel length shall be 28.5 inches.
- (ix) Irradiated Pulstar Zircaloy clad fuel pins containing not more than 31 grams U-235 per pin prior to irradiation. Uranium may be enriched to a maximum 6 w/o in the U-235 isotope. Active fuel length shall be 24 inches.

(2) Maximum quantity of material per package

Maximum decay heat generation per package not to exceed 1.5 kw and the external dose rate not to exceed 10 mrem/hr 3 feet from the external surface of the cask and

5. (b) Contents (continued)

(2) Maximum quantity of material per package (continued)

(i) For the contents described in 5(b)(1)(i):

24 fuel assemblies as contained in product containers specified in 5(a)(4)(ii) or 12 fuel assemblies as contained in product containers specified in 5(a)(4)(v).

(ii) For the contents described in 5(b)(1)(ii):

One fuel assembly as contained in product container specified in 5(a)(4)(iii).

(iii) For the contents described in 5(b)(1)(iii):

480 grams U-235 or 480 grams Pu-239 or 800 grams U-235 as contained in product container specified in 5(a)(4)(i).

(iv) For the contents described in 5(b)(1)(iv):

Gamma sources securely confined in the cask cavity to preclude secondary impacts during accident conditions of transport. Thermal heat generation rate shall be limited to 200 watts.

(v) For the contents described in 5(b)(1)(v):

Contained in product containers specified in 5(a)(4)(i) and limited as follows:

<u>10 CFR 71 Transport Group</u>	<u>Quantity Curies</u>
I	1,000
II	8,120
Mixed Fission Products	Unlimited
III	4,960
IV	11,070
V	8,120
VI and VII	800,000

(vi) For the contents described in 5(b)(1)(vi):

38 fuel assemblies as contained in product containers specified in 5(a)(4)(iv).

5. (b) Contents (continued)

(2) Maximum quantity of material per package (continued)

(vii) For the contents described in 5(b)(1)(vii):

24 fuel elements per can and six sealed cans per basket as described in 5(a)(4)(vi). Each of the six cans may contain up to 818 g U-235 and 158 g hydrogen. The cask is limited to 4.908 kg U-235.

(viii) For the contents described in 5(b)(1)(viii):

12 fuel assemblies.

(ix) For the contents described in 5(b)(1)(ix):

12 canisters containing 21 fuel pins each, contained within the canister and fuel basket specified in 5(a)(4)(viii). (Dummy fuel canisters, non-buoyant, shall occupy empty basket positions.)

5. (c) Fissile Class

I and III

(1) Class I

For the contents specified in 5(b)(1)(iii) and limited in 5(b)(2)(iii).

(2) Maximum Number of Packages per Shipment as Class III

For the contents specified in 5(b)(1)(i), 5(b)(1)(ii), 5(b)(1)(vi), 5(b)(1)(vii), 5(b)(1)(viii), and 5(b)(1)(ix); and limited in 5(b)(2)(i), 5(b)(2)(ii), 5(b)(2)(vi), 5(b)(2)(vii), 5(b)(2)(viii), and 5(b)(2)(ix).

One (1) package.

6. For Item 5(b)(1)(iii), mixtures of fissile material are authorized, provided the following equation is satisfied:

$$\frac{X}{480} + \frac{Y}{480} + \frac{Z}{800} \leq 1, \text{ where}$$

X = Grams U-233 to be shipped

Y = Grams Pu-239 to be shipped

Z = Grams U-235 to be shipped

7. Except for contents described in 5(b)(1)(ii) and 5(b)(1)(iv); and limited in 5(b)(2)(ii) and 5(b)(2)(iv), the cask shall be shipped dry.

8. If the cask contents of 5(b)(1)(ii) or 5(b)(1)(iv) are shipped wet, the licensee shall confirm that the pressure relief valve is operable.

8. (continued)

- When needed, sufficient antifreeze in the cask shall be used to prevent damage of any component of the package by freezing.
9. Loading and unloading operations of the contents described in 5(b)(1)(iii) and limited in 5(b)(2)(iii) shall preclude contact of water with the contents.
10. The presence and effectiveness of the Boral poison plate in the Basket Assemblies as shown in BMI Drawings Nos. 0004, Rev. A, and 00-000-236, Rev. A, shall be verified by neutron measurements prior to first use and records maintained of such verification. Verification of the presence of the Boral shall be made in each subsequent use.
11. The package authorized by this certificate is hereby approved for use under the general license provisions of 10 CFR §71.12(b).
12. Expiration date: November 30, 1980.

REFERENCES

Battelle Memorial Institute applications dated: July 22, 1964; July 19, 1965; January 13, 1972; and March 2 and May 25, 1973.

Supplements dated: September 8, 1969; May 7 and July 21 and 24, 1970; January 18, 1971; June 19 and September 14, 1972; and May 26, 1978.

For the shipment of CP-5 fuel assemblies:
Ames Laboratory ERDA Application dated September 13, 1977.

For the shipment of Pulstar fuel assemblies:
Battelle Memorial Institute supplements dated: October 13, 1977; and January 31 and February 15, 1978.

FOR THE U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION

Charles E. MacDonald
Charles E. MacDonald, Chief
Transportation Branch
Division of Fuel Cycle and
Material Safety

JUN 15 1978
Date: _____

Distribution:

WJ Madia
WH Goldthwaite/NFSS Files
KD Kok
TR Emswiler
D Burian
HL Toy

May 26, 1978

Mr. Charles E. MacDonald, Chief
Transportation Branch
Division of Fuel Cycle and Material Safety
United States Regulatory Commission
Washington, D.C. 20555

Dear Mr. MacDonald:

Reference: Certificate of Compliance for BMI-1 Shipping Cask, FCT R:RHO,
71-5957, Certificate Number 5957, Revision 3, Package ID No.
USA/5957/B()F.

We are requesting a change to the referenced certificate of compliance by the addition of the following paragraphs:

5.(b) Contents

(1) Type and form of material

(X) Greater than Type A quantities of by-product material in special form.

5.(b) Contents

(2) Maximum quantity of material per package

(X) For the contents described in 5.(b)(1)(X):

Up to 40,000 curies Co-60 or equivalent source having gamma energies less than 1.33 uncontaminated but securely confined within the cask cavity or as contained in auxiliary cans and securely confined in the cask cavity and having a heat generation no greater than 200 watts and a heat flux on the surface of the special form container no greater than 60 watts/sq. ft.

The justification for this added material type and quantity is as follows:

1. The BMI-1 cask is currently licensed for greater than Type A quantities of by-product material in special form (Reference paragraph 5.(b)(1)(iv) which activity does not exceed 40,000 ci Co-60 or equivalent source having gamma energies of 1.33 MeV (Reference paragraph 5.(b)(2)(iv)).
2. Restriction of Reference paragraph 5.(b)(2)(iv) to product container specified in Reference paragraph 5.(a)(4)(iii) not required if surface heat flux limited to 60 watts/sq. ft. of special form material (added paragraph 5.(b)(1)(x) as shown below.
 - (a) Let heat flux from the special form material (or the envelope of the special form material) = $Q_s = 60 \text{ w/sq. ft.}$
 $\cong 205 \text{ BTU/hr-sq. ft.}$
 - (b) Let total heat = $Q = 200 \text{ w}$ (Reference paragraph 5.(b)(2),
 $\cong 680 \text{ BTU/hr}$
 - (c) Assume all heat flow from special form material to cask cavity wall is by radiation.

$$Q_s = FaFe \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

where

Fa = area view factor = 1.0

Fe = emissivity factor = 0.2 (assumed as a low value for most ferrous and structural materials).

σ = Stefan Boltzmann Constant = $0.173 (10^{-8})$ BTU/hr-ft²-R⁴

T₁ = Source Temperature, R

T₂ = Sink Temperature $\cong 560$ F = 1020 R (Addendum to SARP for BMI-1, September 8, 1969, Figure 7, Page 40).

then

$$T_1 = 1137 R = 677 F$$

the ΔT from the liner to the heat source is

$$\Delta T = 677 - 560 = 117 F$$

(d) Assume spherical special form heat source (worst case since sphere has lowest surface area per unit volume of any shape).

Area of Sphere is .

$$A = Q/Q_s = 680/205 = 3.31 \text{ ft.}^2$$

Diameter of sphere is

$$d = \sqrt{A/\pi} = 1.03 \text{ ft.}$$

Volume of Sphere is

$$V = \pi d^3/6 \cong 0.563 \text{ ft.}^3$$

Volumetric Heat Generation Rate is

$$Q^1 = 680/0.563 \cong 1200 \text{ BTU/ft.}^3$$

Temperature at Center of Sphere is

$$T_c = T_1 + Q^1 d^2/24 k$$

where

k = effective conductivity of spherical heat source.

For homogeneous materials $k = k$ material.

For heterogeneous materials k is composite of the k of all parts. In shipments such as capsules or tube bundles the ratio of space to solid is ~1:1. Then determine effective k as follows:

$$\frac{d/2}{k_{\text{eff}}} = \frac{1/2(d/2)}{k_{\text{air}}} + \frac{1/2(d/2)}{k_{\text{metal}}}$$

At $T \approx 1000$ F, $k_{\text{air}} \approx 0.04$ BTU/hr-ft.²

$k_{\text{metal}} \approx 13$ BTU/hr-ft.²

(ss for example)

then

$$\frac{1}{2 k_{\text{eff}}} = \frac{1}{4(0.04)} + \frac{1}{(4)(13)}$$

$$k_{\text{eff}} \approx 0.08$$

then

$$\begin{aligned} T_c &= 677 + (1200)(1.03)^2/(24)(0.08) \\ &= 677 + 663 \approx 1340 \text{ F} \end{aligned}$$

- (e) If spherical heat source is within auxiliary canister, walls of canister form addition radiation barrier. For a single wall spaced equidistant between the source and the cavity wall the effect is to double the ΔT from the wall to the source. Thus,

$$\begin{aligned} T_c &= 560 + 2(117) + 663 \\ &= 1457 \text{ F} \end{aligned}$$

This is below the 1475 F temperature requirement for special form materials.

We request that prompt attention be given to this request since the bidding and execution of a major program at Battelle requires use of the BMI-1 cask to ship special form materials meeting the requirements of the requested changes.

This major program with the Japanese is in dire jeopardy of not being accepted if we are unable to obtain an amendment for cask BMI-1 which would allow us to import up to 10,000 curies of irradiated Zirconium 2-1/2 w/o Niobium having a maximum total

Mr. Charles E. MacDonald

4

May 26, 1978

decay heat of 12 watts. This material is in special form and has to be loaded in the cask without the use of a sealed inner canister. We need to know no later than June 26, 1978, if this requested amendment is to receive NRC approval. If the NRC is unable to complete a full review and provide an amendment approval by that date, we request NRC complete the special approval permit on a one trip only basis for the import of nine Zirconium 2-1/2 w/o Niobium specimen capsules (all material is special form) not-exceeding a total of 10,000 curies and 12 watts decay heat output. The dimensions of the capsules are as follows:

1. 5 capsules = 2.39" outside diameter by 42.13 in. long
2. 2 capsules = 1.515" outside diameter by 42.13 in. long
3. 2 capsules = 1.95" outside diameter by 31.50 in. long

In accord with Title 10, Chapter 1, Code of Federal Regulations - Energy, Section 170.31 (Schedule of Fees for Materials Licenses and Other Regulatory services dated March 24, 1978), we feel that this amendment request fall into Materials License Category Number 11 C as a minor amendment. The published fee for this is \$690 and you will find a check for this amount enclosed.

It is most important that we receive your comments and opinion as to whether the requested amendment or special one-trip permit can be issued by June 26, 1978. After your review please call Mr. Dick Burian (614/424/7502), Mr. Thomas R. Emswiler (614/424/4336), or myself (614/424/7791) to let us know the timing on this request.

Thank you for your time and cooperation in this matter.

Very truly yours,

Harley L. Toy
Licensing Coordinator

ハ章C. 容器の製作スケジュール

本容器は、Battelle Memorial Instituteにて設計され、
IAEA及びUSAのCFRに合致するよう製作した。

その報告書は、認定証書により代行する。

ハ章D. 品 質 管 理

U S A の C F R に合致するための品質管理体制の確立及びその実施を行ひ製作した。その報告書は、認定証書により代行する。

—
A

二章 輸送物の取扱方法及び保守条件

ニ章 A・輸送物取扱い方法

A.1 装荷方法

試料を、輸送容器内バスケットの所定の位置に装荷する順序を、参考のためにドライで行う場合について記述する。

番号	手 順	備 考
1.	準備した工具や適当なチェンやケーブルを使用して、輸送物を、トレーラから吊りおろす。輸送物の重量は 1 0 , 8 0 0 kg (2 3 , 6 0 0 l b s) である。	イー図 B.4 参照
2.	近接防止金網を取り外しタンバックルをゆるめ、タイロッドを容器（以下容器と言う）からはずす。	イー図 B.11 参照
3.	容器と台板との取付ボルトを取りはずす。	
4.	圧力計の針が“O”になっているか確認する。 もし、圧力があれば放射性のガスや汚染された気体が、作業環境に滞留しないように圧力を放出する。	イー図 B.6 参照
5.	蓋と容器との合せマークをつけておく。	イー図 B.7 参照
6.	蓋を空の容器から取りはずす。 O - リングが破損していないかチェックする。 もし、必要であれば取替える。 O - リング寸法 $\phi 7.93\text{mm} \times \phi 508\text{mm}$ ($5/16\text{in} \times 20\text{in}$)	
7.	ゴミやドレンなど害のあるものが、内筒内にないか検査する。	イー図 B.2 参照
8.	容器のドレン弁箱のカバーを取り外す。ドレン弁を開き、容器内のドレン切りをして、ドレンの排出を確認し、少くとも 1 ガロン (3.8 ℥) の水を注入し、流出量を確認する。 これは、ドレンラインの確認のためを行う。	

番号	手 順	備 考
9.	収納物の装荷は空気中で行う。	

主要な関連事項

- (1) 取扱中、容器を破損せぬよう保護すること。
- (2) USA-5957 B()Fにて示した事項に従うこと。
- (3) 10 CFR PART 71 及び USAEC
MANUAL CAP 0529 にて示した事項に従うこと。

番号	手 順	備 考
10.	収納物装荷後チェックする事項	イー図B.6 参照
(a)	蓋に適当なガスケットが取付けられているか確認す	
(b)	る。	
(c)	蓋を取付け総べてのナットを 6.9 kg-m (50 ft-lbs)	
(d)	のトルクで締めつける。	
(e)	圧縮空気源と容器のペント弁と接続し、器内圧力を	
(f)	3.5 kg/cm^2 G (50 psi) として漏洩をチェックす	
(g)	る。	
(h)	蓋に設けた挿入筒に温度計を挿入し、容器内の温度	
(i)	が平衡に達するまで計測する。平衡に達した冷却材	
(j)	の温度は、実際の周囲温度と 38°C (100°F) の差	
(k)	を引いた温度が 137°C (278°F) を超えてはい	
(l)	けない。	
(m)	蓋は、少くとも 4 時間入れた後チェックする。	
(n)	(冷却材の放射能は $10 \text{ CFR } 71$ または AEC	
(o)	Manual Chapter 0529 にて述べた値を超えてはいけない) 。	
(p)	ドレン弁とペント弁を閉鎖し、プラグをつける。	
(q)	もし、氷結の恐れがあれば氷結しないよう薬剤を使	
(r)	用する。	
(s)	ドレン弁とペント弁箱の保護蓋を取付ける。	
(t)	(これらの蓋をするためのスペースをとっておく)	
(u)	除染した容器は船積みまたは、車輛に積付けるため	
(v)	に規準値に合格しなければならない。	
(w)	容器を、台板上に確実に取付ける。	
(x)	容器を、運搬車の上に確実に取付ける。	
(y)	輸送物の近づき易い外面の温度は $10 \text{ CFR } -49 -$	
(z)	$173, 393, e2$ に従うこと。	
(aa)	容器は、規程に従って標識をつける。	

A.2 取出方法

国内にて燃料を取出すことはない。

A.3 空容器の準備

ATR圧力管照射試験片輸送終了後、容器は所有者に返還する。

A.4 付属文書

OPERATING INSTRUCTIONS FOR RECEIVING
AND LOADING EMPTY CASK BMI-1 USA-5957
B()L

A.5 受取検査Ⅰ

本容器は、製造中及び容器完成後、所定の検査が行われており、検査に合格している。

これらの検査については、ハ章B項に記載している。

A.6 受取検査Ⅱ

輸送物は、発送毎に次の検査または、確認を行うものとする。

1. 空容器受取時の検査

容器への燃料装荷は、ニ章A.1装荷方法にしたがって行われるが、燃料装荷時の検査項目、方法及び判定基準は、ニー表A.2-1に示す通りである。

A. 付 屬 文 書

OPERATING INSTRUCTIONS FOR RECEIVING AND LOADING EMPTY CASK EMU-1

USA-5957 B()L

- (1) Remove from carrier by using yoke provided or suitable chain or cable. Cask and pallet weigh 21,800 pounds empty.
- (2) Loosen tension on turnbuckles and detach from cask.
- (3) Unbolt cask from skid.
- (4) Check pressure gauge to insure it reads "zero". Relieve any pressure that is present in manner which would insure control of any radioactive gases or contamination.
- (5) Mark orientation of lid in relation to cask.
- (6) Remove the lid from empty cask in controlled area. Monitor cavity as lid is being removed. Check the "O" ring to insure it has not been damaged. Replace if necessary with (5/16" x 20.00 inch Silastic "O" ring).
- (7) Inspect cavity to insure there is no foreign objects present which would hinder loading or plug drain.
- (8) Remove cask drain cover. Open drain valve and drain any liquids into a suitable container. Pour at least 1 gallon of water into cask cavity and collect from bottom drain. This will insure proper operation of drain line.
- (9) At this point cask is ready to be handled and loaded either dry or wet. Since each facility will load different items in different ways, they will provide their own handling and loading procedures.

Primary concern will be:

- (1) to protect the cask from damage during handling which would reduce the container integrity.
- (2) compliance with all applicable terms and conditions of USA-5957 B()L

- (3) compliance with all applicable terms and conditions of 10CFR Part 71 or USAEC Manual Chapter 0529.
- (10) Post Loading Check (perform each item, if applicable)
 - (a) Insure proper gasket placement on lid.
 - (b) Replace lid and tighten all nuts on lid to 50 ft-lbs torque.
 - (c) Connect a pressure line to cask flushing valve and check for leaks at 50 psig.
 - (d) Insert thermometer into well in cover and follow the cask temperature until it comes to equilibrium. The equilibrium coolant temperature must not exceed 278°F minus the difference between 100°F and the actual ambient temperature.
 - (e) Check the coolant for activity after the cask has stood for at least 4 hours (activity must not exceed that specified in 10CFR71 or AEC Manual Chapter 0529).
 - (f) Drain 5% of water from the cask to provide expansion space for the water due to changes in ambient temperatures. Close and plug drain and flush valves. Use antifreeze mixture if freezing is anticipated.
 - (g) Replace drain valve and gauge cover plates (insure these areas are free of contamination prior to covering).
 - (h) Decontaminate cask to meet limits specified in applicable regulations for shipping.
 - (i) Remount cask on skid and secure.
 - (j) Load and secure cask on transport vehicle.
 - (k) Temperature of the accessible external surface of the package must comply with 10CFR-49-173.393 e2.
 - (l) Cask to be sealed in accordance with applicable regulations.

ニー表A.2-1 輸送物発送前の検査

検査項目	検査方法	判定基準
外観検査	目視により輸送物の外観検査を行う。	有意な損傷あるいは損耗がないこと。
遮蔽検査	輸送物の表面及び1m離れた点での線量率を測定する。	運輸省告示に定められた値、表面で200mrem/h及び1m離れた点で10mrem/hをこえないこと。
表面汚染検査	スミヤ法により表面汚染密度を測定する。	省令及び告示に示された基準値をこえないこと。
漏洩検査	密封装置を気圧により3.5kg/cm ² G(50psi)に加圧し、1時間あたりの圧降下を測定する。	圧降下が0.05kg/cm ² 以下であること。
表面温度検査	輸送物の表面温度を測定する。	運輸省令に定められた基準値50°Cをこえないこと。
取扱い検査	インナーバスケットの装荷取扱い方法を検査する。	取扱いに支障のないこと。
吊上げ荷重検査	受取時の空容器を吊上げた状態で外観等を検査する。	吊上用具等に異常のないこと。
重量検査	容器重量と収納物重量の和を重量計算により確認検査する。	設計重量を越えないこと。 設計重量はイ章B-(4)に示す。
作動確認検査	ベント弁およびドレン弁が正常に作動するか否かを検査する。	操作性に異常のないこと。
収納物検査	収納物の外観、数量及び収納位置の検査、確認をする。 運転記録等により放射能強度等について確認する。	承認条件通りであること。

ニ章B. 保 守 条 件

B.1 構造および耐圧検査

(1) 構 造 檢 査

容器本体は、目視による外観検査を行い損傷の有無を確認する。必要に応じて修理または、交換を行う。

(2) 耐 圧 檢 査

容器は、製造時に $5.3 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ (75 psi) の水圧試験を実施し、その内圧に耐えることが確認されている。さらに輸送毎に $3.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ (50 psi) の気圧試験を行い、1時間の圧力降下が 0.05 kg/cm^2 以下であることを確認する。

B.2 漏 潟 檢 査

B.1(2)耐圧検査の項にて述べた通り。

B.3 補 助 系 の 保 守

該 当 な し

B.4 密 封 容 器 の 弁、ガスケット等の 保 守

ガスケット及びOーリングなど輸送時毎の検査ならびに定期検査時に不良品を交換する。

B.5 遮 蔽 檢 査

輸送時毎に、容器の漏洩放射線量率を測定し、遮蔽能力を確認する。

B.6 热 檢 査

輸送時毎に、容器の表面温度を測定し、熱放散能力を確認する。

本章. 安全設計、安全輸送に関する特記事項

ホ章 安全設計、安全輸送に関する特記事項

な
し