

JAERI-M  
92-100

核融合研究におけるベリリウムの安全取扱いのために

1992年7月

吉田 浩・岡本 真実<sup>\*1</sup> 寺井 隆幸<sup>\*2</sup> 小田原 修<sup>\*1</sup>  
芦部 楠夫<sup>\*3</sup> 小原 敦<sup>\*3</sup>

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）  
あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城  
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department  
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,  
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1992

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 日立高速印刷株式会社

核融合研究におけるベリリウムの安全取扱いのために

日本原子力研究所那珂研究所核融合工学部

吉田 浩・岡本 真実<sup>\*1</sup>・寺井 隆幸<sup>\*2</sup>

小田原 修<sup>\*1</sup>・芦部 楠夫<sup>\*3</sup>・小原 敦<sup>\*3</sup>

(1992年6月4日受理)

ITER等の核融合ブランケットでは、可能なかぎり1に近いトリチウム増殖比を達成するために、中性子増倍効果が期待されるベリリウムの大量使用が考えられている。また、JETにおいて実証されたプラズマ雰囲気中の酸素に対する極めて大きいゲッタ効果を利用して、ITERの第一壁やプラズマ対向面にベリリウムを適用することが検討されている。これらのベリリウムの使用環境は、高温かつ高エネルギー粒子（中性子、D、T、He等）の照射場であり、ブランケットの場合にはさらに増殖材、構造材、冷却水等のブランケット構成物質と高温下で共存する。このような過酷な環境に対応するベリリウムの特性データはほとんど皆無であり、今後、核融合炉環境を想定した多様なベリリウム試験研究が必要になると考えられる。一方、ベリリウムは人体に有害な物質であり、とくに高温で発生する蒸気、粉塵、ヒュームは極めて危険性の高いことが知られている。このことから、欧米ではベリリウムの取扱いを厳しく規制している。わが国においても従事者の安全確保及び環境保護の観点から、ベリリウムの取扱い及び管理に関して法令による一定の規制が行われている。

本報告書は、ITER計画等の今後の核融合研究開発において想定されるベリリウムの安全取扱いに資する目的でまとめたものであり、以下の事項を含んでいる。

- ①英国、米国及び日本のベリリウム取扱い基準の概要
- ②代表的な研究機関のベリリウム取扱い施設における安全管理の方法及び考え方
- ③ベリリウムの試験研究における国内法規適用の考え方
- ④ベリリウムを使用する小～中規模ブランケット開発試験のための安全取扱い施設の概念検討結果
- ⑤ベリリウムの毒性、障害に関する資料及びデータ
- ⑥自然環境におけるベリリウムの分布

---

那珂研究所：〒311-01 茨城県那珂郡那珂町大字向山801-1

\* 1 東京工業大学

\* 2 東京大学

\* 3 (株)東芝

Safety Handling of Beryllium for Fusion Technology R&D

Hiroshi YOSHIDA, Makoto OKAMOTO<sup>\*1</sup>, Takayuki TERAI<sup>\*2</sup>  
Osamu ODAWARA<sup>\*1</sup>, Kusuo ASHIBE<sup>\*3</sup> and Atsushi OHARA<sup>\*3</sup>

Department of Fusion Engineering Research  
Naka Fusion Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received June 4, 1992)

Feasibility of beryllium use as a blanket neutron multiplier, first wall and plasma facing material has been studied for the D-T burning experiment reactors such as ITER. Various experimental work of beryllium and its compounds will be performed under the conditions of high temperature and high energy particle exposure simulating fusion reactor conditions.

Beryllium is known as a hazardous substance and its handling has been carefully controlled by various health and safe guidances and/or regulations in many countries. Japanese regulations for hazardus substance provide various guidlines on beryllium for the protection of industrial workers and environment.

This report was prepared for the safe handling of beryllium in a laboratory scale experiments for fusion technology R&D such as blanket development. Major items in this report are;

- (1) Breif review of guidances and regulations in USA, UK and Japan
- (2) Safe handling and administration manuals at beryllium facilities in INEL, LANL and JET
- (3) Conceptual design study of beryllium handling facility for small to mid-scale blanket R&D

---

\*1 Tokyo Institute of Technology

\*2 Tokyo University

\*3 Toshiba Corporation

- (4) Data on beryllium toxicity, example of clinical diagnosis of beryllium disease, and environmental occurrence of beryllium.
- (5) Personnel protection tools of Japanese Industrial Standard for hazardous substance

Keywords : Fusion Technology, ITER, Blanket, First Wall, Plasma Facing Material, Beryllium, Toxicity, Safety Handling Technology, Safety Administration Manual

## 目 次

1.はじめに	1
2.米国、英国及び日本のベリリウム取扱いに関する基準の概要	3
3.代表的な研究機関のベリリウム取扱い施設における安全管理	6
3.1 INELのベリリウム施設における取扱いと安全管理	6
3.2 LANLのベリリウム施設における取扱いと安全管理	12
3.3 JETにおけるベリリウムの取扱いと安全管理	18
4.今後のベリリウム試験研究における安全確保の考え方	27
4.1 特定化学物質等障害予防規則の概要	27
4.2 ベリリウムの格納、ゾーニング及び換気の考え方	27
4.3 除染・モニタリング・廃棄物処理の考え方	28
4.4 作業者の健康管理の考え方	31
5.ベリリウム安全取扱い設備の概念検討	33
5.1 基本設計方針	33
5.2 設備構成	33
5.3 系統設計	34
5.4 機器設計	36
5.5 配置計画	39
6.モニタリング分析の現状	44
7.呼吸用保護具の現状	45
8.まとめ	47
参考文献	48
付録A ベリリウムの毒性、障害に関する資料及びデータ	51
付録B 自然環境におけるベリリウムの分布データ	87
付録C 呼吸用保護具の種類	92

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Brief Review of Beryllium Safe Handling Guidances and/or Regulations in USA, UK and Japan .....	3
3. Manuals and/or Guidances at Beryllium Handling Facilities in Scientific Research Institutes .....	6
3.1 Beryllium Handling in INEL .....	6
3.2 Beryllium Handling in LANL .....	12
3.3 Beryllium Handling in JET .....	18
4. Safe Handling Procedures for Fusion Technology R&D .....	27
4.1 Framework of Japanese Regurations for Hazardous Chemical Substance .....	27
4.2 Confinement, Zoning and Ventillation for Beryllium Handling .....	27
4.3 Procedures for Cleaning, Monitoring and Waste Processing .....	28
4.4 Health and Safe Control for Protection of Workers and Environment .....	31
5. Conceptual Design of Beryllium Safe Handling Facility for Fusion Blanket Research .....	33
5.1 Basic Design Conditions .....	33
5.2 Facility Layout .....	33
5.3 Ventillation System .....	34
5.4 Components Design .....	36
5.5 Components Layout .....	39
6. Current Technology of Beryllium Monitoring .....	44
7. Current Technology of Personel Protection Tools .....	45
8. Conclusion .....	47
References .....	48
Appendix A Toxicity of Beryllium .....	51
Appendix B Environmental Occurrence of Beryllium .....	87
Appendix C Japanese Personel Protection Tools for Hazardous Chemical Substance .....	92

## 1. はじめに

ベリリウム金属及びベリリウム合金は、比重が小さい、機械的強度が高い、空気中での耐食性が高い等の理由から、前者は宇宙・航空・光学機器へ、後者は電気・電子機器への適用が増加しつつある材料である。しかしながら、ベリリウムは取扱い条件によっては環境汚染や健康障害を引起す可能性があることから、その適用分野は比較的限られている。

ベリリウムの毒性は、金属の蒸気、粉塵（固体）及びヒューム（固体）、並びに化合物（ハロゲン化物、水酸化物、酸化物等）の蒸気、水溶液のミスト（液体）等の人の呼吸摂取や皮膚接觸が起こりやすい形態において特に危険性が高いことが分かっている<sup>(1)～(5)</sup>。一方、部品や構造体としての金属、合金及びセラミックスは人体にまったく無害であり、これまでも試験研究用の原子炉における中性子反射体としてBeブロックが使用されており、さらに上記のような種々の利用分野が広がりつつある。

ベリリウムの取扱いについては、現在各国がそれぞれ一定の基準を設けて安全管理の方法を規定しているが、日本では1971年に特定化学物質障害等予防規則を制定しベリリウムを特定化学物質第一類に指定するとともに特別管理物質（発ガン性等の遅発性健康障害の恐れのある物）の一つに指定している。この規則は、ベリリウムについてはベリリウム及びその化合物、またはそれらをその重量の1%を越えて含有する物（合金の場合は、ベリリウムをその3%を越えて含有する物）の製造（精練、冶金、加工等ベリリウムの粉塵、ヒューム、ミストが発生しやすい事業）または取り扱う事業場を対象とするものであり、試験研究の場合を適用外としている。しかし、試験研究の場合であってもベリリウムの取扱い条件によっては、格納、換気、除染、個人防護具、健康診断等による研究従事者の安全確保と環境保全に努める必要があると思われる。

筆者らは、先に海外及び国内のベリリウム取扱いの現状を調査する目的で、米国のブラッシュ・ウェルマン社のエルモア工場（欧米の唯一のベリリウム生産企業）、ロスアラ莫斯及びアイダホ国立研究所のベリリウム研究施設（いずれも軍事研究施設のため施設に立入ることはできなかった）、ドイツのヘラウス社（ベリリウム加工会社であり、JETのベリリウムタイルの仕上加工を担当）及びJETのベリリウム取扱い施設を訪問した。また、国内については、唯一のベリリウムの精練、加工企業である日本ガイシ社の工場、研究開発施設及び安全設備を見学した。

本報告書は、これらの訪問、見学を通じて入手した資料の内、代表的な研究所で実施しているベリリウムの安全取扱い管理マニアルを中心にまとめたものである。また、筆者らが参画した日本原子力学会のベリリウム技術研究特別専門委員会（1989年4月～1992年3月、主査；岡本真実、東京工業大学）、その他において入手したベリリウムの有害性、健康障害、自然環境中の分布に関するデータのうち信頼性のある資料を付録に収録した。特に、健康障害については、わが国の医学者が発表したベリリウム障害の約30年にわたる臨床研究に関する医学論文<sup>(5)</sup>（世界的にも唯一の研究とされる）を、正確を期すためそのまま添付した。

なお、ベリリウム障害は、その有害性が良く理解されていなかった1940年～1950年代の米国におけるベリリウム精練、ベリリウム蛍光灯生産の2業種、及びベリリウム取り扱った原子関

連，セラミック，電極，合金，機械工業等の広い業種において多発している<sup>(4)</sup>，<sup>(5)</sup>。国内では，1960年代のベリリヤ磁器の冶金・製造現場における慢性的ベリリウム障害の発生例が主なものといわれる<sup>(5)</sup>。しかしながら，ベリリウムの安全取扱いのための技術的対策や従事者の健康管理が十分に行われるようになった1960年代半ば以降，国内での新たなベリリウム障害例は皆無とされる<sup>(5)</sup>。

## 2. 米国、英國及び日本のベリリウム取扱いに関する基準の概要

### (1) 米国

米国では、OSHA<sup>\*1</sup>、EPA、NIOSH、AEC、ACGHI、AIHA等で種々のベリリウム取扱いの基準（standard）を設けている。このうち、英國等においても参考にされているOSHAの空気中濃度基準は、次の通りである。

- ① 1日8時間労働における日荷重平均被曝が $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （空気）を越えないこと。
- ② 1日8時間労働において、30分を越ない時間で $5\sim25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を越えないこと。

なお、EPAは次の基準を設定している。

- ① 任意の空気中濃度： $0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ② 放出量： $10\text{g}/24\text{h}$

\* 1 U.S. Occupational Safety and Health Administration Standard

### (2) 英国

英国では、従来HSE<sup>\*2</sup>、UKAEA<sup>\*3</sup>の勧告としてほぼOSHAと同様の基準が設けられていたが、1988年に有害物質の管理に関する法律及び職業被曝の上限に関する基準が新たに設けられた。これらに定められたベリリウムの空気中濃度及び表面汚染に関する許容値を、米国及び日本の許容と対比して表2.1及び表2.2に示す。表中、controlled areaはベリリウムの粉塵が存在し、呼吸可能安全レベル以下に濃度が維持されている区域であり、uncontrolled areaは防護策が不要であり、自由に出入りが可能な区域である。

\* 2 Beryllium: Health and Safety Precautions, Health and Safety Executive Guidance Note EH/13, 1987

\* 3 Safe Handling of Beryllium and its Compounds: UKAEA Health and Safety Code No.D2.1

### (3) 日本

わが国のベリリウムに関連する法律としては、労働安全衛生法、労働安全衛生法施工令（政令）、特定化学物質等障害予防規則（省令）、及び作業環境測定法がある。

このうち、特定化学物質等障害予防規則は、種々の健康障害を発生する恐れのある化学物質等の製造あるいは取り扱いに対して制定（1971年）されたものである。

ベリリウム、ベリリウムを1%以上含む化合物及びベリリウムを3%以上含む合金は、特定化学物質の第一類物質及び特定管理物質に指定されており、以下のような特別の規定が定められている。

#### (I) 法律及び政令

- ① 製造許可
- ② 表示義務
- ③ 作業主任者の選任
- ④ 作業環境測定

⑤ 健康診断

(II) 特定化学物質等障害予防規則

- ① 取扱設備設置義務
- ② 局所排気装置の要件
- ③ 局所排気装置への除塵装置設置
- ④ 立入り制限, 点検, 定期自主検査, 健康診断（雇用時を含む）, 記録保存, その他。  
なお, 空気中許容濃度は,  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (労働安全衛生法) と定められている。

表2.1 ベリリウムの空気中最大許容濃度に関する各國の基準値

		英		国		米		日		本 (J E T)	
		HSE (EH13)	M O D	O S H A							
Controlled Area	1. Average over 8 hours	2	2		2		2		2		2
	2. Short term exposure, < 30 min	25	Hot permitted	25			—		—		2
	3. Long term on ALARA principle	—	0.2	—			—		—		0.2
Uncontrolled Area	Long term	—	0.01	0.01 (EPA)	3 months average	0.01 (EPA)	—	—	—	—	0.01

HSE : the Health and Safety Executive, "Guidance Note EH13, Berillium - Health and Safety Precautions, 1978"

MOD : the Ministry of Defence

OSHA: the U.S. Occupational Safety and Health Administration Occupation Standard

安衛法 : 労働安全衛生法

表2.2 ベリリウムの表面汚染濃度上限 (英國及びJETの基準値)

		英		國		J E T	
		HSE (EH13)	M O D				
Controlled Area	100 <sup>1</sup>		500 <sup>2</sup>	100			
Buffer area	—	—	—	—	—		
Uncontrolled area	—	< 100	< 100	10	10		

Notes : 1 Not clear from the document whether 100 is for controlled or uncontrolled area

2 &lt; 500 for controlled areas normally, but &lt; 3000 with special precautions and decontamination as soon as possible and &gt; 3000 requires immediate decontamination

### 3. 代表的な研究機関のベリリウム取扱い施設における安全管理

#### 3.1 INEL のベリリウム施設における取扱いと安全管理

##### (1) 概 要

INEL では材料試験炉 MTR, ETR, ATR の反射体, 原子炉起動用中性子源等に大量の金属ベリリウムを使用しており, 材料試験を含め豊富なベリリウム取扱い経験をもつ<sup>(6)</sup>。以下に, INEL の EG & G IDAHO, INC のベリリウム取扱い規定 (安全マニアル<sup>(7)</sup> 及び産業衛生マニアル<sup>(8)</sup>) の概要を示す。規定の内容は, NIOSH の基準<sup>(9) (10)</sup> に沿ったものである。

##### (2) 安全マニュアル「ベリリウムの取扱い」の要約

###### ① 序

INEL におけるベリリウムの取扱いは, 本安全マニュアルとともにベリリウムに対する職業被曝に関する NIOSH の基準に従って定めたベリリウム取扱いマニアルを適用する。

###### ② 責任

管理者は, ベリリウムに対する職業被曝がすべて ACGIH<sup>(11)</sup> で定められた上限値以内にあり, 環境放出および廃棄物がすべて 15 節の規定に従っていることを保証する責任をもつ。

###### A. ライン管理部門の責任

管理者は以下のことを行う。

- a. “ベリリウム作業者”か“隨時ベリリウム作業者”への指定。健康医学管理部への指定リスト提出。指定変更の通知。
- b. ベリリウムに関する従業員への健康障害, 所在, 緊急措置, 安全使用のための予防措置の周知。
- c. ベリリウム取扱い作業者が, 12 カ月以内に呼吸装置の訓練と資格試験を受けていることの確認。呼吸装置訓練のスケジュール管理。安全訓練部門への訓練予約リストの提出。
- d. 所掌施設内のベリリウムおよびベリリウム含有物質の在庫の把握。
- e. ベリリウム取扱いに先立ちサイト作業解除と安全作業許可, その他の安全承認手続きの作成。
- f. 付録 A の装置, 備品の適切な支給の維持。付録 A の作業手順の遵守の徹底。
- g. 環境チェックリストの提出と環境対策グループによる承認の確認。
- h. 必要に応じ, 適切な区域と個人のモニタリング。被曝データの 30 年間の保存。
- i. 定期的に on - the - job 点検を実施し, ベリリウムが安全かつ健康的に取り扱われていることを確認。

###### B. 健康医学部門の責任

健康医学管理部門は, NIOSH 基準の定める“ベリリウム作業者”的医学監視, および検診医の伴断による“隨時作業者”的医学監視を行なう。

### C. 人事部の安全訓練部門

人事部門は以下のことを行う。

- a. 管理者の要求により、ベリリウム取扱い訓練において管理者を援助。
- b. 年1回ベースでの呼吸具訓練と資格試験の実施。安全訓練部門は、資格試験の日時、場所を示す訓練予約リストを要求者に返送。

#### ③ 定義

##### a ベリリウム作業者

ベリリウムを定常的（毎日、毎週、等）に取り扱う従業員。

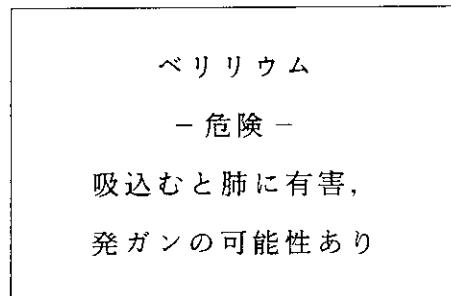
##### b 隨時ベリリウム作業者

ベリリウムを隨時（年一回、不定期、等）に取り扱う従業員。

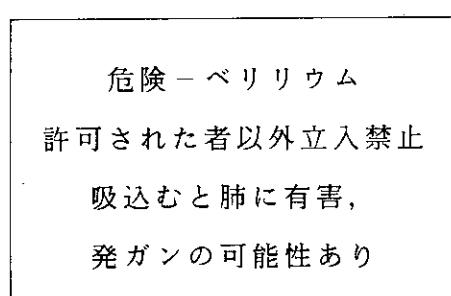
### 付録A：ベリリウム作業に必要な装具および基本的作業手順

#### A. 装具備品リスト

- a. HEPA フィルター付き呼吸具
- b. ポリ袋／プラスチック
- c. Nonrad HEPA vacuum (真空掃除機)
- d. Negative air mover with HEPA filters
- e. PVA バッグ (ポリビニルアルコール)
- f. ドラム缶, DOT 認定品
- g. メタル-X 消火器
- h. ラベル (右図)



#### i. 標識 (右図)



- j. フード付き Tyvek オーバーオール
- k. 靴カバー
- l. 手袋
- m. 安全ロープ

n. ダクトテープ

B. 作業手順

B - 1 作業場所の準備

- a. 区域をロープで囲い標識を貼る。
- b. 床と壁をプラスチックで覆う（放射性物質取扱い区域IIIと同様）。
- c. 作業者出口に stepoff pad（靴拭きパッド）を据え付ける。

B - 2 個人防護具

- a. Don Tyvek カバーオール、手袋、靴カバー、呼吸具
- b. 必要により個人用空気サンプラー
- c. 公認の区域安全責任者の指示により区域の空気サンプリングを行う。

B - 3 工 程

機械加工／粉碎研磨／切断の作業では必要により次の措置をとる（ケースバイケースで判断）。

- a. 水中（湿式）加工
- b. 換気された囲い内
- c. 霧吹きと局所排気

B - 4 作業区域の清掃

- a. 乾いた掃き掃除は禁止。
- b. ゴミ集めと区域掃除には HEPA 付き真空掃除機を使う。
- c. ゴミはポリ袋／ドラム缶に入れる。
- d. ゴミ袋にはラベルを貼る。
- e. stepoff pad を渡る前に個人防護装具を全て取る。
- f. 呼吸員のカートリッジはゴミ袋の中に、顔面マスクはPVA袋の中に入れラベルを貼る。
- g. 洗濯する衣類はPVA袋（呼吸員とは別に）に入れ、ラベルを貼る。

B - 5 作業の完了

- a. 全ての装具を除染（湿った布、HEPA 真空掃除機、等を使用）。
- b. プラスチックの覆いを撤去。
- c. 表面スミヤで区域の清浄を確認。合格基準 = 100ng / 100cm<sup>3</sup>。
- d. 洗濯物／呼吸器具をCF-617に送付。

B - 6 ベリリウム廃棄物の処分は15節に従うこと

(3) 産業衛生マニュアル「ベリリウム」の要約

① 序

- a. ベリリウム被曝管理に関する以下の基準は、NIOSH の基準<sup>(9), (10)</sup>に基づくものである。
- b. このマニュアルは、被曝上限、被曝モニタリング、技術上および作業実務上の管理、個人防護具、危険性告知、医学的監視及び被曝記録の保管について、守るべき規定を示す。
- c. OSHA<sup>(12)</sup> は、許容被曝レベル以外にはベリリウムに特有の規準を設けていない。

② 被曝上限の基準

空気中に浮遊するベリリウム粉塵に対する被曝濃度は以下の通りとする。

- 1労働日（8時間）毎の平均が、全雇用期間で  $2 \mu g/m^3$  以下。
- 30分サンプリングのピーク濃度が、  $25 \mu g/m^3$  以下。

③ 被曝モニタリングの基準

- NIOSH基準か同等の方法によるサンプリング、校正、分析。
- 作業工程毎の呼吸ゾーンサンプルを、少なくも3ヵ月毎に収集。  
ただし、サンプリング頻度は工程と放出量による。
- 収集と評価は、時間荷重平均値とピーク濃度値の両方について行う。
- 区域の平均またはピーク濃度が基準値を越える場合は30日毎とする。  
ただし、30日サンプリングの結果が2回続けて基準値を満足するまで。
- 定期モニタリング結果の通知、モニタリング記録の保存。
- 使用した個人防護具の記録。
- 大量の飛散が起こった場合、速やかに空気中濃度の注意深いモニタリングを開始すること。また、呼吸器具を使用した汚染区域への立入り制限及び呼吸器具なしの作業の再開の安全時期を決定すること。

④ 技術上および作業実務上の管理

- 適切な換気法を採用し、空気中ベリリウム粉塵の被曝を低減する方法を確立すること。局所排気と集塵は、ベリリウム粉塵の蓄積を防ぐように設計し維持すること。
- 溶接または切断作業では、屋内、屋外、格納内の別なく局所排気とエアライン呼吸具を使用すること。ただし、最悪条件での試験で、作業者被曝が許容値内であることが確立している場合を除く。  
何れの場合にも、溶接または切断作業の近傍の作業者は必要に応じて局所排気かエアライン呼吸具で防護されていること。

⑤ 個人防護具の基準

- 8時間平均濃度が基準値を越える場合、呼吸防護具を使用。ただし、呼吸防護具を技術的措置の代替に使用してはならない。非常、保守、修理時のみ。
- 以下の項目を含む呼吸具使用の標準手順を確立すること。
  - 不適切な呼吸具選定や顔面不適合による基準を越える被曝を避ける。
  - 顔面ピースの密着性は着用者が着用時毎に点検する。
  - 想定される濃度に適合するクラスの呼吸具を使用する。
- 呼吸具の選定基準は以下による。
  - 再使用可能なHEPA付き半面マスク： $25 \mu g/m^3$  以下の霧囲気
  - 再使用可能なHEPA付き全面マスク： $100 \mu g/m^3$  以下の霧囲気
  - 正圧吸入操作のHEPA付き強制呼吸具： $100 \mu g/m^3$  以下の霧囲気  
ただし、HEPAのかわりに“フュームフィルタ”なら  $40 \mu g/m^3$  以下
  - 連続フローのエアライン呼吸具またはプレッシャーデマンドモードで操作される吸入時正圧の自立式呼吸ユニット： $1000 \mu g/m^3$  以上

D. エア供給式の全面マスクを非常時用に使用可能にしておくこと。

a. 使用後および少なくも1ヶ月毎に点検すること。

b. 使用した場合、エアと酸素のボンベを充填しておくこと。

E. 呼吸具は所定の認定品を使用すること。

F. 保護衣、帽子（ヘッドギヤ）、靴の支給。

a. 保護衣はカヴァーオールまたは同様の全身保護衣。

b. ベリリウム区域での靴の保護カバーまたは作業靴の着用。

c. 樹脂含浸紙製または類似の保護衣を布製のかわりに使用することは可。

d. 保護衣は作業終了時毎に少なくとも1日毎にかえること。

G. 保護衣の維持、洗濯、処理に関する規定。

a. 衣類を吹いたり振ったりして除塵してはならない。脱ぐ前に真空吸塵。汚染衣類の脱衣は更衣室でのみ可。

⑥ 衛生および緊急措置の基準

A. 通常の清掃で乾式の掃き掃除の禁止。

B. 廃棄物と屑は袋または容器に入れ密閉。屑は再利用するか、連邦・州の法規に従って処分。

C. ベリリウム作業区域での飲食の禁止。

D. ベリリウム濃度が問題にならない区域を除き、洗面所と更衣施設を設ける。

a. 区域内作業衣と区域外着衣に別々のロッカー。

b. 作業後、外着を着る前にシャワーを使用すること。

c. ロッカー・シャワー施設は、シャワーが清浄区域と汚染区域の境界となるように配置する。

d. 靴箱と衣類カゴの場所の汚染ダスト管理のため適切な規定を設ける。

e. 手洗いとトイレは使用後に汚染区域を通らないで済むように配置する。

E. 緊急時の措置を確立すること。ベリリウム汚染物の大量放出を含む予測される事故に対処できるものであること。

a. 大きなベリリウム汚染事故の可能性がある場所には、警報、シャワー（drench-type shower）、洗浄設備を設置する。従業員が即座に直接近づけること。

b. 避難に現場を長距離横切る必要がある場合、呼吸具を利用できること。

装置や作業を放棄できない場所では、全面マスクかエア供給式呼吸具を利用できること。

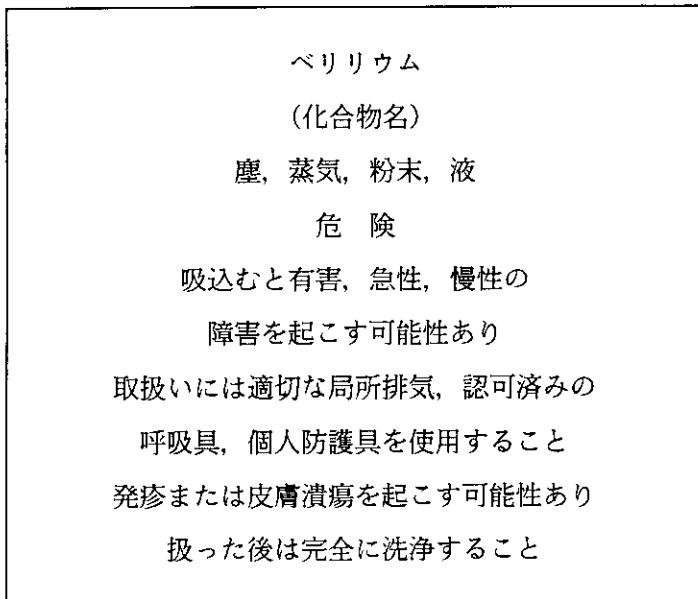
F. 空気濃度の低下後、直ちに完全な管理・監督下で除染作業を始める。

G. 緊急措置中に組込むべき消火手順を明らかにすること。

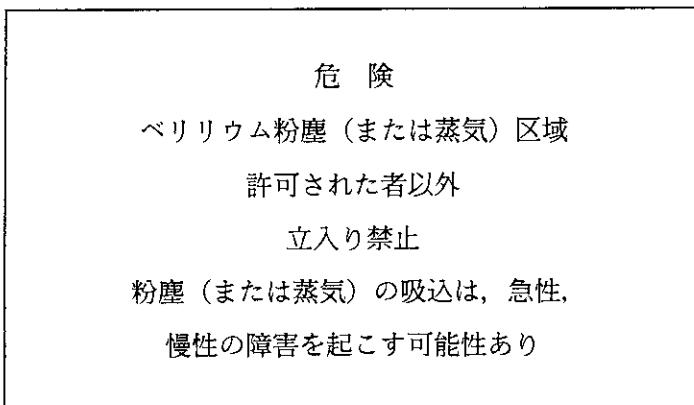
ベリリウムの消火剤として、砂、ソーダ灰、市販の金属火災用消火粉末を用意する。水、炭酸ガスは使ってはならない。

⑦ 危険性告知の基準

A. 輸送容器、貯蔵容器、包装物には、以下の予防ラベルを貼る。



B. 加工等の装置、貯蔵ビン・タンク、管理区域内とその入口の良く見える場所に以下の警告標識を貼る。



C. 管理区域への入域は、その必要がある者のみに許可する。全ての入域者は、その区域の常時指定入域者（ベリリウム作業者）と同じ保護衣を着用する。

D. 作業者に対する教育プログラムを実施すること。内容には、保守手順、除染方法、呼吸防護具と保護衣類の使用法を含むこと。

E. ベリリウムに曝される各従業員に、全ての危険性、過度な被曝の症状、適切な緊急措置、安全取扱いまたは最小被曝の条件と予防措置について知らせること。

a. NIOSH規準の付録Ⅲの情報は、作業者が曝される特定のベリリウム含有製品および物質に適用できる。

b. その情報をファイルに保管し、工程、作業にベリリウムが含まれる全ての職場で作業者が容易に閲覧できること。

#### ⑧ 医学的監視の基準

A. ベリリウムに曝される作業者に対し、以下の医学監視が必要である。

B. 作業候補者に対し、総合的な配置前病歴調査と健康診断を行うこと。診断には、14x17in.

以上の胸部X線写真、基礎肺機能〔強制肺活量(FVC)、1秒間の強制呼気容積(FEV1.0)〕および基礎体重を含むこと。

C 作業者は年1回の定期検診を受けること。極微の被曝に準拠した変化は許される。

a. 定期検診の項目：

1. 肺活量(FVC, FEV1.0)
2. 呼吸器症状の存在と程度についての問診表  
(息切れ、咳、痰、ゼイゼイいう音)
3. 胸部X線写真

⑨ 記録の保管と閲覧

A 検診記録は少なくも雇用期間+30年保管する。

B 環境モニタリング、検診の各記録は、従業員および指定代理人の要求により閲覧、コピー等ができること。

### 3.2 LANL のベリリウム施設における取扱いと安全管理

#### (1) 概要

LANLでは、軍事、宇宙用を中心とするベリリウムおよびベリリウム合金材料の研究開発、加工・接合技術の開発、材料評価を行っている。また、レーザー誘起ブレークダウン分光法によるベリリウムのリアルタイムモニタも開発している。LANLのベリリウム研究施設の取扱い規定の概要を以下に示す。

#### (2) 「標準作業規定—ベリリウム区域建屋141」<sup>(13)</sup> の要約

この標準作業規定は、ベリリウム実験室区域TA-3, SM141建屋の139, 141、および136-A号室で行なわれる作業を対象として作成されている。この文書中、ベリリウムと言う用語は、金属ベリリウム、酸化ベリリウム、ベリリウム合金およびベリリウム化合物を含むものとする。

##### (I) 使用装置と作業の説明

###### ① アーク融解装置

- ・ベリリウム合金製造用の2台のアーク融解装置
- ・アルゴン雰囲気中で融解
- ・小型融解装置：グローブボックスに収納
- ・大型融解装置：開口部周囲に特殊排気付囲いを設置

###### ② 融解スピナー

- ・急速固化ベリリウムリボンの製造用
- ・特別の排気装置に格納

###### ③ LECO鋸

- ・ベリリウム試料片の切出し用ダイアモンド丸歯鋸
- ・グローブボックスに収納

- ④ 金相試料の研磨 (grinding)
  - ・ フュームフード内で行なう。
  - ・ 使用中のグラインダー砥石は、常に水流にさらす。
  - ・ 研磨された試料の仕上げ研磨 (polish) は、SM - 66 の金相実験室に移して行なう。
- ⑤ スプラット・クエンチング (Splat Quenching) 装置
  - ・ 急速固化あるいは“スプラット”ベリリウム試料の製造用
  - ・ ハンマーを融解ボタンに打ち下ろしてスプラットを形成する。
- ⑥ 粉碎用ブレンダー
  - ・ 粉末製造のためにベリリウムを粉碎する専用装置
  - ・ グローブボックスに収納
- ⑦ 試料の封入
  - ・ ベリリウム試料を熱処理するために石英管に封入する。
  - ・ アルゴンやヘリウムのような不活性雰囲気中で行なう。
- ⑧ 热処理炉とリンドバーグ炉
- ⑨ 粉末加工作業
  - ・ 押し出し型によるコールドプレス
- ⑩ 結晶成長装置
  - ・ ベリリウム単結晶の成長用

## (I) 使用装置と作業の説明

- ① アーク融解装置
  - ・ ベリリウム合金製造用の2台のアーク融解装置

## (II) 潜在的危険要因

## ① 空気中微粒子の吸入

ベリリウムに伴われる危険は、主として空気中に浮遊する微粒子物質の吸入の結果生じる。ベリリウムに敏感な人は、わずかな被曝（現時点でははっきりと定義されていない）でさえ肺組織の進行性の劣化を引き起こすことがあり、時にはそれが被曝後長期間続く。この状態は“慢性ベリリウム障害”と呼ばれる。ベリリウムに敏感な、従ってこの障害にかかり易い人の全人口に占める割合は、わずかである (only small percentage) と推定されている。残念ながら、ベリリウムに敏感な人を見分けるための信頼できる検査法がまだない。そこで、被曝の機会を最小にするか排除するために、適切な予防措置を取らねばならない。OSHA<sup>(12)</sup> は、8時間平均の最大被曝濃度  $2 \mu\text{g-Be}/\text{m}^3$  と、30分平均の最大被曝濃度  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を定めているが、我々の目標は、実際的に達成可能なだけ低い (ALARA) 値に被曝を制限するやり方で作業を実施することである。

## ② 皮膚のけが

他の潜在的危険は、ベリリウム機器の取扱いで皮膚を傷つけることである。もし水溶性のベリリウム化合物が傷口に入った場合、ベリリウム微粒子を傷から切除しなければならないかもしれません。

## (III) 保護具

① 呼吸器具（マスク）

ベリリウム施設に登録されたすべての従業員は、年1回、HSE-5職員に全面マスクを合わせてもらわねばならない。すべてのベリリウム作業員は、自分の顔に合ったマスクを割り当てられる。従業員は、自分のマスクを使用する前にすべてのシールを点検し、フィルター・タッチメントの気密性を確認する責任がある。マスクの使用法は、ANSIZ88.2の規定に従わねばならない。

② 個人用呼吸ゾーンエアサンプラー

全面マスクを必要とする作業に従事する職員は、呼吸ゾーンエアサンプラーを装着しなければならない。このサンプラーは実験衣またはカバーオールの衿に装着しなければならない。

③ 衣服

a. カバーオール、実験衣

カバーオールか実験衣のどちらかを着用すること。白色で、背中に“anti-c”のラベル付き。

汚染した衣服は、“ベリリウム汚染物”の印の付いた衣類容器に捨てねばならない。

b. 安全靴

ベリリウム施設内で重量物を運搬する場合に必ず着用。

c. ゴム手袋

ベリリウム取扱いを含むすべての作業で着用。

d. ゴム衣（booties）

ミラー・アーク融解装置とメルト・スピナーのクリーニング作業中に着用。液漏れ事故の場合にも必要。

④ 安全眼鏡

マスクを必要としないすべてのベリリウム作業中必ず着用。

⑤ フュームフード

2基のフュームフードがある。毒物用の規定のラベルの付いたフードのみがベリリウム作業に使用できる。フュームフードは、年1回、HSE職員の検査を受け、ベリリウム作業に適格である事を確認しなければならない。

⑥ グローブボックス

次の作業では、ベリリウム排気系に接続されたグローブボックスを使用しなければならない。

- ベリリウム粉末の扱い、切断、リボン製造
- スプラット・クエンチング、小ボタンの融解
- ベリリウムは袋に密封して出し入れする。

⑦ 排気系

HEPA フィルターを装備し、外部環境へのベリリウム微粒子の放出を防止する。実験室の装置に付属する真空ポンプの排気もこの排気系に接続する。排気系の各所に圧力計・流量計を配し、運転状態を常時監視する。アーク融解装置とメルト・スピナー・チェンバーの開口部の周囲には特別の排気格納が使われ、これらの格納を開けたとき気体が外部に流出する事

なく完全に排気系に排出されるようになっている。

#### ⑧ 実験区域エアサンプラー

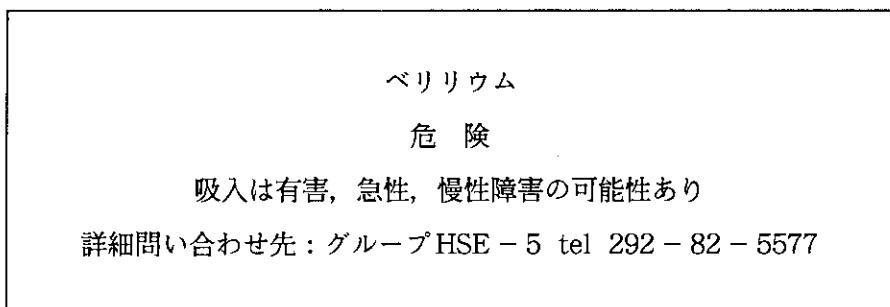
実験区域エアサンプラーは、常時ベリリウム区域内に置いておかなければならぬ。本サンプラーはカートに乗せてあり、ベリリウム区域内で移動できる。

### IV) 安全作業手順

#### A. ベリリウム取扱いと一般作業手順

##### ① 標識付け

ベリリウム容器とベリリウム汚染物の処理袋にはステッカーを貼る。



##### ② 取扱いの予防措置

###### a. 手の防護

全てのベリリウム取扱い作業は、ゴム手袋を着用すること。

###### b. 呼吸防護

グローブボックス、フェームフード以外でベリリウムを取り扱う場合には、呼吸具を着用すること。

##### ③ ベリリウム区域からの持出し

区域外へ移送するベリリウムは、密封容器に入れ適切な標識をつける。

粉末の移送にガラス容器を使ってはならない。

##### ④ ベリリウム区域からの退出時の措置

作業後は、汚染着衣を始末し手洗いを励行すること。ミラーアーク融解装置、融解スピナー、各種の炉の除染作業を行った後は、全員シャワーを使うこと。

##### ⑤ 一般的予防措置

管理区域内では、飲食、喫煙は絶対にしてはならない。

#### B. 除染作業

##### ① ベリリウム汚染物質の処分

###### a. 衣類以外の汚染物の処分

「ベリリウム汚染物専用」のラベルの付いた大きなプラスチックのゴミ袋が置いてある。研磨紙、ゴム手袋、雑巾、その他の汚染物は、この袋に廃棄すること。

###### b. 汚染した衣類の処分

汚染した衣類をロッカーに入れてはならない。ロッカーは管理区域外で着る衣類専用である。汚染した衣類は、「ベリリウム汚染衣類専用」と印された衣類袋に入れる。この袋は水溶性である。この洗濯袋を移送するときは、口を閉じて、「ベリリウム汚染衣類入り水溶

性洗濯袋 - 開放禁止」のラベルを付けること。

#### ② 呼吸具の必要な作業

ミラー・アーク融解装置、各種炉および融解スピナーの除染作業に当たる職員は全て、カバーオール、ゴム長靴および全面呼吸具を着用すること。作業に使用する真空掃除機はHEPAフィルター付きか、排気系に直接つないだ物でなければならない。

#### ③ グローブボックスの必要な作業

スプラットクエンチャー、小型のアーク融解装置、ブレンダー、およびLECO鋸は、収納されているグローブボックス内で除染すること。出し入れする物は全て袋に入れること。この袋は必ず適切なフュームフードか別のグローブボックス内で開けるか、呼吸具を着けて開けること。

#### ④ その他の除染作業

研磨紙を使った時は、フードを離れる前に袋に入れること。袋には「ベリリウム汚染」と印し、正しく処分しなければならない。

### C. 緊急時の措置

#### ① 通告先

緊急時には、技術部門の管理者とHSE-5（安全管理部門）の管理者に連絡しなければならない。

#### ② 想定事故

##### a. まき散らし

まき散らし事故は、容器を落とし、粉末、リボン、または小塊状のベリリウムが開放された場合に起こる。事故が起きた場合、その区域への入域を制限する。その区域の全てのドアに入域注意の標識を貼ること。除染作業に当たる職員はカバーオールに着替え、ゴム長靴をはき、全面呼吸具を着けること。拭き取り検査で、表面が汚染が $1 \mu\text{g}/\text{ft}^2$  ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^2$ ) 以下になるまで除染する。事故処理の後、外に出る前に全員がシャワーを浴びること。

##### b. 排気系の故障

排気系の起こり得る故障は、系内の圧力低下とモーターの逆回転である。圧力低下はベリリウム区域の換気不足を生じる。圧力低下はモニターされており、警告灯とベルで警報が出る。従って、警報系が故障していない限り、全てのベリリウム作業は中止される。モーター逆回転が起こると、作業室内にベリリウムが吹き出す恐れがある。このような起こりうる事故の場合には、排気系を直ちに停止し、区域内の全職員を避難させ、区域の管理者に連絡しなければならない。

#### D. 検査点検

##### ① 月次拭取り検査

ベリリウム区域の清浄度をモニタするため、1ヵ月に1回拭取り検査（スミヤ）実施する。計測された面積をロ紙で拭ってサンプルを取り、エアサンプルと同じ方法で分析する。表面汚染は如何なる場所でも  $1 \mu\text{g}/\text{ft}^2$  ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^2$ ) を越えてはならない。このレベルを越えた場合は全ての作業を中止し、レベル以下に下がるまで除染しなければならない。拭取り検査の記録は、ベリリウム施設のファイルに保存される。

##### ② 呼吸具の分析

呼吸具を使用した場合は30日以内に、熱遮蔽バックに入れて置いた場合は3ヵ月以内に、HSE-5に戻して交換すること。この時、呼吸具のシールを点検する。

##### ③ 個人呼吸エアサンプラーの分析

ベリリウム区域に作業登録している全従業員に少なくも年1度は個人呼吸ゾーンサンプリングを実施すること。8時間の平均被曝が  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を越えた場合には、3ヵ月毎にこのモニタリングを行うこと。

##### ④ ベリリウム作業者の定期健康診断

ベリリウム作業に従事する全従業員に対し、年1回の定期健康診断を実施すること。この診断は、肺機能検査、胸部X線、呼吸器症状の存在と程度についての問診を含む。

##### ⑤ 実験区域エアサンプラーの分析

ベリリウム区域のエアサンプリングは1ヵ月に1回実施する。定期モニタリングで8時間平均濃度が  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を越えた場合には、週1回実施すること。

##### ⑥ フュームフードと排気系の点検

年1回点検し、ベリリウム作業に使用して安全なことを確認すること。

### 3.3 JETにおけるベリリウムの取扱いと安全管理

#### (1) 概 要

JETでは、1989年の始めからプラズマ対向面にベリリウムを導入して実験を進めている<sup>(14) ~ (16)</sup>。ベリリウム蒸着による初期実験のうち、2回に分けて対向面全体をベリリウムタイルに置き換えた。現在、約3トンのベリリウムが真空容器内に装着されている。2回目の停止期間には、トーラスの一部（オクタント）を撤去してTFコイルの1つを交換した。トーラス内には高レベルのベリリウム粉塵が存在するため、これらの作業は厳重な防護措置と安全基準のもとに実施された。

JETでのベリリウム取扱い作業は、ベリリウム粉塵に高度に汚染されたトーラス内に人が立ち入って作業を行う特殊なものであるがJETの取扱いの基準および方法には参考になる点が多いので、以下に要点をまとめる。

#### (2) ベリリウムに対する安全基準

##### (a) 法律・基準・規定

英国にはこれまでベリリウムを特定して規制する法律はなく、有害粉塵としての一般条項<sup>(17), (18)</sup>及びベリリウムに関するHSEやUKAEAの勧告<sup>(19) ~ (21)</sup>等が適用されてきた。最近、有害物質の管理に関する規則<sup>(22)</sup>が制定され、ベリリウムを特定した規定が設けられたようである。JETでは、これらの法規や基準にもとづいて詳細なベリリウム取扱い規定を設けている<sup>(23), (24)</sup>

##### (b) 被曝上限値

職業被曝に対する上限値（OEL）の基準は、空气中濃度と表面濃度について以下の値が使用されている。

空气中濃度 :  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$

表面上濃度 :  $100 \mu\text{g}/\text{m}^2$

米国の場合と異なり上記の濃度を越える短期被曝は認めていない。

##### (c) ベリリウム管理区域（BeCA）・呼吸防護ゾーン（RPZ）

JETのベリリウム作業は、トーラスや付属装置の保守作業が中心であり、作業毎に管理区域や呼吸防護具使用ゾーンの設定・解除が必要である。そこで以下のようない基準を設けている。

	B e C A		R P Z
	設 定	解 除	
空気中	$> 0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$> 0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$> 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
表 面	$> 10 \mu\text{g}/\text{m}^2$		

しかし、一般的には、汚染の危険が上記の基準より低い場合でもすべてのベリリウム作業に管理区域を設定することにしている。

## (d) ベリリウム作業者

ベリリウム作業に従事する全職員はベリリウム作業者として登録され、医学監視、教育訓練をうける。

## (3) JET 装置の保守作業

## (a) 容器内作業

## (i) TAC

真空容器内へのアクセスにはトーラスアクセスキャビン (TAC) が使われる (図3.1)。

TAC は次のような設備を備えている。

- ・ HEPA フィルタ付き換気設備
- ・ 水洗浄装置
- ・ 加圧服用エア供給装置
- ・ 加圧服内通話装置
- ・ 廃棄物移送装置
- ・ 管理区域バリア

室内へのベリリウム漏洩を防ぐため、TAC トーラスの接続は図3.2 のような方法で行う。

## (ii) TAC 換気設備

独立な 2 系統の換気設備をもち、真空容器と TAC 内作業エリア (容器と直結する) を停止期間中連続して換気する。

## ① 系統 1

- ・  $200 \text{ m}^3$  の真空容器を 10 回 / hr で換気  
⇒ 容器開口部の流入風速  $> 1 \text{ m/s}$   
オクタントの撤去時はこの条件で運転
- ・ 容器に開口部がない場合：容器内を 200Pa の負圧に維持

## ② 系統 2

- ・ TAC 内の作業エリア以外の換気

## (iii) 物の出し入れ

## ① 小物

シールされたプラスチック袋に入れて、TAC の移送ポートから出し入れする。

## ② 大物 (アンテナスクリーン等)

改良型 ISO 容器に入れ、オクタント 5 から多関節ブームを使って移送する。

## (iv) 作業者

大部分の作業で加圧服 (PVC 製フルエアースーツ) を着用 (図3.3)

## (v) TAC の付帯設備

作業エリアと他のエリアの間のドアはエアロックとなっている。作業エリアから出る作業者は、エアロック室内のシャワーでスーツを洗浄する。

## (b) トーラス容器外作業

## (i) 診断系の保守

付属装置の保守では、グローブポートの付いたPVC製のフレキシブル格納（アイソレータ）が使用される。アイソレータはHEPA付きの真空クリーナーで排気する。JETでは、各種の形状のアイソレータを製作用にするための高周波溶接機を備えた工作室を備えている。

## (ii) サポート作業

以下のようなサポート作業が計画されている。

- ・ タイルなどのベリリウム部品の準備・調製
- ・ 工具・装置の除染
- ・ 廃棄物処理

これらの作業は、アッセンブリホール内に建てられた専用のBeCA内で行われる。

## (4) 作業者防護

## (a) トーラス容器内作業

一体型の加圧スーツを使用する（図3.3）。

- ・ 通話ラインと同軸の25mのエアホース1本
- ・ エアは4つのフィルタを通じてスーツから排出
- ・ スーツの着脱には補助者が必要
- ・ 普通のスーツ材料はPVC。一部ポリエチスーツも使用

加圧スーツを着用するのはTACの作業ボックスと真空容器内のみ。

## (b) その他の管理区域内作業

使い捨てのカバーオールとオーバーシューズが、代替の防護具として真空容器内および他の管理区域内で条件に応じて使用される。呼吸具と組み合わせて使用する。

呼吸具は、作業の形態、ベリリウム濃度により次のどれかを使い分ける。

- ・ 換気（エア供給）型ブラウス（ヘルメット付き）（図3.3）
- ・ 換気（エア供給）型ヘルメット
- ・ 口鼻部呼吸具と高効率呼吸具

呼吸具の防護ファクタ（ベリリウムの減少率）は、次の通りである。

- ・ 口鼻部呼吸具 : 10
- ・ 換気型ヘルメット : 10
- ・ 高効率呼吸具 : 100
- ・ 換気型ブラウス : 500
- ・ フルスーツ : > 2000

## (c) 汚染レベルモニタリング

## (i) 管理区域の定期モニタリング

定置サンプラ（40 l/min）と表面スミヤによる。

## (ii) 管理区域内の作業者モニタリング

各作業者が個人エアサンプラ（2 l/min）を着用する。

このほかに、ポータブルサンプラー ( $10 \text{ l/min}$ ,  $4 \text{ l/min}$ ) も使用。

#### (h) 分析

保健物理部で原子吸光法で測定する。LANL で開発したレーザー法<sup>(25)</sup>によるスミアサンプル分析及び空気中濃度のリアルタイム分析にあまり使われていないようである。これは、レーザー法は、粉塵の粒径に依存するため正確な平均濃度が測定できないことによるものと思われる。

#### (i) トーラス内濃度

- ・停止直後 : 約  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ・洗浄後 :  $< 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ・研磨中の短期間 :  $> 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$

### (5) サポート施設と廃棄物処理

#### (a) ベリリウム取扱い施設

ベリリウム作業用管理区域でアセンブリホール内に設置されている。作業エリアは床面積  $72 \text{ m}^2$ 、高さ 8m の大型施設、(鉄枠とアルミ板壁で構成) である。図 3.4 に配置図を示す。主な設備は次の通りである。

- ・出入り口と更衣エリア
- ・物品搬入出用エアロック
- ・HEPA フィルタ付きの排気設備
- ・電力、給水、フィルタ付き排水設備
- ・フュームフード
- ・超音波洗浄バス
- ・作業台

この施設での作業には次のような作業がある。

- ・R/F アンテナとベルトリミタ用のタイル調製
- ・汚染機器の保守
- ・機器の除染
- ・スーツ、呼吸具の洗浄

ベリリウム汚染機器の除染には次の工程が有効である。

##### ① 真空吸塵

##### ② 湿式洗浄

- ・作業前に周囲を水で湿らせた布で囲む。
- ・必要に応じてアルカリ溶液洗浄を行う。
- ・ひどい汚染物は水中で洗浄し、さらに超音波洗浄する。
- ・高温で付着したベリリウムの効果的な洗浄は、以下の方法による。
  - ① 過マンガン酸カリのアルカリ溶液で洗浄し、水洗い
  - ② クエン酸アンモニウムの酸性で洗浄
  - ③ 10% 硝酸溶液で洗浄

④ アンモニア水で中和

- ・ なお、湿式洗浄法の欠点は洗浄液の処理がさらに必要となることである。

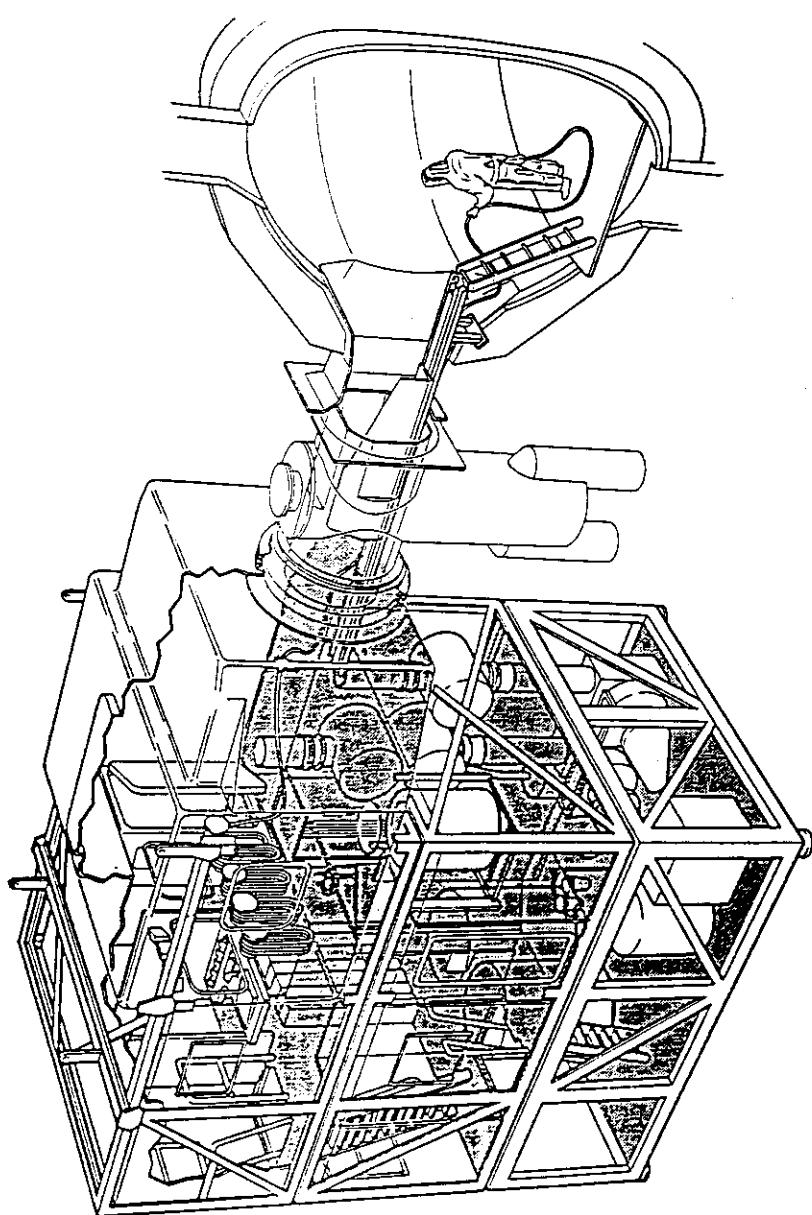
(b) 廃棄物処理

(i) 固体廃棄物 \* 1

- ・ 二重に袋づめし、ラベルを貼布し、20 ℥ ドラムカンに収納する。
- ・ 処分は認可廃棄物処理業者を通じて、埋立サイトへ輸送する。
- ・ 廃棄物の大部分は清掃作業からである手袋、使い捨て着衣、プラスチック包装材

(ii) 液体廃棄物 \* 1

- ・ 主に停止期間中のスーツシャワーからの洗浄水
  - ・ トレースレベルのベリリウムを含む排水 ⇒ 注意深くモニタしてテムズ川に流す
- 著者注 \* 1 : 日本の法令では、ベリリウム廃棄物の処理・処分に関する基準は定められていないが、ベリリウムを含む廃液を環境に放出することは困難と考えられる。



JET TORUS ACCESS CABIN

図 3.1 JET ラクセスキャビン (TAC)

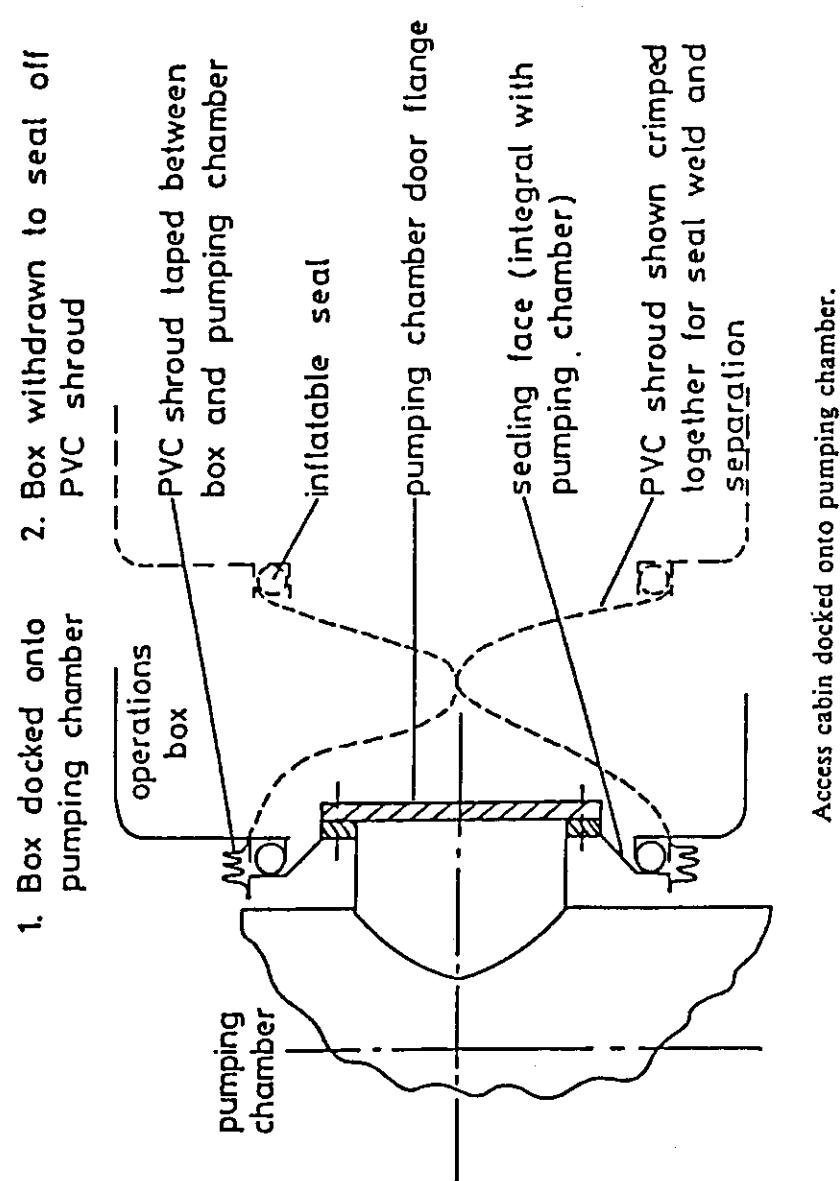
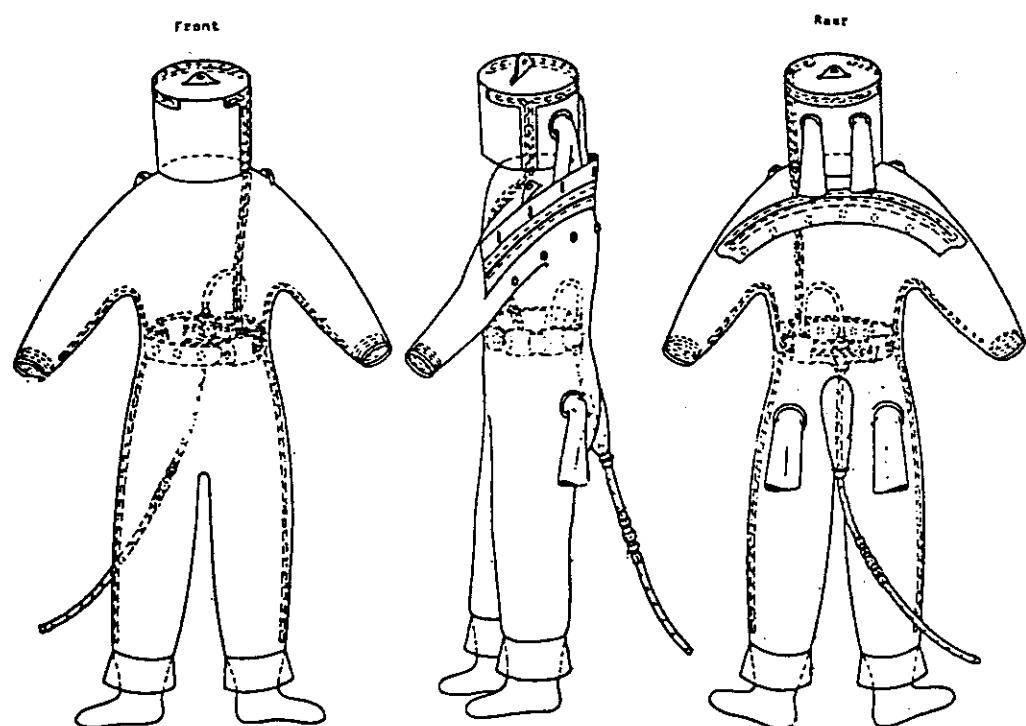


図 3.2 TAC と トーラス開口部の接続方法



Typical full air suit.



Typical air-blouse. Can use airline  
in place of filter/power unit shown.

図 3.3 個人装着型の防護具

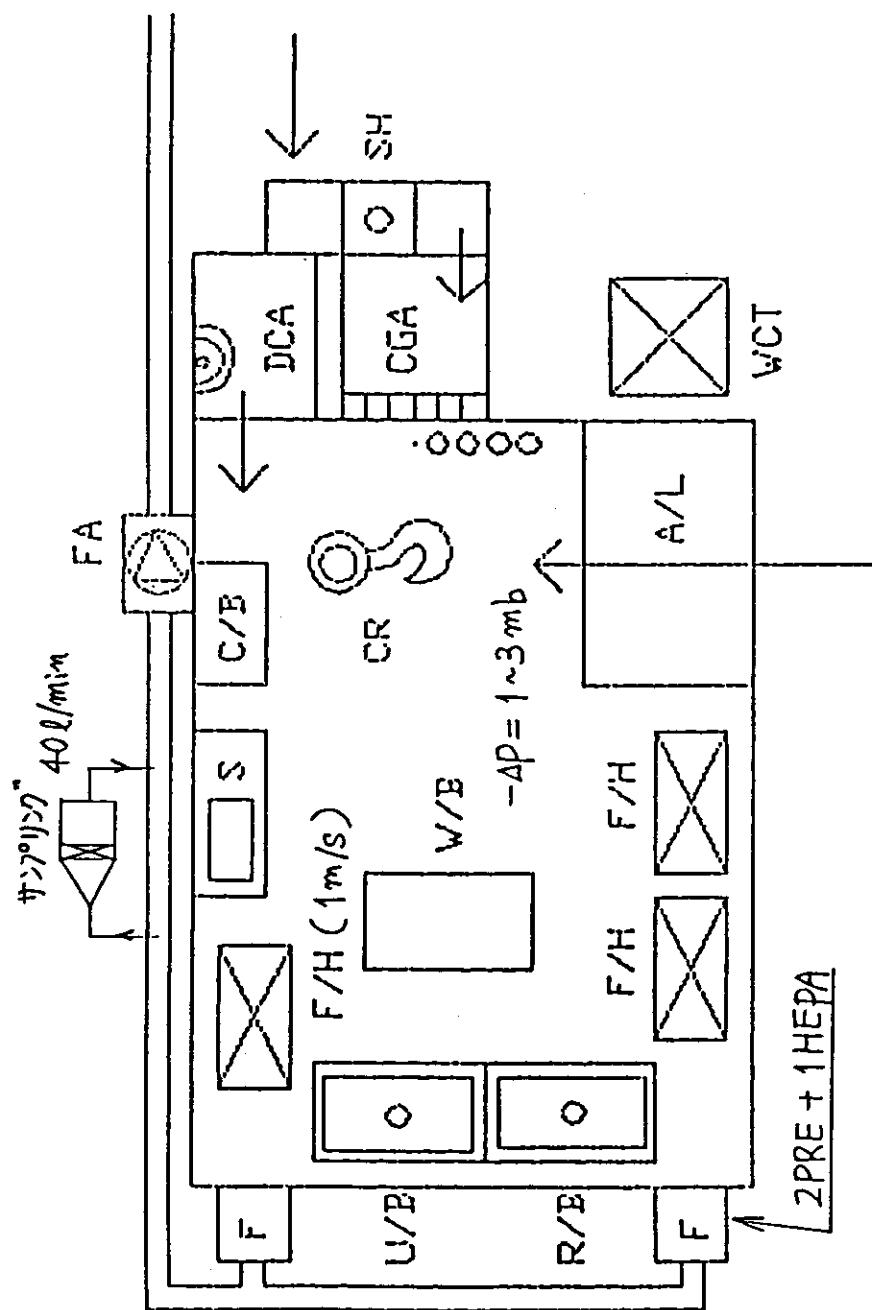


図 3.4 JFT 除染作業施設

## 4. 今後のベリリウム試験研究における安全確保の考え方

### 4.1 特定化学物質等障害予防規則の概要

ベリリウム及びその化合物による健康障害は、特に空気中に浮遊する粉塵の吸入による急性・慢性の呼吸器障害が問題とされている。また、水溶性ベリリウム塩との接触による皮膚炎やベリリウム化合物の傷口への侵入による皮膚潰瘍等にも注意が必要と言われている。試験研究におけるベリリウムの取り扱いにおいても、これらの健康障害を引き起こす潜在的危険要因があり得るので、従事者の安全確保及び周辺環境の保全に努める必要がある。

特定化学物質等障害予防規則は、化学物質等による中毒、職場内外における各種疾病の発生及び環境汚染を予防する目的で制定されたもので、ベリリウムの安全取扱いに関する技術上及び管理上の指針が具体的に規定されている。図4.1は、同規則の内容をブロックフロー化して示したものである。管理、設備、環境測定、保護具、健康診断、届け出、作業主任者等の主要規定のアウトラインが把握できよう。ベリリウムの取扱いに当たっては、これらの諸規定を十分に考慮するとともに欧米研究機関のベリリウム施設の安全管理の経験や基準を理解する事も重要であろう。

以下に、今後のベリリウム研究における安全に資する事を目的として、労働安全衛生法及び特定化学物質等障害予防規則における技術上及び管理上の安全確保の考え方をまとめておく<sup>(26)</sup>。

### 4.2 ベリリウムの格納、ゾーニング及び換気の考え方

「労働安全衛生法」及び「特定化学物質等障害予防規則」より、ベリリウム安全取扱い設備の格納・ゾーニング・換気の考え方を摘出し、今後のベリリウム研究施設の設計に資する。

① ベリリウムの出し入れ作業、反応槽への投入作業においては、ベリリウムのガス、蒸気若しくは粉塵の発散源を密閉する設備又は囲い式フードの局所排気装置を設けること。また、加工作業の場合は粉塵の発散源を密閉する設備又は局所排気装置を設けること（格納、換気）

② 局所排気装置の要件

- a. フードは発散源ごとに設けること。（格納）
- b. ダクトはできるだけ短く、ペントの数はできるだけ少なく、且つ掃除しやすい構造であること。（換気）
- c. 除塵装置を付設する排気装置のファンは、除塵装置の後につけること。（換気）
- d. 排出口は屋外に設けること（換気）
- e. 装置の性能は、フードの外側で  $0.002\text{mg}/\text{m}^3$  を超えないこと。（格納、換気）
- f. 当該作業の行われている間は稼働させなければならない。（換気）

③ 局所排気装置の除塵方式は下の表の通り。（換気）

粉塵の粒径 ( $\mu\text{m}$ )	除塵方式
5未満	濾過または電気除塵
5以上20未満	スクラバ, 濾過または電気除塵
20以上	マルチサイクロン, スクラバ, 濾過または電気除塵

必要に応じ前置除塵装置を設置し、また除塵装置を有効に稼働させること。

- ④ ベリリウムに汚染されたぼろ、紙屑等については、蓋又は栓をした不浸透性の容器に納めておく等の処置をする。(格納)
- ⑤ 屋内作業場の床は不浸透性の材料で造る。(格納)
- ⑥ 製造、取扱い作業場には、関係者以外の立入りを禁止し、この旨を見易い箇所に表示する。(ゾーニング)

#### 4.3 除染・モニタリング・廃棄物処理の考え方

「労働安全衛生法」及び「特定化学物質等障害予防規則」より、ベリリウム安全取扱い設備の除染・モニタリング・廃棄物処理の考え方を摘出し、今後の設計に資する。

- 1) 廃液処理に関する規定は定められていない。(廃棄物処理)
- 2) ベリリウムに汚染されたぼろ、紙屑等については、蓋又は栓をした不浸透性の容器に納めておく等の処置をする。(廃棄物処理)
- 3) ベリリウムを取扱う屋内作業場については、6か月以内ごとに1回定期に空気中の濃度の測定を実施する。(モニタリング)
- 4) 洗眼、洗身、うがいの設備、更衣設備、洗濯設備を設けるなど洗浄設備を設置すること。(除染)

法律的には以上の4点であるが、場合によっては、以下の事項についての定慮も必要となろう。

- ① モニタリングについては、グローブボックス、フード、排気設備、排水設備等も測定対象とし万一の漏洩に備える。
- ② 洗浄水廃液は効率の高いフィルターで濾過してから、一般排水設備へ流すものとする。濾過使用したフィルター類、濃縮された廃液の除染作業等で使用した酸・アルカリ・有機溶媒の廃液は、容器に収めて専門業者に処理を依頼する。
- ③ 除染作業は、装置の分解修理等の際等に以下の各除染法を使用して実施する。
  - ・ 真空吸塵
  - ・ ウェットクリーニング

作業前に周囲を水か湿布で囲む。

アルカリ溶液洗浄

水中超音波洗浄

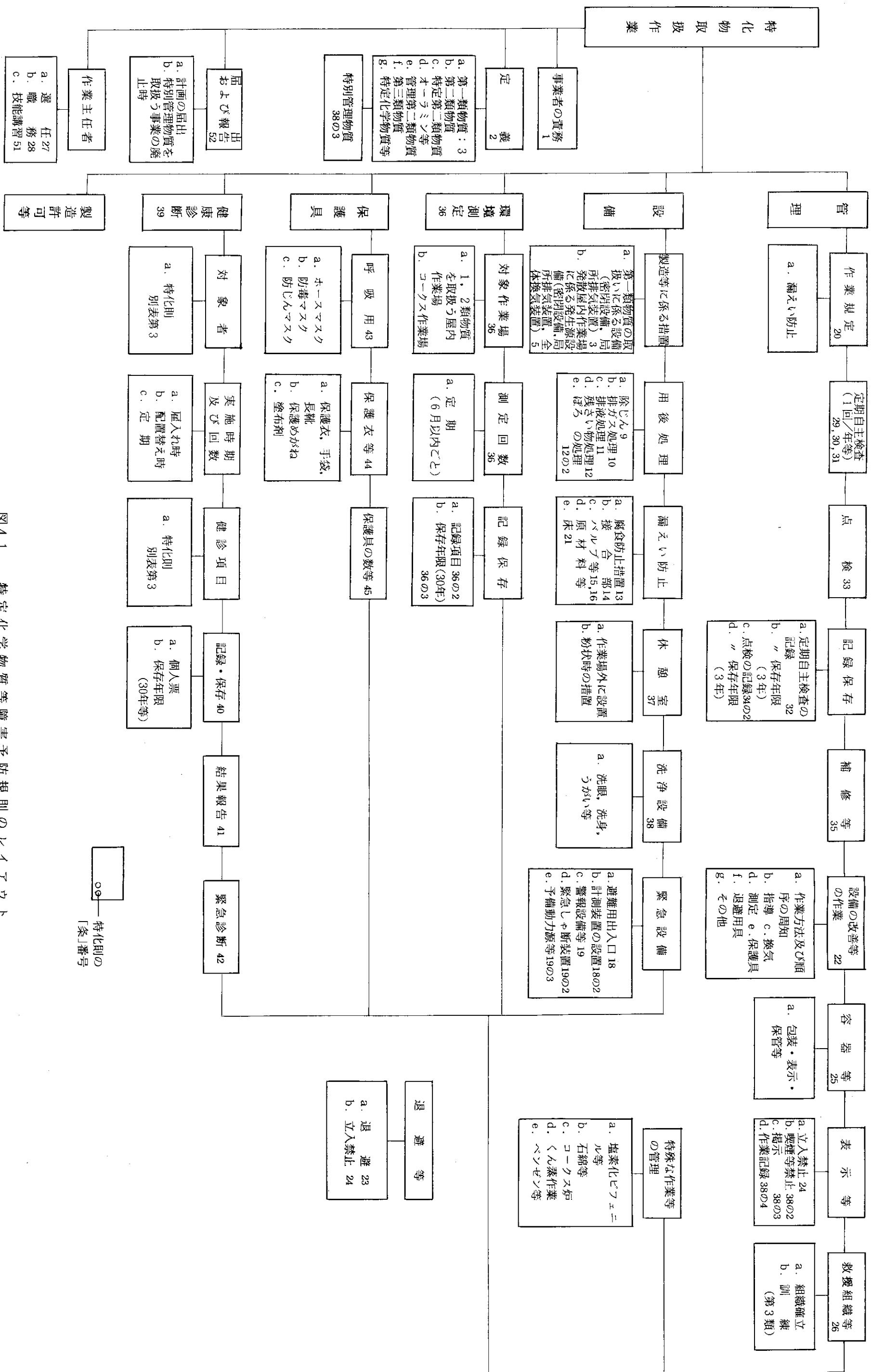


図4.1 特定化学物質等障害予防規則のレイアウト

#### 4.4 作業者の健康管理の考え方

「労働安全衛生法」及び「特定化学物質等障害予防規則」より、ベリリウム安全取扱いのため作業者の健康管理の考え方について要約する。

##### ① 作業主任者の選任

一般には作業主任者を選任し、作業方法を徹底した作業員を指揮させる。但し試験研究のための作業は適用されない。

##### ② 表示

容器等に所要の表示をする。

##### ③ 労働衛生教育の徹底

作業方法・手順を決定し、予め作業者に徹底する。

##### ④ 第1種物質としての取り扱い

- ・直接取り扱う物質の毒性の確認、作業方法の確立、関係施設、作業環境整備・健康管理の徹底等の必要措置を施し、その物質に曝露される期間及び程度を最小限にする。
- ・粉塵の発生源を格納するフード等の設備を設け、局所排気対策を施す。

##### ⑤ 除塵装置の設置

局所排気装置にはフィルター等の除塵装置を設ける。

##### ⑥ ぼろ等の処理

蓋または栓をした不浸透性の容器に収める。

##### ⑦ 床構造

不浸透性の材料で造る。

##### ⑧ 立入り禁止措置

関係者以外の立入りを禁止する。

##### ⑨ 作業環境の測定

6か月に1回、空気中濃度の定期測定。

##### ⑩ 休憩室、浄化設備の設置、飲食等の禁止をしその旨掲示する。

##### ⑪ 作業記録

30年間保存。

##### ⑫ 健康診断

従事開始時、配置替えにより就業の際、6か月又は1年ごとに実施し、記録は30年間保存する。

##### ⑬ 緊急診断

漏洩により汚染、吸引した場合は、医師による診断又は処置を受ける。

##### ⑭ 記録の報告

健康診断実施後は遅滞なく労働基準監督署長に提出する。

##### ⑮ その他

- ① 適切な呼吸用保護具を備えること。皮膚障害又は経皮浸入を防ぐため不浸透性の保護具及び塗布剤を備えること等。

- ② 局所排気装置、除塵装置については、定期自主検査及び非定期の点検を行わねばならない。定期検査の頻度、非定期点検を行うべき場合、検査項目、異常を認めた場合の措置、及び結果の記録と保存期間を定める。定期検査の頻度は1年以内ごとに1回、記録の保存は3年。

## 5. ベリリウム安全取扱い設備の概念検討

ITER等の核融合実験炉計画では、ベリリウムを中性子増倍材とするトリチウム増殖ブランケットの実用化を目的とした各種のR & Dが予定されている。本概念検討では、ベリリウムが関連する小～中基模のブランケット開発試験を想定し、必要になると考えられるベリリウムの安全取扱い設備の概略仕様を検討した。

### 5.1 基本設計方針

第4章の考え方を踏まえて、ベリリウム研究施設を新設する場合を想定した。

- ① 建屋を居室側と実験室側に2分してゾーニングする。

居室側ゾーン：ホール、トイレ、用具入れ、居室（計算機・制御室）

実験室側ゾーン：実験室、洗濯・シャワー室、トイレ

実験室ゾーンは汚染の可能性のあるゾーンであり、関係者以外の立入りは禁止される。居室ゾーンは汚染の可能性はほとんど有り得ず、一般的に使用できるものとする。換気・空調設備も2つのゾーンに個別に設置する。

- ② ベリリウム加工を含めベリリウム取扱い装置は、フードやグローブボックスに収納（2次格納）し、それぞれ局所排気装置に接続する。
- ③ 排気系統には除塵用のフィルター（HEPA及び中性能フィルター）を装備し、その下流に排気ファンを設置する。排気口は屋外に設置し、実験中は必ず稼働させることとする。
- ④ 2次格納の中は負圧に維持することとし、フードの外側で $0.002\text{mg}/\text{m}^3$ を超えないこととする。

### 5.2 設備構成

- ① 格納設備

実験装置の格納、あるいはその他のベリリウム取扱い作業のためのグローブボックス、フード、ベース等で構成される。試験装置等の2次格納、分析試料の作成・処理等におけるベリリウム粉塵、フュームの閉じ込めを行う。

- ② 排気設備

格納設備及び実験室を換気する。各系統に適切な除塵設備を設ける。

- ③ 排水設備

実験排水、除染・洗浄排水等の貯留、処理を行う。

- ④ 除染設備

シャワー、手洗い、ランドリー、取扱い者の除染を行う。

- ⑤ モニタリング設備

格納設備、実験室、排気設備、排水設備等でサンプリングを行いベリリウム濃度をモニタリングする。適宜移動式または固定式とする。

#### ⑥ その他

実験室、実験準備室（居室、計算機・制御室、トイレ等）、更衣室、および付帯設備（実験台、机等）も本設備の一部と考える。

### 5.3 系統設計

#### (1) 基本条件

本安全設備は研究開発のためのR & D施設を対象とするので、以下の条件を考慮する。

- ① 非定常的なベリリウム取扱いを中心とする研究開発に対応できる十分な安全性。
- ② 将来の取扱い量の増加や解放系実験にも対応できる能力。
- ③ 実験装置の入替え等に対応できる柔軟性。
- ④ 管理区域内作業や管理区域入出時の実験者の作業性等への制約は、できる限り小さくする。
- ⑤ 部屋スペースは、居室（制御室）4m × 6m × 高さ3m、実験室は14m × 11m × 高さ3mとする。
- ⑥ 換気回数は原則として1回／hrとする。

#### (2) 系統設計

##### (a) 格納設備

###### (I) グローブボックス

① ここでは3台のグローブボックスを使用することとする。グローブボックスⅠは主として非密封のベリリウム試料を用いる一般実験に使用する。グローブボックスⅡは基礎工学実験及び比較的スケールの大きい試験研究で用いる試験体のベリリウム交換操作に使用する。グローブボックスⅢは上記試験でベリリウムに汚染された物品の除染に使用する。実験の操作性を考慮し対面式で直径14cmのグローブポートが数箇所ずつ設置されているものとする。メンテナンス等で解放する場合は微粉対策として1か所当たり1m/secの雰囲気の漏れ込みがあるように排気対策を講ずるものとする。

② 換気は、室内に給気された外気は全てグローブボックスⅠ、Ⅲを通して排気するものとして、排気用のスリットを備える。メンテナンス時はグローブポートを通して室内空気が漏れ込むので、このスリットの一部又は全体を閉じてバランスを図る。このバランスは自動的に出来る方法を考慮する。また、グローブボックスⅡは、不活性ガス( $N_2$ )雰囲気で制御するため室内空気は流入させない。

③ 換気風量は通常時、実験室容積に対し1回／hr、またメンテナンス時などは最高5人の研究者が同時にポートを開けて作業する(10ポート)として換気風量を考え、その大きい方をもって設計値とする。

通常時に必要な換気風量：

$$14\text{m} \times 11\text{m} \times 3.0\text{m}/\text{hr} = 462 \text{ m}^3/\text{hr}$$

これにシャワー室の空間分を加え → 480 m<sup>3</sup>/hr

メンテナンス時グローブボックス換気総風量 :

$$(0.14\text{m}) 2 \times \pi \times (1\text{m/sec}) \times (3600\text{sec/hr}) / 4 \times 10 \\ = 554.2 \text{ m}^3/\text{hr} \rightarrow 560 \text{ m}^3/\text{hr}$$

従って、グローブボックスの換気風量は 560 m<sup>3</sup>/hr とする。

- ④ グローブボックスはワンススルー給排気式とし負圧制御する。また、排気は除塵、給排気フィルター付きとし、2基のグローブボックスの排気を集合させ1つのファンで排気口に導く。

## (II) フード

- ① フードは2台使用する。それぞれ、ベリリウム試料の表面分析用試料の調整、およびベリリウム濃度モニタリング用試料の調整等の一般実験に使用する。フードのガラス窓全開により 0.5m/sec の空気が流入するものとする。ガラス窓開口の場合、開口は約 1m × 0.66m である。

- ② フードの換気は通常、給気を直接フード内に導くが、窓を解放する場合はフードへの給気が直接フードに流入せず、解放された窓の前面にエアーカーテンとなって、格納の役割を果たす。

- ③ 換気風量は開口時の流入給気を全量処理出来るものとして

$$1\text{m} \times 0.66\text{m} \times (0.5\text{m/sec}) \times 3600\text{sec/hr} \\ = 1188 \text{ m}^3/\text{hr} \rightarrow 1200 \text{ m}^3/\text{hr}$$

フード2基では 1200 m<sup>3</sup>/hr × 2 = 2400 m<sup>3</sup>/hr

- ④ フードはワンススルー給排気式とし負圧制御する。また、排気は除塵、給排気フィルター付きとし、2基のフードの排気を集合させ除塵、排気フィルターを経由して1つのファンで排気口に導く。

## (b) 排気設備・換気空調設備

### (I) 換気系統

#### ① 実験室

- ① 実験室については、給気口から一括して外気を取り入れる。給気口には除塵用にプレフィルターを設置する。この一括して流入する給気のうちの一部 560 m<sup>3</sup>/hr は実験室内に放出する。換気回数としては 1 回/hr 強となる。

- ② 一括給気の残り 2400 m<sup>3</sup>/hr は、半分ずつ2台のフードに直接流入させる。

- ③ 実験室内への流入分は、全量グローブボックスを通して排気し、フードへの流入量の排気とともに集合させ排気口から一括して排気する。

従って、実験室全体としての給・排気風量は

$$560 \text{ m}^3/\text{hr} + 2400 \text{ m}^3/\text{hr} = 2960 \text{ m}^3/\text{hr} \rightarrow 3000 \text{ m}^3/\text{hr}$$

#### ② 居室(制御室)

居室(制御室)の容積からみて、排気は大きめの家庭用換気扇とし、給気は特に専用

の取入れ口を設置せず、建屋のインリーグ分で十分であると考える。

従って換気風量は1回／hrとして

$$4\text{m} \times 6\text{m} \times 3\text{m} / \text{hr} = 72 \text{ m}^3 / \text{hr} \rightarrow 90 \text{ m}^3 / \text{hr}$$

## (II) 空調系統

### ① 実験室

各実験設備からの総発熱量が未定であるため、事務所用を基準に冷暖房時の空調容量を推定する。

冷房時 125kcal／hr・m<sup>2</sup>

暖房時 180kcal／hr・m<sup>2</sup>

設置地域が寒冷地であれば、暖房時は2割の容量を加えるものとされる。

ここでは寒冷地として考えている。

床面積は 14m × 11m = 154 m<sup>2</sup>

冷房時 125kcal／hr・m<sup>2</sup> × 154 m<sup>2</sup> = 19250kcal／hr → 20000kcal／hr

暖房時 180kcal／hr・m<sup>2</sup> × 154 m<sup>2</sup> = 27720kcal／hr → 30000kcal／hr

### ② 居室（制御室）

一般家庭向の空調機で寒冷地用のものを使用することとする。

冷房時 3000kcal／hr

暖房時 4000kcal／hr

以上の条件により検討した換気空調系の概要を図5.1に示す。

## (c) 排水設備

試料の研磨、切断、洗浄、をフードやグローブボックスで作業する際の廃液またはシャワー やランドリーの使用で発生する廃液は、湿式のフィルターを通して処理する。処理量が多い場合は、一時、貯留タンクに貯留する。処理後の廃液は、ベリリウム濃度を確認した後通常の排水設備に送る。除染用の酸廃液は容器に貯め、別途廃棄物として処分する。

## (d) 除染設備

上記のシャワーやランドリーの設備が該当する。ここで発生する廃液は、すべて上記排水設備へ送る。

## (e) モニタリング設備

室内空気及び排気等は、フィルターによってベリリウムを連続捕集する。フィルターはバッヂ交換し、フィルターで捕集されるベリリウムを上記排水設備でサンプリングした試料も同様に原子吸光法で測定する。

## 5.4 機器設計

### ① 制御室用換気扇

員 数 1基

型 式 同時給排式換気

容　量  $90 \text{ m}^3/\text{hr}$

所用動力 30W

② 制御室用空調機

員　数 1基

型　式 冷暖房タイプスプリット型、床置型

容　量 冷房  $3000 \text{ kcal}/\text{hr}$

暖　房  $4000 \text{ kcal}/\text{hr}$

寸　法  $750 \times 180 \times \text{高さ } 650$

所用動力 3相  $200V$  で  $1 \text{ kW}/\text{基}$

③ 実験室用空調機

員　数 2基

型　式 カスタムエアコン、天井埋め込み型、インバータタイプ

容　量 冷房  $7100 \sim 12500 \text{ kcal}/\text{hr}$

暖　房  $11400 \sim 17500 \text{ kcal}/\text{hr}$

所用動力 3相  $200V$  で  $10 \text{ kW}/\text{基}$

④ 給気フィルター

員　数 1式

風　量  $3000 \text{ m}^3/\text{hr}$

型　式 中性能フィルター及びHEPA

効　率 (中性能フィルター) 90 %

(HEPA) 99.97 %

線速度  $2.4 \text{ m/sec}$

⑤ 排気フィルター (グローブボックス用)

員　数 3式

型　式 HEPA (前段に中性能フィルターを置く事もある)

風　量  $200 \text{ m}^3/\text{hr}$

効　率 99.97 %

線速度  $2.4 \text{ m/sec}$

⑥ 排気フィルター (フード出口用)

員　数 1式

型　式 HEPA (前段に中性能フィルターを置く事もある)

風　量  $2400 \text{ m}^3/\text{hr}$

効　率 99.97 %

線速度 2.4m/sec

⑦ 排気フィルター（排気口用）

員数 1式  
 型式 中性能フィルター及びHEPA  
 風量 3000 m<sup>3</sup>/hr  
 効率 (中性能フィルター) 90%  
 (HEPA) 99.97%  
 線速度 2.4m/sec

⑧ グローブボックス排気ファン

員数 1基  
 型式 ターボ式  
 風量 560 m<sup>3</sup>/hr  
 尺法 0.6m × 0.49m × 高さ 0.49m  
 所用動力 500W

⑨ フード用排気ファン

員数 1基  
 型式 ターボ式  
 風量 2400 m<sup>3</sup>/hr  
 尺法 0.83m × 0.76m × 高さ 0.68m  
 所用動力 1500W

⑩ フード

員数 2基  
 型式 RIタイプ, エアーカーテン式オークリッジフード  
 (ダルトン社)  
 尺法 1.2m × 0.95m × 高さ 2.5m  
 排気風量 1200 m<sup>3</sup>/hr  
 開口時速度 0.5m/sec  
 窓寸法 約1m × 0.66m

⑪ グローブボックス

	GB - I	GB - II	GB - III
員数	1基	1基	1基
型式	対面式	対面式, イナートガス循環	対面式
寸法	1.2m × 3m × 2m	1.2m × 4.5m × 2m	1.2m × 4.5m × 2m

風量	300 m <sup>3</sup> /hr	300 m <sup>3</sup> /hr	300 m <sup>3</sup> /hr
ポート	寸法 140mm	寸法 140mm	140mm
	数量 8	数量 12	12
給気口風速	1m/sec	1m/sec	1m/sec

## 5.5 配置計画

前提とする空間スペースは全体で、間口11m、奥行き18m、高さ3mの建屋とし、居室（制御室）、実験室、ホール、トイレ、更衣室、洗濯、シャワー室等から構成する。

居室（制御室）には、机等の通常の必要品の他、計算機、制御機器を設置する。居室と実験室の間は更衣室によって隔てられ、各室へは隔離用の扉を介して出入りする。

トイレは居室側と実験室側に設置し、更衣の手間を省く。実験室での作業で生じたベリリウムの汚染を除染する為の設備として更衣室と実験室の間に洗濯、シャワー室を設ける。

実験室は更衣室の扉以外に搬入口を設け大きな設備などの搬入に使う。グローブボックス3基は分解修理時の作業性を考え、グローブボックスⅡ、Ⅲの間およびグローブボックスⅠの搬入口側にスペースを確保することとする。実験室入口から見て左側の壁に添って各種分析装置に実験台およびフードを設置する。

実験台には、天秤、光学顕微鏡、実験器具、流し等をおく。

以上の配置平面図を図5.2に、鳥かん図を図5.3及び5.4に各々示す。

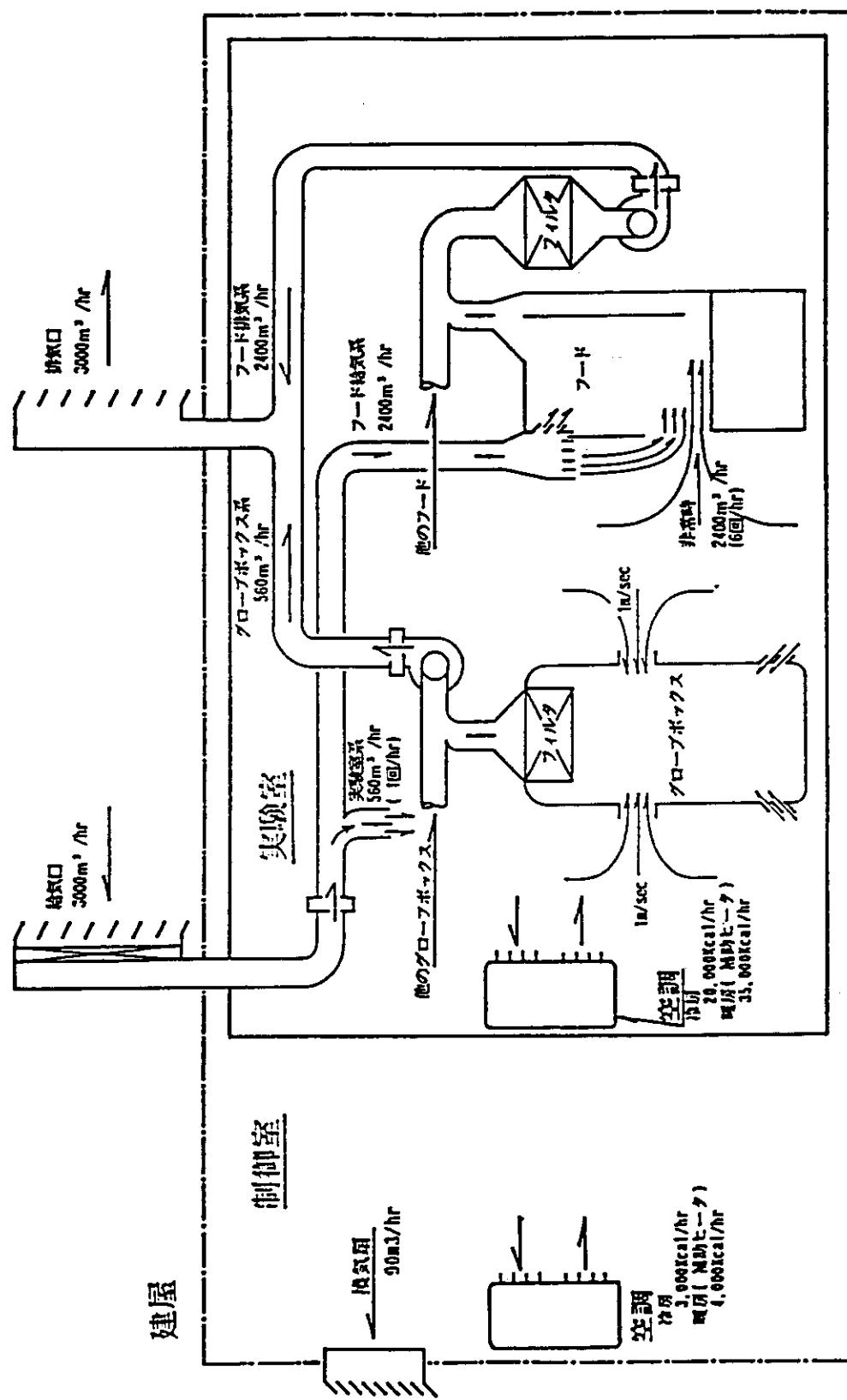


図 5.1 実験室換気系の概要

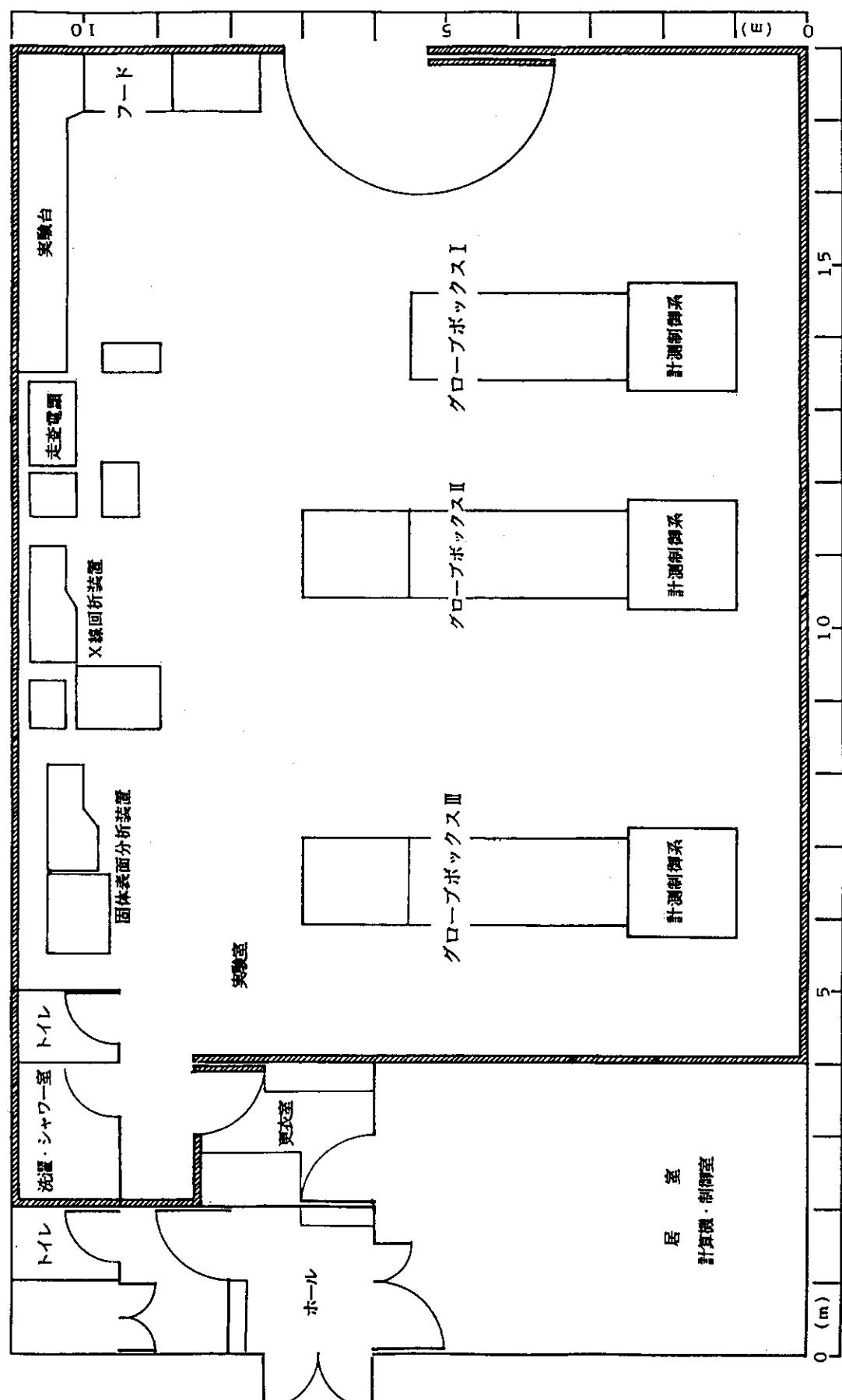


図 5.2 機器配置計画図

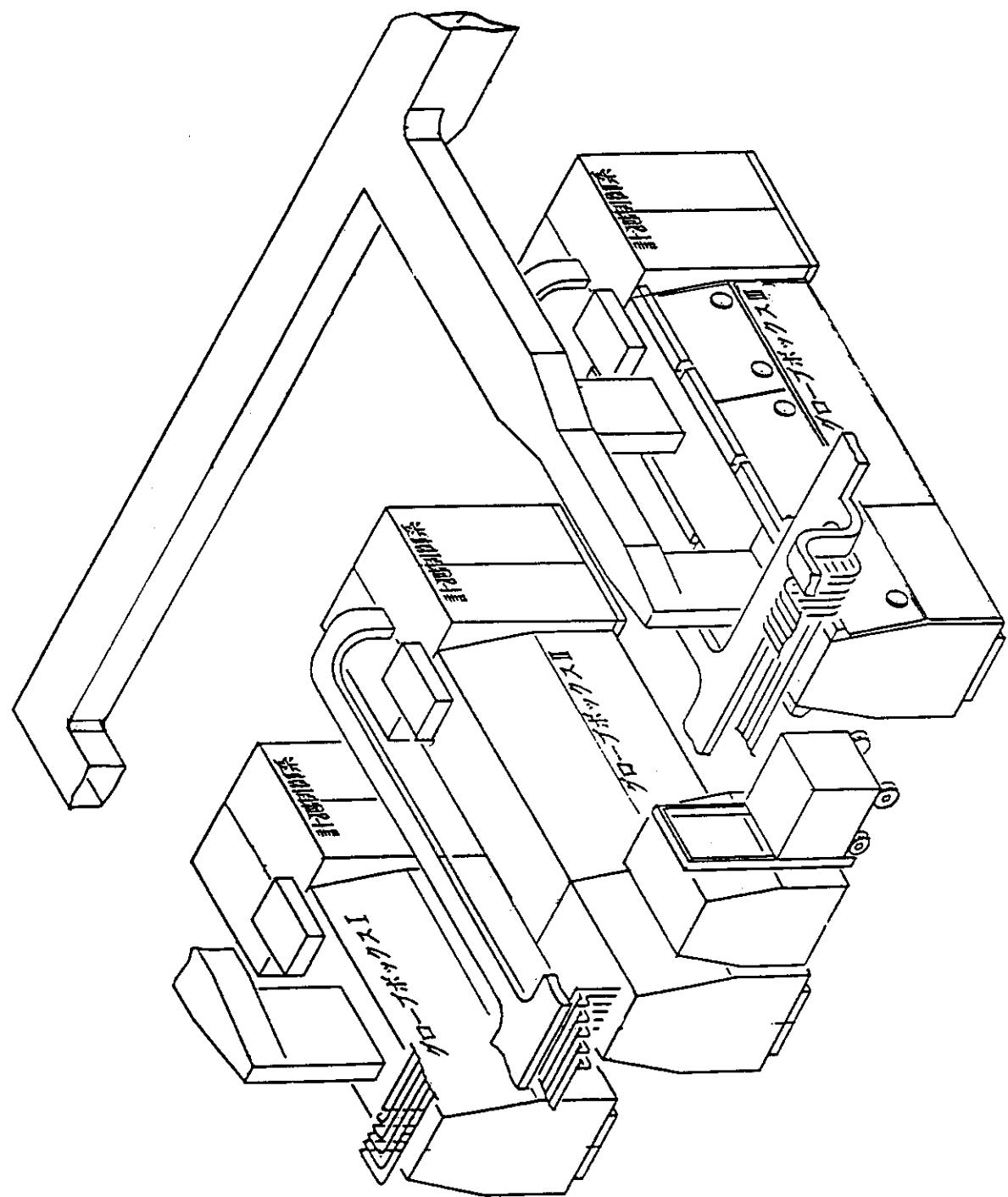


図 5.3 グローブボックス配置概念図

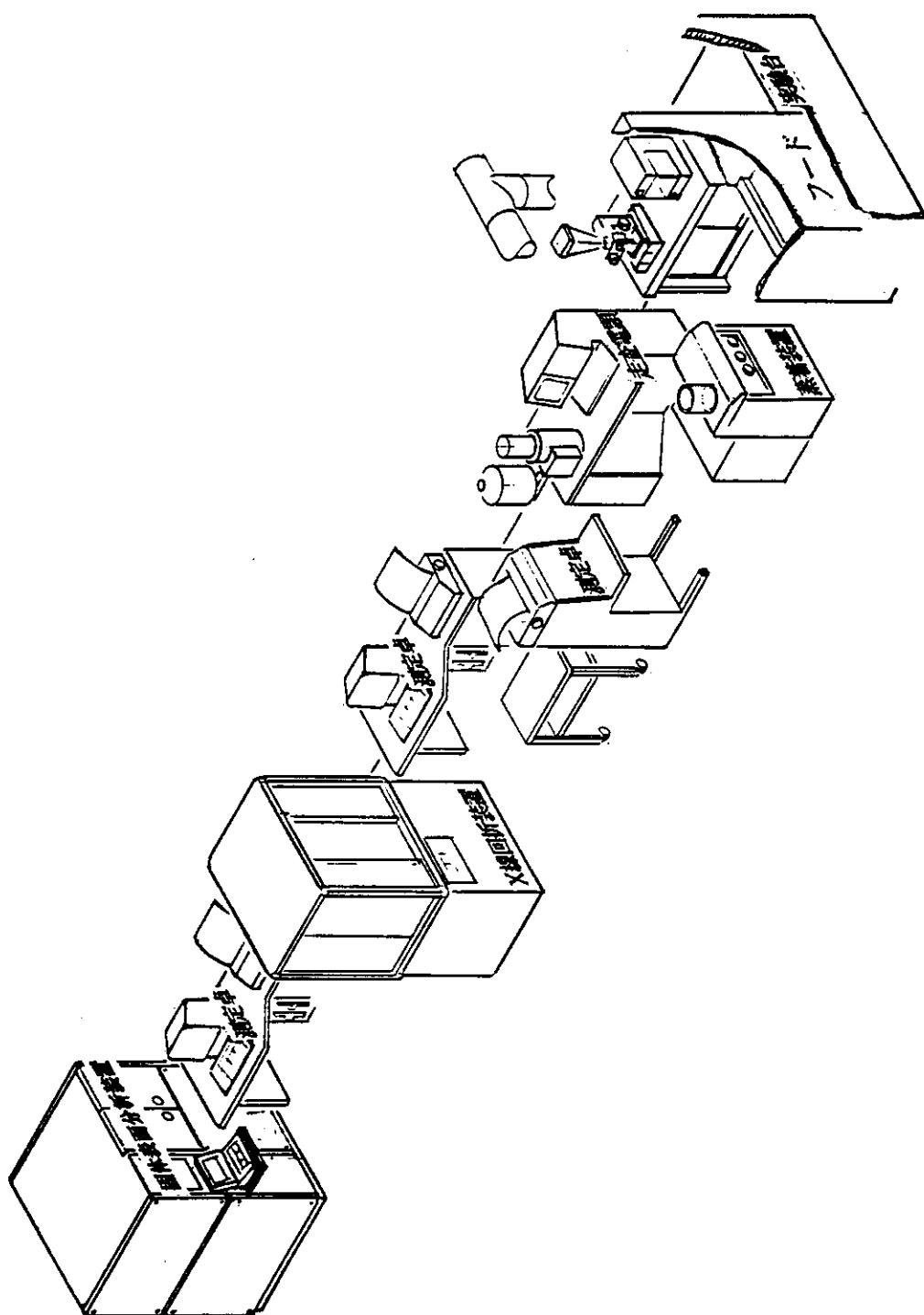


図 5.4 測定機器配置概念図

## 6. モニタリング分析の現状

ベリリウムによる障害を予防するには、使用環境（作業区域の空気中及び床表面等）のベリリウム濃度を安全設備等の設置により可能な限り低く押さえるとともにベリリウム濃度を常時リアルタイムで把握できる事が望ましい。しかし、日本及び海外のベリリウム製造、取扱い、及び研究施設において採用されているベリリウムのモニタリング法は、フィルターまたはスマア紙にベリリウム粉塵を捕捉し、これを化学処理（HClまたは $H_2SO_4$ 溶液による加熱溶解）して水溶液とし、原子吸光分析するいわゆるサンプリング分析法である。これに対し、ガンマ線照射によって生ずる中性子を計測するリアルタイム分析方法も考えられているが、実用化された例は報告されていない。また、JETでは、空気中のベリリウム濃度をモニターする目的でLANLが開発したレーザー分析装置<sup>(25)</sup>を設置したが、定常的には使用していないようである。これは、ベリリウム粉塵の粒度分布により正確な濃度測定が困難なためと推定される。

これらの事から明らかなように、室内空気中のベリリウム濃度をリアルタイムに分析するモニタリング技術は現在のところ確立していない。つまり、ベリリウムによる空気汚染や人の被爆は、一定の時間（マニアル等で定めるモニタリング分析の頻度：1日～数週間隔）を経過しないと検知できない。ベリリウムの使用にあたっては、現在のサンプリング分析法の特質を理解したうえで、適切に運用しなければならない。以下に、ベリリウムの一般的な分析方法、分析感度及び分析所用時間について概要を示す。

### (1) サンプリング

空気中に浮遊するベリリウム粉塵濃度の測定は、測定対象とする空間の空気を所定のフィルターを取付けたサンプラーにより吸引（所定の流量及び時間）し、フィルターに捕捉されたベリリウム量を定量分析することにより行う。サンプラーには、屋内設置型、屋外設置型（流量：通常  $30\ l/min$ ）及び個人用（ $2\ l/min$ ）がある。

### (2) 分析精度

原子吸光分析器の通常の分析範囲は、以下の通りである。

- ① フレームレス分析（グラファイト炉分析）：  $1 \sim 40\ ppb$
- ② フレーム分析 :  $0.1 \sim 20\ ppm$

### (3) 分析時間

ベリリウム分析には、空气中ベリリウムのサンプリング時間、所定溶液の調整時間、及び分析器による計測時間が必要であり、全所用時間は通常半日程度となる。なお、大気中濃度が  $2\ \mu g/m^3$  の場合のサンプリング（ $0.1\ \mu g$ ）所用時間を以下に示す。

- ① 可搬型（吸入流量  $30\ l/min$ ） : 17分
- ② 設置型（吸入流量  $30 \sim 100\ l/min$ ） : 17分～5分
- ③ 個人用（ $2\ l/min$ ） : 250分

## 7. 呼吸用保護具の現状

ベリリウムの取扱いにおいてグローブボックス、ヒュームフード、局所排気装置等を適宜使用することにより危険性の高い粉塵等を人体から隔離できるので呼吸用保護具は比較的簡単な防塵マスクが適用できる。一方、ベリリウム粉塵の発生源（真空トーラス内部）に人が立ち入るJETの場合には、呼吸摂取に対する防護とともに皮膚接触、着衣汚染を防止するための特殊な保護具（図3.3参照）が必要となる。

特定化学物質に係わる作業で使用する保護具としては、防塵マスク、防毒マスク、送気マスク等の呼吸用保護具と、皮膚接触による呼吸、皮膚障害を防ぐための不浸透性の保護服、保護手袋、保護長靴等の労働衛生保護衣類がある<sup>(26)</sup>。これらは、使用者の健康、生命を守るものとして日本工業規格によって構造と性能を規定されている。表7.1にこれらの保護具の日本工業規格を、表7.2に呼吸用保護具の種類を示す。

呼吸用保護具は、①ろ過式のマスク（防塵マスク、防毒マスク）、②後方からパイプを通して清浄空気を送る送気マスク、③自分自身で空気または酸素を持っていく自給式呼吸器とに大別される。金属ベリリウム等の固体の粉塵に対して一般に使用される防塵マスクについても、取替え式マスク（隔離式、直結式）、使い捨て式マスクがあり、さらに全面型（顔の全面を覆う）と半面型（口と鼻の部分のみ）に分けられている。表7.3は、日本工業規格により定められた防塵マスクの性能である。

労働衛生保護衣類にも種々の等級が定められており、使用環境に応じて選定する。保護衣は、布生地にゴムやプラスチックを塗布したもの、あるいはゴム製、プラスチック製であり、体温や汗の蓄積のために長時間の使用は困難といわれる。

JETで使用されたエアラインスーツの詳細については、調査していないが、各部の材質、脱着部の密閉方式、体温や汗の排出、通信機能等において種々の工夫がなされていると考えられる。特考化学物質取扱い用としてわが国で使用されている送気マスク（ホースマスク、エアラインマスク）および自給式呼吸器の種類と構造を付録-Cに示す。

表 7.1 特定化学物質による障害防止用保護具の日本工業規格

JIS T 8151	防じんマスク
JIS T 8152	防毒マスク
JIS T 8153	送気マスク
JIS T 8155	空気呼吸器
JIS M7600	圧縮酸素形開放式呼吸器
JIS M7601	圧縮酸素形循環式呼吸器
JIS T 8156	酸素発生形循環式酸素呼吸器 (クロレートキャンドル方式)
JIS T 8115	労働衛生保護服
JIS T 8116	労働衛生保護手袋
JIS T 8117	労働衛生保護長ぐつ

表 7.2 呼吸用保護具の種類

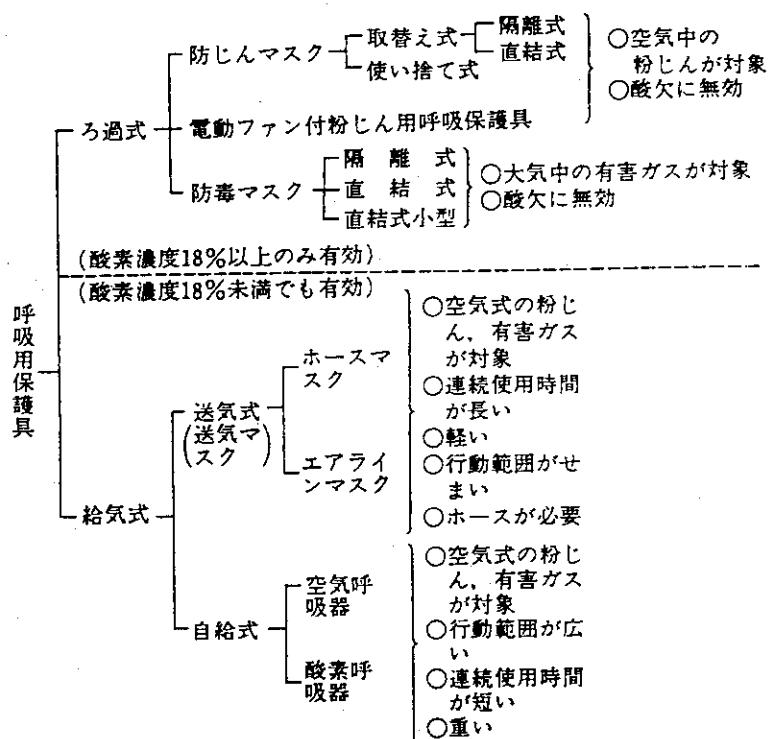


表 7.3 防じんマスクの性能

種類	取替え式防じんマスク	使い捨て式防じんマスク
粉じん捕集効率	95% 以上	
吸気抵抗	8 mmH <sub>2</sub> O 以下 (使い捨て式防じんマスクであつて排気弁を有しないものにあつては5 mmH <sub>2</sub> O以下)	
排気抵抗	8 mmH <sub>2</sub> O 以下 (使い捨て式防じんマスクであつて排気弁を有しないものにあつては5 mmH <sub>2</sub> O以下)	
排気弁の動的漏れ率試験	次の式が満足されること A ≤ B - 95	(この式において、Aは排気弁の動的漏れ率の最大値(単位%)を、Bは粉じん捕集効率試験による粉じん捕集効率(単位%)を表す。)

## 8. ま と め

ベリリウムの安全取扱いに関する国内外法令、基準並びに海外の代表的なベリリウム研究施設の安全管理の方法について調査した。これらは、いずれもベリリウムの粉塵、ヒューム等が発生し、かつ空気中に飛散する可能性のある取扱いを前提とするものである。核融合ブランケットの今後の開発研究において粉塵が発生する可能性のあるものとして、以下のような実験や作業項目が考えられる。

- ① 水蒸気、空気による高温酸化
- ② セラミック増殖材との反応
- ③ 高温での蒸発
- ④ 切削、研磨等の機械加工における乾式取扱い
- ⑤ ベリリウムペブルの装荷、取出し作業
- ⑥ ベリリウム取扱い実験装置の保修、改造

これらの取扱いに対しては、以下のような考慮を払うことにより、大規模な安全設備を設置せずに一定規模の試験研究が実施可能と考えられる。

- (I) 粉塵の発生があり得る実験装置は、不活性ガス循環装置（HEPA フィルター内蔵）を備えた閉サイクル型グローブボックスに格納使用し、実験室空気中のベリリウムの拡散を防止する。
- (II) グローブボックスに格納していない密閉型実験装置あるいはグローブボックスの保修、改修を行う際には、当該部分をグリーンハウスで格納するとともにハウス内の空気を局所排気装置により換気する。
- (III) 乾式による機械加工は決して行なわない。
- (IV) ベリリウムペブルの装荷、取出し作業等は、不活性ガス循環装置（HEPA フィルター内蔵）を備えた閉サイクル型グローブボックスに格納使用し、実験室空気中へのベリリウムの拡散を防止する。
- (V) 粉塵の発生の可能性がないベリリウムの取扱いであっても、より安全を期するため、フード内で行う。

なお、比較的長期にわたってベリリウムを取扱う場合に最も重要なと考えられる事は、従事者の安全教育と一定の安全管理体制の整備であり、ベリリウムの有害性、安全取扱いの考え方や管理に関する諸規定への理解なしに十分な安全を確保することは困難であろう。

## 参 考 文 献

- (1) 後藤しげる, 池田正之, 原一郎 編, 産業中毒便覧, 医歯薬出版 (1977)
- (2) アメリカ国立職業安全衛生研究所編, 化学物質毒性データ総覧, 日本メディカルセンター発行 (1976)
- (3) N. Irving,Sax, "Dangerous Properties of Industrial Materials", Reinhold Publishing Corporation (1984)
- (4) Be障害の予防と安全管理, 科学技術庁・工業材料研究便覧(第2集), 産業技術会議発行 (1970)
- (5) 島 正吾, 吉田 勉, 谷脇弘茂, 慢性ベリリウム症の臨床診断と予防管理, 住友産業衛生, No.23, 12 (1987)
- (6) J.M.Beaston,Berllium Work at INEL, US - Japan Beryllium Workshop at INEL, Sept., 11, 1989
- (7) "Handling of Beryllium", Safety Manual Sup.17.3, EG & G Idaho Inc., Oct., 1, 1988
- (8) "Beryllium", Industrial Hygiene Manual 10.0, EG & G Idaho Inc., Jul.,14, 1989
- (9) National Institute for Occupational Safety and Health Criteria Document TR - 003 - 72
- (10) Recommendations for a Beryllium Standard, NIOSH Criteria Document, 1972
- (11) the America Conference of Governmental Hygienists
- (12) U.S. Occupational Safety and Health Administration Standard
- (13) Standard Operating procedure - Beryllium Area Bldg. 141, LANL
- (14) R. Clayton, S.Booth, and J.Dean, "The Health and Safety Implications of Using Beryllium on JET Limiter Faces", JDN/U (83) 1, JET
- (15) P.H.Rebut, et. al., "Low - Z Material for Limiters and Wall Surfaces in JET : Beryllium and Carbon", JET - R (85) 03
- (16) S.J.Booth et al, "Beryllium Related Maintenance on JET", in the 16th SOFT, London, 1990
- (17) The Health and Safety at Work etc. Act 1974
- (18) The Factories Act 1961
- (19) The Control of Substances Hazardous to Health Regulations 1988
- (20) "Beryllium: Health and Safety Precautions", Health and Safety Executive Guideance Note EH/13
- (21) "Occupational Exposure Limits", Health and Safety Executive Guidance Note EH40/88
- (22) "Safety Handling of Beryllium and its Compounds", UKAEA Health and Safety Code No.D2.1

- (23) "Code of Practice of the Safe Use of Beryllium on JET", JET - SR (89) 02.
- (24) P.H.Edmonds, "JET - ISX - B Beryllium Limiter Experiment: Safety Analysis Report and Operational Safety Requirements", ORNL/TM - 9512 (1985)
- (25) D.A.Cremers and L.J. Radziemski, "Direct Detection of Beryllium on Filters using the Laser Spark", Appl. Spectrosc., 39 [1], 57 (1985)
- (26) 特定化学物質等作業主任者テキスト, 労働省労働衛生課編, 中央労働災害防止協会発行 (1991)
- (27) ベリリウムの障害について (藤田保健衛生大学医学部, 島 正吾) : 日本原子力学会・ベリリウム技術研究特別専門委員会講演議事録 (1991)
- (28) 島 正吾氏 私信
- (29) W.R.Meehan and L.E.Smythe, "Occurrence of Beryllium as a Trace Element in Environmental Materials", Environmental Science and Technology, 1 [10], 839 (1967)

付録A ベリリウムの毒性、傷害に関する資料及びデータ

(A1) 人間に対する中毒症状<sup>(1)</sup>

(A2) 動物実験<sup>(1) ~ (3)</sup>

(A3) Be障害の予防と安全管理<sup>(4)</sup>

科学技術庁・工業材料研究便覧（第2集、1970年発行）より抜粋

(A4) 講演：ベリリウムの傷害について<sup>(27)</sup>

（藤田保健衛生大学医学部、島 正吾）

日本原子力学会・ベリリウム技術研究特別専門委員会議事録より

(A5) 慢性ベリリウム症の臨床診断と予防管理<sup>(5)</sup>

付録B 自然環境におけるベリリウムの分布データ<sup>(28), (29)</sup>

付録C 呼吸用保護具の種類

労働省労働衛生課編『特定化学物質等作業主任者テキスト』<sup>(26)</sup>  
より抜粋

## 付録 A ベリリウムの毒性、傷害に関する資料及びデータ

(A 1) 人間に対する中毒症状<sup>(1)</sup>

化合物名	経路	症状	措置
可溶性化合物	皮膚付着	接触性皮膚炎	水で洗浄後、医師へ
塩化ベリリウム	眼球	結膜炎、角膜炎	水で洗浄後、医師へ
フッ化ベリリウム			
硝酸ベリリウム			
硫酸ベリリウム			
難溶性化合物	皮膚創傷面付着	潰瘍、皮下肉芽腫	
水酸化ベリリウム			
酸化ベリリウム			
ベリリウム化合物	吸引／急性	急性呼吸器障害 咳、痰、息切れ、胸部痛	治癒可
ガス			休養、
粉塵		食欲不振、全身の倦怠感	曝露の中止
フューム	吸引／慢性	慢性呼吸器障害；ベリリウム肺 息切れ、空咳、胸痛 肺換気機能低下 易労感、全身倦怠、体重減少 肝腫大、肝機能障害 末期；チアノーゼ、心不全	治癒難

(A 2.) 動物実験<sup>(1)~(3)</sup>

TC - 毒性が示される空気中濃度 W - 週 LC50 - 50%致死空気中濃度 (24時間以内) C - 繙続的

TCLo - 毒性が示される最低空気中濃度 Y - 年 LCLo - 最低致死空気中濃度 D - 日

TD - 吸入経路以外で毒性が示される量 LD50 - 吸入経路以外の50%致死量 (24時間以内) I - 間欠的

TDL0 - 吸入経路以外で毒性が示される最低量 LDLo - 吸入経路以外の最低致死量 M - 分

化合物名	経路	症状および中毒量		出典
ベリル	吸入 (ラット)	発癌	TCLo 620 ug(Be)/M/74W-I	2
	吸入 (ラット)	新生物発現	TDLo 15 mg/m <sup>3</sup> /74W-I	3
ベリリウム	吸入 (人)	肺への作用	TCLo 300 mg/m <sup>3</sup>	2, 3
	気管 (ラット)	新生物発現	TDLo 13 mg/kg	3
	静脈 (ラット)		LD50 496ug/kg	3
	静脈 (ラビット)	腫瘍発現	TDLo 20 mg/kg	3
	皮下 (ブタ)	新生物発現	TDLo 7 mg/kg	2
a)ベリリウム粉塵 orエアロゾル(1%)	吸入 (ラット)	肺肉芽腫		1
		ラット肝の酵素誘導阻害		1
b)ベリリウム化合物	吸入	腎尿細管上皮細胞の壊死		1
		肝細胞の壊死		1
	経口	骨軟化症		1
		くる病 (低カルシウム&低磷食)		1
酢酸ベリリウム	腹腔 (ラット)		LD50 317mg/kg	3
ベリリウム・アルミ合金	気管 (ラット)	腫瘍発現	TDLo 13 mg/kg	3
	腹腔 (モルモット)		LD50 50 mg/kg	2
炭酸ベリリウム	腹腔 (モルモット)		LDLo 300mg/kg	3
	経口 (ラット)		LD50 86 mg/kg	1, 2, 3

	腹腔 (ラット)	LD50 44 mg/kg	3
	経口 (マウス)	LD50 92 mg/kg	2, 3
	腹腔 (マウス)	LD50 12 mg/kg	1,2,3
	肺 (ハムスター)	突然変異 肺中 2 mmol/L	3
	腹腔 (モルモット)	LD50 56 mg/kg	3
<b>塩化ベリリウム・四水化物</b>			
	腹腔 (ラット)	LD50 4.4mg/kg	2, 3
	ベリリウム・ニオブ化合物 ; Be <sub>13</sub> Nb		
	気管 (ラット)	腫瘍発現 TDLo 2.5mg/kg	3
	ベリリウム・チタニウム化合物 ; Be <sub>12</sub> Ti		
	気管 (ラット)	腫瘍発現 TDLo 2.5mg/kg	3
	ベリリウム・バナディウム化合物 ; Be <sub>12</sub> V		
	気管 (ラット)	新生物発現 TDLo 2.5mg/kg	3
弗化ベリリウム	吸入 (ラット)	発癌 TCLo 68ug/m <sup>3</sup> /60W-I	2
	吸入 (ラット)	腫瘍発現 TCLo 49 ug/m <sup>3</sup> /26W	3
	経口 (ラット)	LD50 98 mg/kg	1,2,3
	経口 (マウス)	LD50 100mg/kg	1,2,3
	皮下 (マウス)	LD50 20 mg/kg	2, 3
	静脈 (マウス)	LD50 1.8mg/kg	1,2,3
	腹腔 (ハムスター)	LD50 21 mg/kg	2, 3
磷酸ベリリウム	吸入 (ラット)	発癌 TCLo 3571ug/m <sup>3</sup> /48W-I	2

	吸入 (ラット)	腫瘍発現	TCLo 357ug/m <sup>3</sup> /17W	3
	静脈 (マウス)		LD50 16 mg/kg	2, 3
	吸入 (サル)	新生物発現	TCLo 13 mg/m <sup>3</sup> /10D-I	2
	吸入 (サル)	腫瘍発現	TDLo 900 ug/kg/17W	3
	吸入 (サル)	腫瘍発現	TC 97 mg/m <sup>3</sup> /8D-I	3
水酸化ベリリウム	気管 (ラット)	腫瘍発現	TDLo 1125ug/kg	3
	気管 (ラット)	腫瘍発現	TD 1785ug/kg/43W-I	3
	静脈 (ラット)		LD50 0.8mg/kg	1
	静脈 (ラット)		LDLo 3.821ug/kg	2, 3
$\beta$ -水酸化ベリリウム				
	静脈 (ラット)		LD50 2.5mg(Be)/kg	2, 3
ベリリウムマンガン亜鉛珪酸				
	吸入 (ラット)	発癌	TCLo 25 mg/m <sup>3</sup> /36W-I	2
	吸入 (ラット)	腫瘍発現	TCLo 20 mg/m <sup>3</sup> /4W	3
	静脈 (ラビット)	発癌	TDLo 500 mg/kg/40W-I	2
	静脈 (ラビット)	腫瘍発現	TDLo 500 mg/kg/40W-I	3
硝酸ベリリウム	腹腔 (ラット)		LD50 501mg/kg	1, 2, 3
	腹腔 (マウス)		LD50 500mg/kg	3
	腹腔 (モルモット)		LDLo 100 mg/kg	3
酸化ベリリウム	吸入 (ラット)	腫瘍発現	TCLo 28 mg/m <sup>3</sup> /17W-C	3
	気管 (ラット)	腫瘍発現	TDLo 169 mg/kg/2W-I	3

	吸入 (ラビット)	腫瘍発現	TCLo 17 mg/m <sup>3</sup> /5H/D/48W-I	3
	静脈 (ラビット)	発癌	TDLo 500 mg/kg/48W-I	2
	静脈 (ラビット)	腫瘍発現	TDLo 500 mg/kg/6W-I	3
	静脈 (ラビット)	腫瘍発現	TD 500 mg/kg/48W-I	3
	移植 (ラビット)	発癌	TDLo 10 mg/kg	2
	移植 (ラビット)	腫瘍発現	TDLo 10 mg/kg	3
	皮下 (ブタ)	新生物発現	TDLo 7 mg/kg	2
<b>過酸化ベリリウム</b>				
	経口 (ラット)		LD50 146mg/kg	2, 3
	皮下 (マウス)		LDLo 5 mg/kg	2, 3
	静脈 (マウス)		LDLo 3.5mg/kg	2, 3
	腹腔 (モルモット)		LDLo 10 mg/kg	3
	硫酸ベリリウム	静脈内投与	肝臓、脾臓、腎臓の壊死	1
	吸入, 90mg/cm <sup>3</sup>	肝臓炎+肺浮腫		1
	吸入 (ラット)	腫瘍発現	TCLo 432 mg/m <sup>3</sup> /26W	3
	吸入 (ラット)	腫瘍発現	TC 643 ug/m <sup>3</sup> /39W-I	3
	気管 (ラット)		LDLo 10 mg/kg	2, 3
	気管 (ラット)	腫瘍発現	TDLo 17 mg/kg/2W-I	3
	経口 (ラット)		LD50 82 mg/kg	2, 3
	腹腔 (ラット)		LDLo 18 mg/kg	2, 3
	皮下 (ラット)		LD50 1.5mg/kg	2, 3

静脈 (ラット)	LD50 7.2mg/kg	2, 3
静脈 (ラット)	LD50 0.36mg/kg	1
経口 (マウス)	LD50 80 mg/kg	2, 3
皮下 (マウス)	LD50 1.5mg/kg	2, 3
静脈 (マウス)	LD50 0.5mg/kg	2, 3
気管 (イヌ)	LDLo 1 mg/kg	2, 3
静脈 (イヌ)	LDLo 0.6mg/kg	2, 3
気管 (サル)	LDLo 1 mg/kg	2, 3
静脈 (サル)	LDLo 0.6mg/kg	2, 3
皮下 (ラビット)	LD50 1.5mg/kg	2, 3
腹腔 (モルモット)	LDLo 100 mg/kg	3
遺伝子 (細菌)	10 mmol/L	3
(ハムスター)	胎児 560 umol/L	3
DNA 損傷 (ハムスター)	胎児 560 umol/L	3
<hr/>		
硫酸ベリリウム・4水化物		
吸入 (ラット) 発癌	TCLo 668 mg/m <sup>3</sup> /40W-C	2, 3
静脈 (マウス)	LD50 4971ug/kg	2, 3
吸入 (サル) 発癌	TCLo 35 ug/m <sup>3</sup>	2
<hr/>		
ベリリウム亜鉛珪酸		
静脈 (ラビット) 腫瘍発現	TDLo 500 mg/kg/10W-I	3
静脈 (ラビット) 腫瘍発現	TD 500 mg/kg/10W-I	3

静脈 (ラビット)	腫瘍発現	TD 500 mg/kg/6W-I	3
筋肉 (ラビット)	腫瘍発現	TDLo 20 mg/kg	3
移植 (ラビット)	腫瘍発現	TDLo 10 mg/kg	3

(A3) Be障害の予防と安全管理<sup>(4)</sup>

長谷川 安利\*

無機材質研究所第2研究グループ主任研究官

## はしがき

近時、原子力、宇宙および電子工業等の急速な発展によって、BeOの優れた特性を利用して、各種特殊機器の基礎材料としてBeOが広く一般に使用されるに至っている。しかしながら、この“wander material”としてのBeOの発展の歴史の陰には、特異な職業病としてのBe障害が常につきまとう。過去の歴史が示すように、Be障害が人体におよぼす影響は計り知れず、一度使用を誤れば、本人は申すにおよばず、周囲の人達にも恐しい悲惨な光景がもたらされる。しかしながら、この恐しいBe障害も、その使用に充分の注意と管理を怠らなければ少しも恐れる必要はない。

当研究所においては、BeO研究グループの研究開始以前にBe障害の問題について事前に調査を行ない、調査結果を参考にしつつ、研究開発途上Be障害の問題が発生しないよう予防と安全管理の面について常に充分な注意を払いつつ今日に至っている。

筆者にはこの種問題については文字通り専門外のことが多く、また医学的な問題については不明な点も多々あるが、本章では現在までに、研究開発上BeOを扱って体験した事項や、調査した文献等をもとにしてBe障害の予防と当研究所における安全管理について簡単に述べてみたいと思う。

## 1. Be障害

Be障害は、大別して次の三つに分類される。<sup>1)</sup>

- 1) 皮膚疾患および外眼部疾患
- 2) 急性呼吸器疾患および内臓疾患
- 3) 慢性呼吸器疾患および内臓疾患

Be障害を起す恐れのある単体および化合物は、金属ベリリウム(Be)、ベリル(緑柱石<sub>3</sub>BeO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·6SiO<sub>2</sub>)等のけい酸ベリリウム塩、硫酸ベリリウム(BeSO<sub>4</sub>)、フッ化ベリリウム(BeF<sub>2</sub>)、炭酸ベリリウム(BeCO<sub>3</sub>)、水酸化ベリリウム(Be(OH)<sub>2</sub>)等であるが、各種の化合物のうちで最も危険なのは酸化ベリリウム(BeO)であるといわれている。また、Be障害に対する抵抗力が個人別にはなはだしい差があるといわれ、先進国のアメリカにおける調査では、0.2%の人が体质的に障害を起す可能性があるといわれているが、わが国においては、島氏の調査<sup>2)</sup>によれ

ば発病率は急性中毒症で25%，慢性症で0.1～4%と報告している。

総括的にみて、Be障害の警戒の必要さは大きく三つに分けられる。

- 1) 警戒度の少ない作業
- 2) いくらか警戒を要する作業
- 3) 最も警戒を要する作業

当研究所のBeOグループの研究内容を検討すると、上記1)の項に相当する研究項目として、単結晶の物性測定、2)の項に相当する研究項目として、薄膜の合成研究、焼結研究、連続溶媒抽出研究、3)の項に相当する研究項目として、フラックス法による単結晶合成研究が考えられる。警戒度の必要の大きさに従って各研究項目毎に安全管理を実施している。これについては後の章で詳述したい。ここで注目されることは、Be含有量3%以下の化合物を取り扱う場合は、過去に被害の実例が出ていないことである。

次に、Be障害の現象について簡単に記す。

### 1-1 皮膚疾患および外眼部疾患

Beおよびその化合物に触れると発疹、浮腫、水泡などができる、また傷口から皮膚に入ると潰瘍となってなかなか治りにくい。筆者はかって、ひげ剃り後の僅かな切り傷にBeOの粉末が実験中に附着したのを気付かずにいたために、その部分が潰瘍となり全治迄に可成りの期間を要した。ひげ剃り程度の僅かな傷でも充分に注意する必要を痛感した次第である。

警戒度の大きい作業に従事している場合、ちょっとした不注意によってかなりのdamageを受けるから充分な注意が絶対に必要である。かって、BeO合成に使用した電気炉の一部を補修するためにゴム手袋を外して細部を補修し、その後充分に手を洗滌したつもりでいたが、一週間位経ってから両手のひら一面に水泡ができ、一部は結節状の様相を呈し、完治するまでに3ヶ月有余を要したことがあるが、要は絶対に直接BeOに触れないこと、取扱い時は充分に注意しても注意し過ぎることはない。

また、外眼部にBeが入った場合は、結膜の表層性潰瘍、角膜の浮腫などの症状が現われるといわれている。

### 1-2 急性呼吸器疾患および内臓疾患

Beの可溶性塩、およびBeOを吸いこむことによって起る。約2～10週間に発病し、次に掲げる症状がおおむね順次に認められ（Be化合物の種類により症状の程度または発現順序に多少の相異がある）胸部X線直接撮影によって、右心第2弓膨隆、気管支肺炎様陰影、もしくは播種状結節像が認められると言われている。

- (1) 食欲不振
- (2) 体重減少、肺活量の低下
- (3) 肝臓肥大
- (4) 筋肉痛（腰痛、背痛、上胸部筋肉痛）
- (5) 咳
- (6) 咽喉炎

- (7) 痰
- (8) 息切れ
- (9) チアノーゼ
- (10) 動悸 等

その他、肺炎や肺結核に似た初期現象が起るほか、これらに付随した内臓疾患が起ることがあるが、それの中にはBe障害特有のものでない症状もあるから診断を誤らぬよう慎重な態度が必要である。

急性の場合は、手当てが早いと症状は急速に良くなるが、 第10-1表  
手遅れになると危険である。アメリカにおける調査<sup>3)</sup>では、Be 慢性症発生までの期間

曝露からどの位の期間で慢性症が発生しているかを第10-1表に示す。	1ヶ月以内	126(40.6%)
	1~12ヶ月	27( 8.7%)
	1~ 5年	89(28.7%)
	5~10年	56(18.1%)
	10年以上	12( 3.9%)

### 1-3 慢性呼吸器疾患および内臓疾患

上記急性呼吸器疾患の状態で更に病状が進行し、肺を主病変部として、肝、脾、腎、骨髄にも病変を生じうる予後不良の全身性疾患をさすもので、この状態になると完治は極めて困難といわれている。

慢性症の死亡率については、アメリカでの調査報告<sup>3)</sup>を例にとると第10-2表に示すごとく各業種とも極めて多数の死者を出しており、死亡率は他のどの疾患よりも高いことが注目される。

また、工場周辺住民の死亡率が極めて高いことも注目されるが、これは主としてBeで汚染された衣服と接触したために発症したものであって、極めて恐ろしい結果といわざるを得ない。上記のような悲惨な結果に対して現在の医学ではどの程度の治癒率があるであろうか。アメリカでの100例の患者に対する副腎皮質ホルモン使用による効果<sup>3)</sup>は、次の第10-3表に示すように比較的生存率が高い。

第10-2表

慢性ベリリウム症の職種別死者数及び死亡率

業種	(1966年)			計
	生存	死亡	死亡率	
抽出・溶触作業	57	21	27%	78
ケイ光ランプ製造	170	79	32	249
原子力関係	33	6	15	39
ネオング	8	15	65	23
セミラック	12	9	43	21
機械工業	12	9	43	21
電極	11	8	42	19
合金	3	10	77	13
チューブ製造	2	7	78	9
その他	3	-	-	3
計	311	164	35%	475
工場周辺住民	29	31	52%	60

第10-2表

慢性症の治療

病歴	5年以内 5-10年 10年以上		
	治療群(計)	-	9 32
生存	-	9	29
死亡	-	0	3

即ち病歴10年以上の32名中死亡者は3名(9.4%)

これに対して同じく未治療群では

病歴	5年以内 5-10年 10年以上		
	未治療群(計)	21	6 19
生存	4	0	17
死亡	17	6	2

5年以内の病歴の者21名中死亡17名(80.9%), 5-10年全例死亡, 10年以上19例中2(10.5%)

以上Be障害について大略述べたが、この恐ろしいBe障害の発生要因は何かという問題を以下に述べてみたい。

## 2. Be障害発生要因

一般にBe粉塵の大量曝露で急性症に、少量長期曝露で慢性症になるといわれているが、大量曝露とはどの程度の粉塵量で、かつどの位の時間をさすのであろうか。これに関しては、種々の報告<sup>2), 4)</sup>があり、空気中の粉塵濃度BeSO<sub>4</sub>の場合9~18 γ/m<sup>3</sup>, BeOの場合40~60 γ/m<sup>3</sup>程度の曝露で急性症になったとの報告もあり、また、ある医師の個人的見解では100 γ/m<sup>3</sup>の粉塵濃度で曝露された場合は例外なく急性Be肺炎になるともいわれている。また、フッ化ベリリウム(BeF<sub>2</sub>), 硫酸ベリリウムの高濃度のfumeを1回のみ、しかも僅か数分以内の吸入によってもBe障害は発生するといわれる。しかしながら、別の医師の見解によれば、70 γ/m<sup>3</sup>の粉塵濃度中での作業でもなんら障害らしいものはないともいっている。以上の事項を検討してみると、Be障害が発生した同じ現場で、同じ条件のもとに働いた者の内の一  
部しか発生をみていない事実は、粉塵濃度と発病との関係が必ずしも正相関であるとは断言出来ない。これは個人別の体質の差の問題もあるし、また発生するBe粉塵の粒径にも問題があると思われる。常識的に考えてStokesの法則に従わないBe微粒粉体の量に関連すると考えられる。(2~3 μ>の粒子が問題になると思う。)一般的にいって、第10-4表に示した気中Be濃度許容量が現在の所一応信頼できる許容量と考えられる。

## 第10-4表 気中Be濃度許容量

(1948年USAEC, Beryllium Advisory Committee制定)

- (1) プラント内8時間平均 .....  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下
- (2) 瞬間最大許容量 .....  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下
- (3) プラント近傍 .....  $0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下
- (4) プラント内8時間平均が3ヶ月以上にわたって  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下, あるいは short-term sample で  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の場合は適切なマスクを接着すれば作業してもよい。しかし適当な処置をとってBe濃度を下げるようしなければならない。  
 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上になった時は直ちに作業を中止する。

第10-5表, 第10-6表, 第10-7表にそれぞれの作業条件における粉塵量, 粉塵粒度分布, 粉塵濃度について測定した例を示す。

## 第10-5表 気中Be濃度測定例

Be Metal Cuttingを条件とBe dustの発生量

(J.Cholackによる)

使用機械	切削条件	排気の有無	Be濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
16×54 Axelson Lathe	Rough	on	0.66
	Smooth	on	0.22
	Smooth	off	560.00
	Rough	off	585.00
	-	on	0.70 *
Posdick Drill Press	-	on	0.86
	-	off	99.00
	-	on	0.22
Kearney and Trecker Milling Machine	Rough	on	0.25
	Smooth	on	0.65
	Smooth	off	178.00
	Rough	off	150.00

\* 作業終了 1時間後の測定

第 10 - 6 表  
Be Metal の Cutting により発生する dust の粒度分布  
(J.Cholack による)

Machine	Exhaust	Total Found	In Particle Size		
			< 10 $\mu$	< 20 $\mu$	> 20 $\mu$
Lathe (Smooth Cut)	off	560.0	0.12	2.32	557.68
Lathe (Rough Cut)	off	585.0	0.29	2.16	582.84
Drill Press	off	99.0	0.16	3.96	95.04

第 10 - 7 表 ロータリーポンプ排気ガス中の Be 濃度  
真空蒸着実験中 (J.Cholack による)

Be 溶解量	気 中 濃 度	備 考
1 g $\gamma$	0.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下	ロータリーポンプ排気口より 1m の地点
10 g $\gamma$	0.03~0.09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

### 3. 本研究所における Be 障害の対策および安全管理

当研究所における Be 障害に対する健康管理方式を第 10 - 8 表に示す。表から判るごとく、定期診断としては年に 2 回、健康調査として週に 3 回、体重、肺活量、自覚症の測定および記録を実施している。定期診断は、神奈川県川崎市の関東労災病院で実施し、健康調査は、無機材質研究所所定の備付け器具によって記録している。

Be 障害に対する安全管理方式が万全であれば、勿論定期診断および健康調査は最低で済む筈であるが、限られた研究費の中からねん出した予算の枠内で Be 障害を絶無にする事は不可能に近い。以下に第 2 研究グループの研究課題の内で特に安全管理のために必要とされる装備について述べてみたい。

#### 1) 警戒度の最も大きい実験項目

前述したごとくこの項に相当するものは、主としてフラックス法による BeO 合成実験および BeO を含む分析試料の乾溜、蒸発乾固時に発生する fume および BeO 粉末の発生による汚染である。この対策としては、室内床清掃用に、American Cleaning Equipment co - rp 製の X - 100 型 vacum Cleaner "Minutman" (0.3  $\mu$  以上の粒子を 99.97 % 集塵する能力あり、wet.dry 両用に使用可能、米国原子力委員会で臨界浄化用として採用されている。) fume 発生除却には dalton の walk in draft. 同じく clean bench および vacum dry box

を併用している。(第10-1図, 第10-2図) draft および

## 2) 比較的警戒を要する実験項目

この項に相当するものとしては, BeO薄膜の合成実験, BeO焼結機構の研究装置, 連続溶媒抽出装置等があるが, 前述1)と比較して特にBeO汚染に対する対策はなく, むしろ共通して使われる各種真空パイプの出口汚染ガスを洗滌装置に送気するだけにとどめている。

## 3) 警戒度の少ない実験項目

この項に相当するものとしては, 主として合成された単結晶等の物性測定があるが, Be障害に対する対策として特別なものはない。

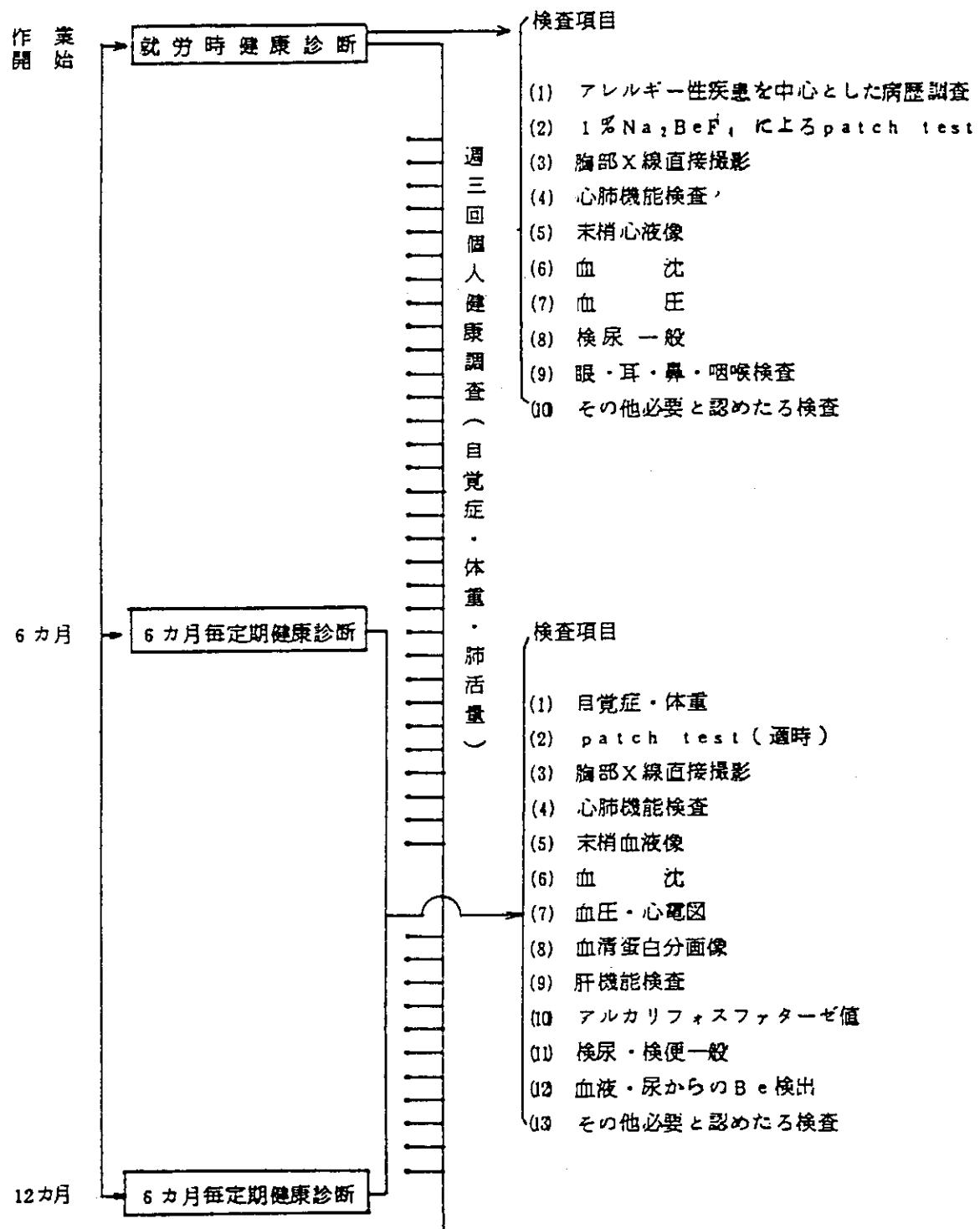
以上1)~3)で共通して実施している事項は防塵マスクの着用, ゴム手袋の常用, 特殊無塵実験衣の着用, 実験室内での専用スリッパの使用を実施している。また, 別途 sampler を製作し(第10-3図), 任意の作業条件における大気中のBeOおよびBe化合物の合塵量測定を実施し,  $2\text{ }\gamma/\text{m}^3$ 以上になった場合は適切な処置を講じ, 常時安全な状態で実験ができるよう努めている。

clean benchより吸入したBeOおよびBe化合物等の粉塵およびfumeは屋上に設置した洗滌装置にて充分洗滌された後, 大気中に放出され, Be化合物で汚染された洗滌水は地下水に放流される。もちろん, これら実験に供用される室は減圧(-2~4mmH<sub>2</sub>O)されている。

## 文 献

- 1) 三島編; ベリリウム 新金属協会
- 2) 島正吾; 産業医学, 6, Vol.13, No.8, 1961
- 3) 島正吾; 欧米における慢性ベリリウム障害の実態と健康管理方式  
(海外出張報告)
- 4) 上田英雄他; 日本胸部臨床, 19~10, 707, 1960

第10-8表 第2研究グループ研究員の健康管理  
(技術員, 事務員を含む)



(A4) 講演：ベリリウムの障害について<sup>(27)</sup>

(藤田保健衛生大学医学部、島 正吾)

日本原子力学会・ベリリウム技術研究特別専門委員会議事録より

日本ガイシの嘱託医として30年間ベリリウムに関わっている島正吾氏が講演された。金属による健康障害の発生パターンとしては、刺激性、中毒性、発がん性、非特異性反応、感作性があるが、ベリリウムの場合にはいずれのパターンにも対応する。同じ肺炎でも中毒性と感作性は異なり、前者は高濃度Beによるものであり、後者は低濃度でもそれによりアレルギーとなりそれが引き金として作用するものである。障害を受ける部位としては、呼吸器、皮膚・粘膜などがあるが、呼吸器での症状が重く刺激性と中毒性による急性なものと症状の発現が遅い慢性なものがある。ドイツのWeberとEngelhardtによる急性Be症に関する報告(1933年)以来、症例の報告があるが、曝露に関するデータのない報告ではBe症としての信頼性は疑問である。急性肺炎として島氏が27例みているが、曝露3ヶ月程度で息切れや乾いた咳の症状から始まり20日程度で最も重くなる。急性症は主に可溶性Be、慢性症は低温か焼BeOや金属Be表面の活性BeOにより起こる。許容濃度としては、日本では $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ としている。急性症例では $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の場合がほとんどである。急性呼吸器症状は主にBeF<sub>2</sub>やBeSO<sub>4</sub>など可溶性のBeで起きている。1958年から1989年までの日本ガイシでの延べ7271人での発生率は、肺27、気管支炎49、皮膚炎195、結膜炎51、慢性症7例であるが、肺炎は1969年以降ではなく、管理体制が確立したことによる。なお、慢性症の発症までの期間は10年以上経ってからであった。

急性の場合は症状が先にあらわれるが、慢性の場合はレントゲン写真の結果よりわかる。レントゲン写真の様子はじん肺と似ているため、その判断は注意しなければいけない。米国でのベリリウム肺の報告例としては、557例あるが、そのすべてがベリリウムによるかどうかは疑問である。日本での慢性Be症としては20例あり、そのうち7名は死亡しているが自然に治った人もいる。Be曝露からの潜伏期間は、1960-1981年間のデータでは米国で6.6年、日本でだいたい7年であり、6~7年と考えて良い。したがって、検診(臨床、肺機能、X線など)の期間としては倍として15年間行うと良い。30年間におけるベリリウム作業従事者の観察及び動物実験の結果から、Be濃度を気中で $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下に制御できるならば十分に安全であり、常時 $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下では病気はきわめて起こりにくいと言える。

(A5) 慢性ベリリウム症の臨床診断と予防管理<sup>(5)</sup>

島 正吾\* 吉田 勉\*  
谷脇 弘茂\*

The Clinical Diagnosis of Chronic Beryllium Disease and It's Medical Control

Shôgo SHIMA, M. D.\*; Tsutomu YOSHIDA, M. D.\*  
and Hiroshige TANIWAKI, M. D.\*

Beryllium (Be) hypersensitivity is attributed to the antigenicity, persistency and adjuvanticity following exposure to some activated Be compounds. The antigenicity of Be is indicated by positive results with the skin patch test, the macrophage migration inhibition test (MIT) and the lymphoblast transformation test (LTT).

This disorder must be differentiated from other pulmonary disease, such as pneumoconiosis, miliary tuberculosis, sarcoidosis and chronic hypersensitivity pneumonitis. Among these disorders, sarcoidosis is more similar both immunologically and histopathologically. The incidence of this disorder is extremely low compared to other occupational disease, and many cases have a long latency period between the exposure to Be and the onset of disease, since the disorder originates from immuno-allergic responses to Be exposure.

ベリリウム (Be) による過敏反応は二、三の活性化 Be 化合物による antigenicity, persistency, 及び adjuvanticity に起因する。Be による antigenicity は皮膚パッチテスト, マクロファージ遊走阻止試験 (MIT) 及びリンパ球芽球化試験 (LTT) などの陽性反応によつて表示される。

本症はじん肺, 粟粒結核, サルコイドーシス, 慢性過敏性肺炎との鑑別を要する。これらのうち, サルコイドーシスは免疫学的にも, 又, 病理組織学的にも最も本症に類似する疾患である。本症の発生頻度はその他の職業性疾患に比べてきわめて低率であり, また多くは Be 暴露から本症の発生までに長い潜伏期間を有する。これらのこととは, 上記の臨床病理学的所見に加えて, 本症の成因が Be 暴露による生体免疫アレルギー反応に強く関与するものとして注目される所である。

## 1. ベリリウムとその化合物

ベリリウム (以下 Be と略記) とその化合物は緑柱石やグラナイト等から抽出され, 原鉱石は主にブラジル, アルゼンチン, ジンバウエ, 南アフリカや北米から産出される。Be の抽出は硫化物

又はフッ素化物工程によつて行なわれ, 両者とも Be (OH)<sub>2</sub> を経て, ベリリヤが生産される。

Be は高い強度・密度割合, 著しい硬度, 良好的な電気・熱伝導性や, さびや熱変動に対する高い抵抗性を有する。また,  $\alpha$ 粒子に放射されると多量の中性子を産生する。最もありふれた Be 合金である Be-銅は, 非磁性で非スパーク性を持つ。BeO は, 最も安定した化合物で, 高い熱伝導性, 低い熱膨張性, 絶縁性や, 低い中性子吸収

\*藤田学園 保健衛生大学 医学部 公衆衛生学教室

\*Department of Public Health, Fujita-Gakuen Health University School of Medicine

## 島・吉田・谷脇：慢性ベリリウム症の臨床診断と予防管理

性をもつてゐる。BeO は約1600°C (高燃性), 又は 500~1000°C (低燃性) の両者によつてつくれられる<sup>1)</sup>。

“高温煅焼”の BeO は “低温煅焼” のものより, おそらく結晶構造の相違のために, 生物学的により活性が低いと信じられている<sup>2)</sup>。

低温煅焼 BeO は, 生体内では高温煅焼物より溶け易く, その他 Be 化合物のうちハロゲン化物は両者よりさらに溶け易い。このことは肺からの Be のクリアランスのあり方に何らかの関連を持つている。

Be 発光体は外部放射線によつて刺激された時, リン光を発する物質である。BeO を含む Be 発光体は, アメリカでは1949年, 英国では1950年初期までは蛍光管製造の主原料として使用されていたが, Be 障害の発生のために全面的に使用が中止され, 発光体ハロゲンリン酸におきかえられた<sup>3)</sup>。

## 2. 主な用途

Be は, 金属, 合金及び工業原料として, 種々の産業分野で用いられている。金属 Be は宇宙開発用構造体, 航空機用制御部品, 原子力構造材, X線管などに用いられているが, 日本での需要は多くない。

Be-銅母合金は, その秀れた金属特性から, 展伸材(電子・家電部品, 自動車部品, 精密器械部品), 鑄・鍛造材(安全工具, 溶接用電極, ガンアーム, 精密铸造品)のほか, 金型キャビティなどに用いられる。

BeO は熱伝導体であると同時に電気絶縁体であり, セラミックス部品, るつぼ, 熱被覆材の製造, 原子炉等に用いられる。また, 航空機構造材料, 慣性誘導システム, ロケットモーター部品, 航空機用ブレーキにも利用される。

Be を含有するその他の製品には, 人工エメラルドの製造, 釣ざお, 自転車用スナーク, 歯科用プレート, 炉用レンガやスパークプラグその他がある<sup>4)</sup>。

我が国産業界における Be の研究開発は, 昭和5年ごろから磁器や釉薬への応用研究がみられ,

また昭和14年には航空機の軸受材料として小規模な生産活動が行なわれていた。その後, 我が国の産業界における Be の需要は急速に増大し, 生産活動は本格的な発展を遂げた。しかし, 昭和51年以降, 慢性 Be 症の発生の恐れが大きい低温度煅焼・高純度 BeO の製造及び同ベリリア磁器一貫製造作業はすべて中止された。そして現在では, これらの BeO 原料はすべて米国から輸入されており, またベリリア磁器は半製品の輸入によつて賄われている<sup>5)</sup>。

## 3. Be 暴露のパターン

## 1) 自然界での Be 分布

自然界では Be は海水0.006 ppb, 河川水0.01 ppm, 土壤 0.1~40 ppm (平均 6 ppm) に含まれる<sup>6)</sup>。我が国の非汚染地域土壤中には, 平均1.28 ppm (0.50~1.95 ppm, 乾燥土) に検出され<sup>7)</sup>, この数値はアメリカ (0.28 ppm) のそれと同程度になつてゐる<sup>8)</sup>。次に大気については, アメリカの都市圏では 1.0~2.0 ng/m<sup>3</sup>, 非都市圏では 0.13 ng/m<sup>3</sup> が検出されている (1970)<sup>9)</sup>。我が国では, 数地域で 0.5~4.5 ng/m<sup>3</sup> が<sup>10,11)</sup>, また Be 工場周辺300m以内の大気では0.01~0.03 ppm が検知されたことがある<sup>12)</sup>。植物類では, 樹木3~5 ng/kg, 野菜類 0.08~0.24 ng/g が検される。また市販紙巻きタバコ 1 本中には 2.7 ng ~ 28.0 ng が検出されている<sup>13)</sup> (表1)。通常, 飲食物からの Be 摂取量は 12 µg/日, 空気中から 0.04 µg/日とされる<sup>9)</sup>。

次に生体内 Be 分布は, 非職業人において脳, 心, 腎に 2 ppb 以下, 肝 9 ppb, 肺 1.4 ppb, 筋肉 3 ppb, 皮膚 40 ppb, 血液 0.1 ppb 以下であり<sup>6)</sup>。また肺 0~19.8 ng/g, 血液, 尿からは Be は検出しないとの報告もある<sup>14)</sup>。非 Be 暴露者の剖検肺内中 Be 濃度は174資料について 0.002~0.075 µg/g が検出されている<sup>15)</sup>。

## 2) 職業性 Be 暴露

Be 及びその化合物の生産, 製品製造等にかかる一次的(直接的)汚染と, Be 作業者の行動範囲, 各種 Be 製品の取扱にかかる二次的(副次的)汚染がある<sup>16)</sup> (表2)。一次的汚染として

## 住友産業衛生

表1 タバコ中ベリリウム量

タバコの銘柄	タバコ1本中のBe量 (ng/cig)				タバコ1g中のBe量 (ng/g)			
	a	b	c	平均値	a	b	c	平均値
キャビン85	22.5	28.0	23.5	24.7	27.8	34.9	29.6	30.8
マイルドセブン	13.5	25.8	20.3	19.9	17.9	33.5	26.8	26.1
セブンスター	19.8	17.4	17.5	18.2	25.0	21.3	22.5	22.9
マイルドセブンセレクト	17.0	19.0	17.5	17.8	22.8	24.1	22.8	23.2
ホーブ	12.3	10.3	11.8	11.5	16.2	12.6	14.1	14.0
ハイライト	12.5	11.0	8.0	10.5	15.1	13.0	9.8	12.6
チェリー	11.2	4.1	10.9	8.7	14.0	8.2	14.1	12.1
キャビン 85マイルド	3.6	8.6	11.5	7.9	17.2	7.0	10.9	11.7
シャンパニュ	12.2	7.7	3.5	7.8	8.3	13.8	9.6	10.6
みね	11.5	7.7	4.2	7.8	10.1	7.2	13.8	10.4
ピース	6.0	7.0	8.5	7.2	6.7	7.8	9.4	8.0
テンダー	9.9	5.1	5.8	6.9	10.2	12.7	7.5	10.1
パートナー	9.3	2.6	8.0	6.6	13.0	5.1	10.8	9.6
キャスター	5.4	4.5	6.4	5.4	8.0	9.0	9.3	8.7
平均値	11.9	11.3	11.2	11.5	15.1	15.0	15.1	15.1
標準偏差	±5.3	±8.1	±6.2	±6.1	±6.5	±9.7	±7.3	±7.4

表2 職業上の危険性<sup>16)</sup>

1. 蛍光ランプ作業者 (1951年以降はなし)
2. 金属作業者
  - ベリリウム金属
  - 合金
  - 廃品廃棄物
3. セラミックス製造者
4. 電気工業
  - トランジスター
  - 熱電対
  - 陽極及びX線管
5. 原子力工業
  - ロケット燃料
  - 熱シールド
6. 原鉱石からのベリリウム抽出
7. 実験研究
8. 近隣症例

は、母合金の製造、半製品の成型、加工、仕上、製品の検査、荷作り等がある。このほかに開発、試験、研究等の間接部門での汚染がある。二次的汚染としては、製造部門での室内汚染(床、窓、梁、机等)、更衣室、食堂、便所、浴室、洗濯室、Be工場に隣接作業場等での汚染がある。

## 3) 非職業性暴露

1938年北米においてBe工場周辺の一般住民に慢性Be症が発生し、この種の症例は工場隣接症例(neighborhood cases)と呼ばれた<sup>17)</sup>。1983年までに合計65の隣接症例が報告されている<sup>18)</sup>。

近隣症例の発生原因は、工場周辺環境調査により、工場より約1.5km以内では工場排気中Beによる直接汚染により、またそれより以遠では、Be作業者の汚染作業衣の家庭内への持ち込みによる洗濯、アイロン仕上げなどによる主婦への影響が注目されてきた。

島・吉田・谷脇：慢性ベリリウム病の臨床診断と予防管理

## 4. Be 障害と発生状況

## 1) 急性 Be 症

最初に Weber と Engelhardt (1933)<sup>19)</sup>によつてドイツで、その後北米において Van Ordstrand, Hughes と Carmody (1943) によつて多数の症例が報告された<sup>20)</sup>。大部分は可溶性塩によつて発生し、その重症度は暴露の強さに影響される。結膜炎、角膜潰瘍、アレルギー性眼瞼炎とアレルギー性接触性皮膚炎をみる。皮膚のすり傷へのベリリウム塩の侵入は、難治性潰瘍をおこす。

表3はわが国の某Be精錬工場でのBe障害の発生状況を示す。急性症は1974年以降全く発生をみていない。

Beによる呼吸器障害では上部気道炎、気管・気管支炎、肺炎、肺水腫が発生する。これらのうち臨床的に最も重篤なものは、肺炎及びこれに続発する肺水腫である。

急性肺炎の発生にはアレルギーの関与が強く示唆される。我が国の某工場での本症の発生頻度は、1958～1986年に延べ6,770名のうち27名(0.4%)となつてゐる。本症は比較的高濃度暴露によ

表3 ベリリウム精錬工場におけるベリリウム障害の発生状況

		急 性 障 害					慢 性 ベリリウム 肺
年度	従業員数	急性肺炎	気管支炎	接触性皮膚炎	眼結膜炎	皮膚潰瘍	
1958	38	6(15.8)	11(28.9)	21(55.3)	5(13.2)	5(13.2)	0
1959	46	2( 4.3)	2( 4.3)	5(10.9)	1( 2.2)	2( 4.3)	0
1960	78	7( 9.0)	10(12.8)	19(24.4)	10(12.8)	8( 5.4)	0
1961	110	2( 1.8)	0	25(22.8)	12(10.9)	0	0
1962	147	3( 2.0)	3( 2.0)	26(17.7)	5( 6.4)	2( 1.4)	0
1963	242	2( 0.8)	1( 0.4)	24( 9.9)	6( 2.5)	1( 0.4)	0
1964	247	1( 0.4)	0	15( 6.1)	4( 1.6)	0	0
1965	284	1( 0.4)	1( 0.4)	5( 1.8)	0	1( 0.4)	0
1966	281	1( 0.4)	3( 1.1)	4( 1.4)	4( 1.4)	6( 2.1)	0
1967	302	0	7( 2.3)	23( 7.6)	1( 0.3)	1( 0.3)	0
1968	325	1( 0.3)	5( 1.5)	2( 0.6)	0	0	0
1969	326	0	5( 1.5)	5( 1.5)	0	0	0
1970	370	0	0	8( 2.1)	0	0	0
1971	481	0	0	6( 1.2)	0	0	0
1972	370	1( 0.3)	0	5( 1.4)	0	0	0
1973	383	0	0	2( 0.5)	0	0	2( 0.5)
1974	408	0	1( 0.2)	0	0	0	0
1975	365	0	0	0	0	0	3( 0.8)
1976	237	0	0	0	0	0	0
1977	180	0	0	0	0	0	0
1978	133	0	0	0	0	0	0
1979	130	0	0	0	0	0	0
1980	102	0	0	0	0	0	0
1981	137	0	0	0	0	0	0
1982	137	0	0	0	0	0	2( 1.5)
1983	205	0	0	0	0	0	0
1984	242	0	0	0	0	0	0
1985	233	0	0	0	0	0	0
1986	231	0	0	0	0	0	0
合計	6770	27(0.41)	49(0.72)	195(2.88)	51(0.75)	23(0.34)	7(0.10)

## 住友産業衛生

つて発生する。多くは初回 Be 暴露後数カ月以内に発生し、肺の肉芽腫性細胞浸潤を主病変とする。100 µg/ml 以上の高濃度暴露では一次性刺激による肺炎の発生が示唆されており、また 2~8 µg/ml またはそれ以下の環境下では、本症の発生報告はない。急性肺炎の予後は良好であり、我が国では死亡例はなく、また慢性 Be 症への移行例もみられない。本症の発生は最近では全くみられない。

## 2) 慢性 Be 症

慢性 Be 症は1948年、Hardy と Tabershaw が第一例を報告した<sup>22)</sup>。本症の主病変は、肺のびまん性間質性肉芽腫症の形成であり、その発症並びに病態をとおして、Be による免疫学的影響、特に細胞性免疫の関与をみる。Be 肉芽腫の形成は、Be の生体に対する antigenicity<sup>23,24)</sup>, persistency<sup>25,26)</sup> 及び aduvanticity<sup>27)</sup> に起因する。米国では最近までに、急性症224例、慢性 Be 症622例（うち職業性暴露557例）が報告されている<sup>18)</sup>。

米国における本症状況は表4のように、Be 工業の衛生管理が導入された1949—1950年以前は、大部分の症例が蛍光ランプ産業において Be 発光体の暴露をうけて発生した。1960年以降に発生した症例は、ベリリウム抽出とセラミックス産業、原子力研究そしてとくに航空機と宇宙探査産業におけるベリリウム合金の製造などで発生している。一方 Be-Cu 合金の冷間加工 (cold-fabrication) では、本症の発生は僅かに11症例を数えるにすぎない<sup>28~31)</sup>。Eisenbud は北米では30,000人

表4 職業上慢性 Be 症の原因 (1983)<sup>18)</sup>

	症例
蛍光ランプやネオンチューブなどによる発光体の使用	319
ベリリウムの抽出	101
実験研究室	29
ベリリウム銅	
精鍛作業	22
冷間作業	11
ベリリウム金属加工 (研究より他のもの)	47
セラミックス	11
不明	17
合計	557

余の人々が Be 暴露をうけており、その90%以上がこの合金の冷間加工に従事しており、この発生頻度の低さは医学的には注目すべき所見であるとしている<sup>18)</sup>。彼はこれらの11症例の医学的ファイルは、これらの症例について慢性 Be 症の診断内容の多くが疑わしいものであり、基本的な疑問は慢性 Be 症が2.5%以下の冷間加工からの Be 暴露によつて発生するかどうかということであり、この種の Be 暴露下にある多くの人々のために、この疑問はもつと詳細にかつ科学的に検討るべきであると述べている。

イギリスでは1980年末までに42症例が発見された<sup>32)</sup>。1966年以来、米国 Be 症例登録に新しく加わった76例のうち、53例は男性で23例は女性であった。そして両性における発生の平均年齢は、より若くなる傾向である<sup>1)</sup>。

一方、わが国では現在までに20例が報告され、うち4名が死亡している。

## 5. 慢性 Be 症の病態と臨床診断

本症の発生機序は、当初 Be 及びその化合物による物理化学的毒性の影響が重視された。1950年代以降は Be による細胞性免疫、ひいては遅発性アレルギーとの関連において、多くの研究報告がみられるようになつた<sup>33~35)</sup>。また近年、本症の病因論的解析を通して、その発生には体液性免疫反応の関与も指摘されている<sup>36)</sup>。

今日では、本症の発生に係る臨床病態や、Be 暴露量や暴露期間、発生までの潜伏期間等については、かなり明らかになつてゐる。しかし、本症の病態はいわゆるアレルギー性類上皮細胞性肉芽腫症としての特徴をもち、その臨床像はことに肺サルコイドーシスとの鑑別において、多くの医学的困難性をもつてゐる。

## 1) Be 暴露歴調査

慢性 Be 症の診断には、第一に過去における Be への接触、暴露とその程度が明らかにされねばならない。

職業上暴露については、取扱 Be の種類と物理化学的特性、Be 暴露状態（暴露の態様、作業時間、作業方法、収塵・排塵設備、保護具）、暴露

## 島・吉田・谷脇：慢性ベリリウム症の臨床診断と予防管理

Be 濃度（作業環境濃度：時間荷重平均濃度、暴露の持続性）、暴露と発病との時間的関連性（暴露開始から発症までの期間、暴露中止から発症までの期間等）の詳細な検討が必要である<sup>37)</sup>。

## 2) Be 暴露の種類と暴露量

慢性 Be 症の発生と Be 暴露の関連については、米国症例の大部分は表 4 のように1949年以前の Be 暴露者であり、主たる原因は蛍光管製造等に用いた Be 発光体 (Be-phosphors) によるとされる。なお、Be 発光体は1948年以降は蛍光灯には使用されてはいない。当時の Be 暴露レベルとして  $11.3 \sim 43.3 \text{ mg/m}^3$ ,  $1.3 \sim 0.7 \text{ mg/m}^3$ ,  $110 \sim 553 \text{ mg/m}^3$  など、いずれもきわめて高濃度の暴露が報告されている<sup>18)</sup>。1950年以降、Be 暴露環境は急速に改善され、さらに1969年には大部分の Be 生産工場において、常態として Be 職場における時間荷重平均濃度は、 $2 \mu\text{g/m}^3$  以下にあるよう管理が強化された。

しかしこの間にあつて、1966年以降の Be 暴露者の中から、少数例ながら新規患者発生があり、ことにこれらの患者が一応 Be 環境管理が徹底したとみられる。合金セラミックス作業者などから発生していることが注目されている。

我が国における慢性 Be 症の発生は、表 5 のように1964年以降、5 事業所において合計20名（男10名、女10名）であり、その発生頻度は自験例では過去29年間に延 Be 暴露者6770名中 7 名 (0.10%) ときわめて低率である。

わが国における20症例では、19症例が高純度低温度煅焼 BeO に暴露する機会を有し、1名のみが金属 Be 切削加工者からの報告である<sup>38)</sup>。なおこれらはいずれも  $2 \mu\text{g/m}^3$  前後の低濃度 Be 暴露環境に従事していたことが指摘されている。

## 3) 暴露から発生までの期間

従来慢性 Be 症は、Be 暴露開始から発症までに10年以上の長い潜伏期間があるとされてきた。しかし近年における米国症例の検討では、1960年以降（表 6）では6.6年に潜伏期間が短縮されている。そしてその理由として、最近では Be 障害に対する医学的認識度が高まつたり、臨床診断法が進歩したり、あるいはまた社会的関心度が大きく

なつたことが大きく影響しているとされている。

我が国の慢性 Be 症18例中17例では、潜伏期間は7.8年と計算される。

## 4) 臨床症状

慢性 Be 症患者における最も一般的な症状は、体動時の呼吸困難感であり、一部の症例ではこれが唯一の症状であることもある。次に多い症状は、痰を伴なわない乾性咳であり、この咳は気管支壁の肉芽腫性病変が原因となる可能性がある。

進行例では、体動時の呼吸困難感は次第に増強し、食思不振、倦怠感、易疲労感、体重減少が出現して次第に重症化する。病初期における病状の進展は、副腎皮質ステロイド剤の投与によって抑制され、進行例の臨床症状は多くが軽減する。本症では時に胸痛を伴ない、自然気胸の合併を見る。

しかしながら、慢性 Be 症の多くは、発症からかなり長期間にわたって無症状の者が多く、肺実質性障害による酸素のとり込み、呼吸不全の発現に併せて、呼吸器症状を自覚しやすい。

心肺機能不全による太鼓バチ状指（図 1）はおよそ20%の頻度に認められる。また末端チアノーゼが見られることもあり、また持続する捻髪音とともに胸膜摩擦音がしばしば認められ、肝臓は時にわずかに腫大することがある。

## 5) 肺機能障害

慢性 Be 症で見られる肺機能異常は特異的なものはない。その異常は原因は何であれ、サルコイドーシス、外因性アレルギー性肺胞炎や DIPF におけると同じような変化として認められる。慢性 Be 症の病初期においては、肺内ガス移動の減少が起り、動脈血低酸素症と肺胞気動脈血酸素分圧較差の増悪が見られる。これらの変化は、ステロイド剤の治療によって著明に改善するので、おそらく発生した肉芽腫や肺胞壁の細胞浸潤に起因すると思われる。更に進展例において、結節性あるいはびまん性の線維化が種々の程度に起こると、疾患の重症度に影響する拘束性の障害とガス移動の異常とが重複して出現する。これらの変化はステロイド剤に反応しない、ガス移動の異常は、他の機能検査の指標よりも早期に悪化する傾

## 住友産業衛生

表5 わが国における慢性ベリリウム症20例の発生状況

症例	業種	発病時期	性	発病時年齢	Be曝露状況	曝露開始から発症までの期間	発病後の経過(観察期間)
1	A化学工業	1964,4	男	42歳	Beの化学分析 (月に数回)	5年	死亡(2年)
*2	B窯業	1970,8	女	31歳	精練工場への出入(1日1時間ぐらい), ベリリア磁器放射板のプラスチック棒はめこみ作業	9年4月	生存(16年4月)
*3	B窯業	1970,12	男	23歳	BeO成型加工(3年2月)・BeO製土(1年)	5年9月	死亡(15年5月)
4	Dセラミック	1971,11	男	31歳	BeO成型加工	4年	生存(14年4月)
5	Dセラミック	1972,2	女	47歳	Be接触歴不明	3年6月	生存(14年2月)
6	C窯業	1972,4	女	21歳	ベリリア素地成型(週2時間)	2年1月	生存(14年8月)
*7	B窯業	1972,11	男	43歳	BeO焼成(5月), BeO精練工場への出入(1日1時間ぐらい)セラミック検査, 管理	8年7月	死亡(13年10月)
*8	B窯業	1973,5	男	32歳	BeO製品試作研究(6年4月)	11年2月	生存(13年7月)
9	Dセラミック	1973,12	女	38歳	Be接触歴不明	5年11月	死亡(9年5月)
10	Dセラミック	1974,2	女	28歳	Be接触歴不明	10年	生存(12年2月)
11	Dセラミック	1974,4	男	35歳	BeO成型加工	4年9月	治療後寛解(1年)
12	Dセラミック	1975,4	男	25歳	BeO成型加工	7年1月	生存(11年)
13	Dセラミック	1975,4	男	28歳	BeO成型加工	5年2月	生存(11年)
*14	B窯業	1975,8	女	27歳	Be工場への出入(事故連絡のため, 2年5月) Be粒度分布試験(4年3月)	12月5月	生存(11年4月)
15	Dセラミック	1976,4	女	24歳	Be接触歴不明	6年1月	自然寛解(1年)
16	Dセラミック	1977,4	女	40歳	BeO焼成	10月5月	生存(9年)
17	Dセラミック	1977,4	女	35歳	Be磁器研磨	8年	自然寛解(1年)
*18	B窯業	1977,11	男	32歳	ベリリア磁器焼成	15年9月	生存(9年1月)
*19	B窯業	1977,11	男	41歳	ベリリア磁器試作研究	10年9月	生存(9年1月)
20	E金属加工	1982,4	女	38歳	BeCu母合金の切削加工	4年	生存(4年)

注1: \*一自験例

注2: A化学工業—化学分析(BeO)

B窯業—ベリリア磁器製造(高純度低温度焼成 BeO)

C窯業—ベリリア磁器製造(高純度低温度焼成 BeO)

Dセラミック—ベリリア磁器製造(高純度低温度焼成 BeO)

E金属加工—BeCu母合金の切削加工

## 島・吉田・谷脇：慢性ベリリウム症の臨床診断と予防管理

表6 1922年から現在にいたるまでの潜伏期間の変化<sup>18)</sup>

最初の曝露期間	症例数	潜伏期間・年 平均	範囲
1922—1981	347*	11	1—41
1922—1937	33	16	4—40
1938—1949	264	9.8	1—39
1950—1959	32	9.6	1—25
1960—1981	18	6.6	1—13

\* 症例は最初の暴露と、最初の症状診断の両方の日付が分っているもののみが含まれている。登録されているすべての慢性症例の62%が含まれる。

向がある<sup>39)</sup>。

喫煙と無関係な閉塞性障害が少数例に認められる。拘束性、閉塞性の両方の障害を持つ患者では、主としてガス移動障害を持つ患者に比較すると、低酸素血症の程度や呼吸機能異常の程度は、より大きくなることが認められる。

#### 6) 胸部X線学的変化

慢性Be症では、種々の胸部異常所見がある。肺野両側性ではあるが必ずしも同じ程度ではない異常な陰影は、顆粒状、結節状と線状陰影に分類される。微細で広範な陰影は、ときに肉芽腫性病変内に顕微鏡的石灰化を起こし、高い濃度を示す場合もある。(図2)

これに対して、比較的大きな結節性陰影が上肺野と中肺野に出現し、上肺野の収縮と囊胞形成による透過性の強い領域を伴ないながら、高度肺線維化、気腫化所見を示す。この種の症例では、またしばしば気胸を併発する。(図3・a・b) また広範な、粒状で大結節性陰影にはじまり、進展例では陰影が融合してけい肺などにみる不規則なprogressive massive fibrosis (PMF) (図4) 所見と同じ様相を呈するものもある。

肺門リンパ節の腫大は一般的ではないが、時に中等度以上の腫大をみる(図5)。そして例外的に肺野に何らの異常が無い場合は本症としては例外的であり、その点サルコイドーシスとは対照的である。

本症では従来から自然治癒例が報告されてお

り、また副腎皮質ステロイド剤の使用により著明に改善することもある。しかしこの種のX線上の改善はその後の経過において治療中断などで再発、増悪するものが多い。

#### 7) 免疫学的所見

##### (1) パッチテスト

1951年、Curtisら<sup>34)</sup>は、Be障害者においてBeF<sub>2</sub>による皮膚パッチテストが陽性化することを認め、Beによる細胞性免疫の関与を指摘した。しかし、この種のパッチテストは、局所皮膚への刺激性が強く、パッチテストによつて非Be暴露者にBe感作をひき起こしたり、慢性Be症患者の臨床症状を増悪させるなど、本法の有用性に多くの疑問が投じられた。しかし、このCurtisの研究を契機として、本症の成因に対してBeによる免疫アレルギー、ことに細胞性免疫の関与がきわめて大きいとする見方が次第に強くなり、慢性Be症の発生機序の解明に少なからざる影響を与えた。

一方、これに対して島ら<sup>40)</sup>は、パッチテストに使用するBe化合物と生体反応の関連性を系統的に検討し、Curtis原法に代つてNa<sub>2</sub>BeF<sub>4</sub>を採用し、過去20数年間に延5000人を対象とした成績から、個体におけるBe感作成立の診断に際して、その有用性を強調している。そして本反応が陽性であることは次のことを示唆する。

(イ) 過去にBe暴露歴のない者では、Beに対する自然過敏性(natural hypersensitivity)をもつ。

(ロ) Be暴露歴をもつ者では、その個体がBeによつて感作されたことを示唆するが、障害の有無には関係しない。

(ハ) Be障害者の大部分は陽性であり、また反応度は健康陽性者より著しい。

(ニ) 0.1~0.03μg/mlのBe暴露環境下では本反応は陽性化しない。従つてこの種の暴露下ではBe障害は発生しがたいといえる。

(ホ) Be暴露の程度に拘らず本反応が終始陰性のものがある。

(ヘ) 過去にBe暴露歴をもつ者では、Be障害に類似したその他の肺疾患に対して、鑑別診断上の意義はない。

## 住友産業衛生

## (2) ツベルクリン反応

本反応は慢性Be症診断の一つとして有用な検査法である。Stoeckleら<sup>41,42)</sup>は、本症ではツ反応が陰性化すること、またBe暴露者におけるツ反応の陰性化は、慢性Be症発症の可能性を示唆すると指摘している。

自験6例のツ反応は、就労前には全例陽性であり、発症後には全例が陰性化したことを確認している。しかしサルコイドーシスをはじめ、ツ反応の陰性化をきたすような免疫異常性肺疾患は多く、その意味では本反応の変化は慢性Be症の補助的診断手技の一つにとどまる。

## (3) リンパ球幼若化試験とマクロファージ遊走阻止試験

Be過敏性個体から得たTリンパ球は、in vitroで、Be化合物、あるいは不溶性の酸化物と培養すると反応性が高まり、強い芽球形成傾向を示す。これに対して、同じ状況下でBe過敏性のない個体から採取したリンパ球は芽球形成反応を示さない。また、慢性Be症の臨床的重症度と幼若化の程度との間には、非常に良い相関が認められるとの報告もある<sup>43~45)</sup>。また、Beに過敏性を有する慢性Be症患者のリンパ球は、mitogenであるphytohaemagglutinin (PHA) によって幼若化が著しく促進され、これに対して極めて類似した肺病変を示す活動期のサルコイドーシスのリンパ球は、逆にこの種の反応は抑制される<sup>46)</sup>。このよう

表7 マクロファージ遊走阻止試験(MIT)とリンパ球幼若化試験(LTT)

MIT (0.80<陽性)			LTT (400%<陽性)			
	例数	陽性		例数	陽性	
慢性Be症	6	3(50)	*3(50)	慢性Be症	6	6(100)
		0.52~1.35				0
Be健常暴露作業者	70	17(24.3)	53(75.7)	Be健常暴露作業者	70	2(2.9)
		0.36~1.30				68(97.1)
対照	23	1(4.3)	22(95.7)	対照	15	1(6.7)
		0.47~1.38				14(93.3)
						240~26%

\* ステロイド剤投与中  
( ) 内は%

## 島・吉田・谷脇：慢性ベリリウム病の臨床診断と予防管理

副腎皮質ホルモン剤を使用中であつた。また慢性 Be 症の陽性度は、 LTT で平均2,655% (582~5,428%) であり、他群に比べて強い反応を認められた。

Deodhar ら<sup>44)</sup>は、慢性 Be 症患者35例、Be 工場作業者30例、健常対照者22例、他の肺疾患患者12例を対象に LTT を実施し、患者では25例 (71.4%), Be 作業者では2例 (6.7%), 健常対照者では3例 (9.1%), 他の肺疾患患者では1例 (8.3%) が陽性であつたと報告している。胸部 X線異常陰影を認める慢性 Be 症では、 LTT は多くが陽性反応を示すが、一方治療によって異常陰影が消失すると本反応は陰性化するという報告もある<sup>45)</sup>。これらの事実は Be による感作が可逆性であるとともに、慢性 Be 症の肺病変もまた可逆性を示すことを示唆して興味深い。

このように、 LTT, MIT は検査個体に特定の影響を与えることなしに、慢性 Be 症の診断には極めて有力な手掛かりを与えることができる。しかし一方 Be 暴露者における LTT, MIT の陽性反応は Be による生体感作と、それに係わる慢性 Be 症の発生の可能を強く意味するものではあるが、本反応の陽性化のみをもつて、直ちに慢性 Be 症の存在を意味するものではないことは言うまでもない。

(4) 気管支肺胞洗浄 (BALF)：肺病変部局所の細胞成分・液性成分などを用いて、Be による免疫アレルギー学的状態を知る秀れた検査法である。BALFの細胞成分は通常マクロファージが90%以上を占め、リンパ球は6~10%である。リンパ球の種類では、活性化Tリンパ球 (OKT<sub>4</sub>) が増加するが、Bリンパ球の増減は一定でない。また BALF リンパ球は、末梢血リンパ球より Be-SO<sub>4</sub>, BeF<sub>2</sub> に対して強く反応するが、PHA に対しては逆に反応性が低下する<sup>49)</sup>。このことから BALF の慢性 Be 症に対する診断的意義が注目されている。

## (5) 体液性免疫反応

慢性 Be 症の免疫グロブリン値には、しばしば大きな変動がみられる。また、高γ-グロブリン血症、血清 IgG, IgA 値の高値化などが指摘され、

Be による細胞性免疫に加えて、体液性免疫の関与が注目されている。

多数の慢性 Be 症においては、血清 IgG および IgA の増加や IgM の低下が報告されている<sup>44,50~52)</sup>。自験例でも IgG, IgA に高値を示すものが6名中3名に認められたが、同時に実施した LTT, MIT の成績や臨床症状、副腎皮質ホルモン剤投与の有無等との間には特記すべき相関性は認められなかつた。

最近では慢性 Be 症では、血清γ-グロブリン分画が、増加するとの報告が多い。自験例の Be 健康作業者ではγ-グロブリンが上昇するものは認められず、その成績は職種、作業年数、血清免疫グロブリン値のいずれにも、相互に関連性をもたなかつた。

これらの血清免疫グロブリンの増加は、Be 暴露者における免疫システムについて、一種の防御反応の存在を示唆する。さらに Be には抗体産生能を高める adjuvant としての作用があり<sup>53)</sup>、その結果として血清免疫グロブリンが増加するとし、また Be 暴露者における高γ-グロブリン血症は Be による生体感作の発現を示すとの報告もある<sup>54)</sup>。

このように慢性 Be 症の成因には、細胞性ならびに体液性免疫という生体免疫応答の両面性が示唆されており、今後本症の病態、病因との関係において Be による個体の免疫アレルギー学的意義が検討されねばならない。

## 8) 血清生化学所見

慢性 Be 症肺患者では、血清 Ca 値の上昇、尿中 Ca 値の上昇、高尿酸血症、血清 ALP 活性低下、血清 ACE 値の上昇、血清 LZM 値の上昇等が報告されている。

Be の生体酵素系への影響については、ALP 活性の低下が最も著しいことが報告され<sup>55,56)</sup>、また慢性 Be 症の血清 ACE 値は上昇傾向があることも指摘されている<sup>57)</sup>。

この種の肺疾患での ACE の上界は、主としてその類上皮細胞由来のものであると考えられている<sup>58)</sup>。

また血清 LZM は、血清 ACE と同様に本症で

## 住友産業衛生

は上昇することが知られている<sup>57)</sup>.

一方、Be 健康作業者では、血清 ACE, LZM 値は、職種、作業年数及び MIT, LTT 成績別の検討において一定の関係及び特異的所見を認められていない<sup>58)</sup>.

## 9) 病理組織学的变化

多くの症例においては、肺胞壁のびまん性細胞浸潤とサルコイドーシス様肉芽腫の所見がある(図 6). 肺胞壁や肺間質の細胞浸潤の多くはリンパ球とプラズマ細胞からなる。類上皮細胞及びランゲルハンス型巨細胞からなるびまん性肺間質性肉芽腫は胸膜下、肺胞隔壁、気管支周辺や血管周辺部位に、そして時に血管壁内に散布している。これらの病変では中心性好酸球壊死は通常欠如する。

肉芽腫を特徴づける類上皮細胞は、サルコイドーシス、外因性アレルギー肺胞炎(農夫肺)及び肺結核におけるそれとは本質的には区別できない。結晶性又はシャウマン型の異物封入体は、しばしば本症の類上皮細胞や巨細胞の中に存在している。

シャウマン小体は、カルシウムと鉄が浸透した貝殻状封入体で、カルサイトからなる中心性複屈折性結晶体をしばしば含んでいる(図 7)。しかし、これらの封入体の存在は慢性 Be 症の病理組織学的变化として、確定診断的な意義は少ない。Freiman と Hardy (1970) は、慢性 Be 症の組織像は肺胞壁の細胞浸潤、肉芽腫形成及び貝殻状小体とシャウマン小体の数の相対的な比率に従つて、3つのカテゴリー(I 群及び II a・II b 群)に分類した<sup>60)</sup>。

貝殻状封入体は I 群の約 2/3 でみられるが、II 群ではより高い頻度でみられた。広範囲に広がつた肺胞壁細胞浸潤と不明瞭な境界の肉芽腫は、サルコイドーシスより慢性 Be 症でより多くみられる。細胞浸潤が広範な場合は、患者の予後と関連するとしている。

肉芽腫は、レクチン線維と混縫され、ついで濃い好酸性になる。銀染色による硝子様物質中レクチンは、その区別は困難でかつ明瞭な基準は定められていない。

種々の程度の肺気腫は、線維症と関連して起こる。Be 肉芽腫は、皮膚、頸部、胸部及び腹部リノバ節、肝、脾、肺、腎、副腎、骨髓、骨格筋及び中枢神経でもみられるが、多くは臨床的意義は少ない。心筋もまた稀に侵襲されることがある。

## 10) 臓器中 Be 量

Be 作業者の尿及び血液中 Be の検出は、暴露 Be の溶解性や暴露の量及び測定時期に大きく影響される。健康 Be 作業者や Be 障害者では、しばしば尿及び血液中に Be を検出するが、検出濃度と健康状態又は病症の重症度の間には、一定の関係は認めがたい。また、Be 暴露中止後において、かなりの期間にわたり Be が検出されることがあるが、その臨床的意義は明らかではない。このように Be 作業者及び Be 障害者の尿及び血液中に Be を検出することは、過去あるいは現在において、Be 暴露があつた事実は示すが、こうした Be の検出のみをもつて直ちに Be 障害の診断には結びつかない。

次に表 8 に肺組織中の Be 量について、慢性 Be 症、Be 曝露者及び Be 非曝露者の肺組織中の検出量を示した。諸外国の成績では慢性 Be 症については、N. D. (検出せず) から 45.7 μg/g まで幅広く分布している。一方の非曝露者については島らの剖検肺 221 検体の検討において検出せず(検出限界値 0.002 μg/g 以下) から 0.075 μg/g までに分布し、平均濃度は 0.014 gμ/g であつた。慢性症の発生に際して、肺組織中の検出 Be 量と障害発生の関係は、一般の中毒物質にみられるような単純な量-反応関係ではなく、その発病には Be による免疫アレルギーが強く関係し、その病変を左右する主因は曝露又は生体材料中に表示される Be 量自体よりは、曝露個体の側の Be に対するアレルギー反応の強さ、大きさに影響される所が大であると考えられる。

そして本來の慢性 Be 肺の診断には、確実な Be 曝露歴をもつか、又は血液、尿、肺組織中に相当量の Be を検出した者において、まず第一に、Be による肺の間質性類上皮細胞性肉芽腫症の存在を確認することにある。ついでこの患者について、呼吸器障害を中心とした特徴的な臨床所見、

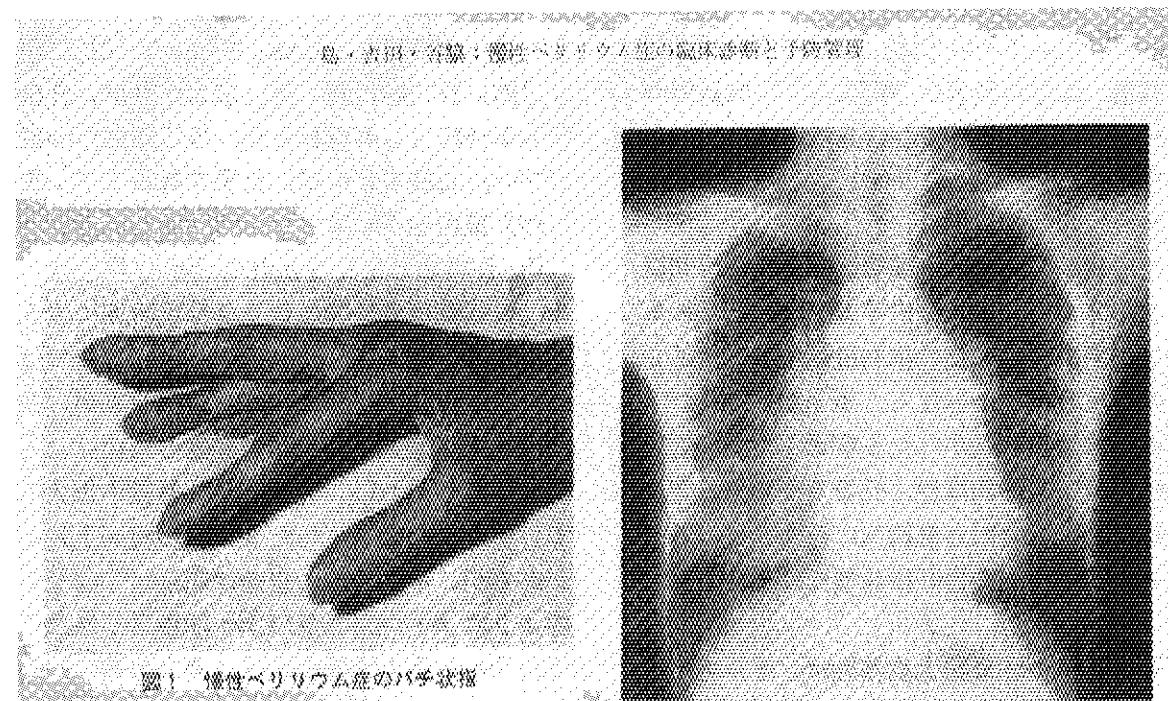


図3-b 慢性ペリリウム岩の入試像  
（この入試は、慢性的な酸化を示す）

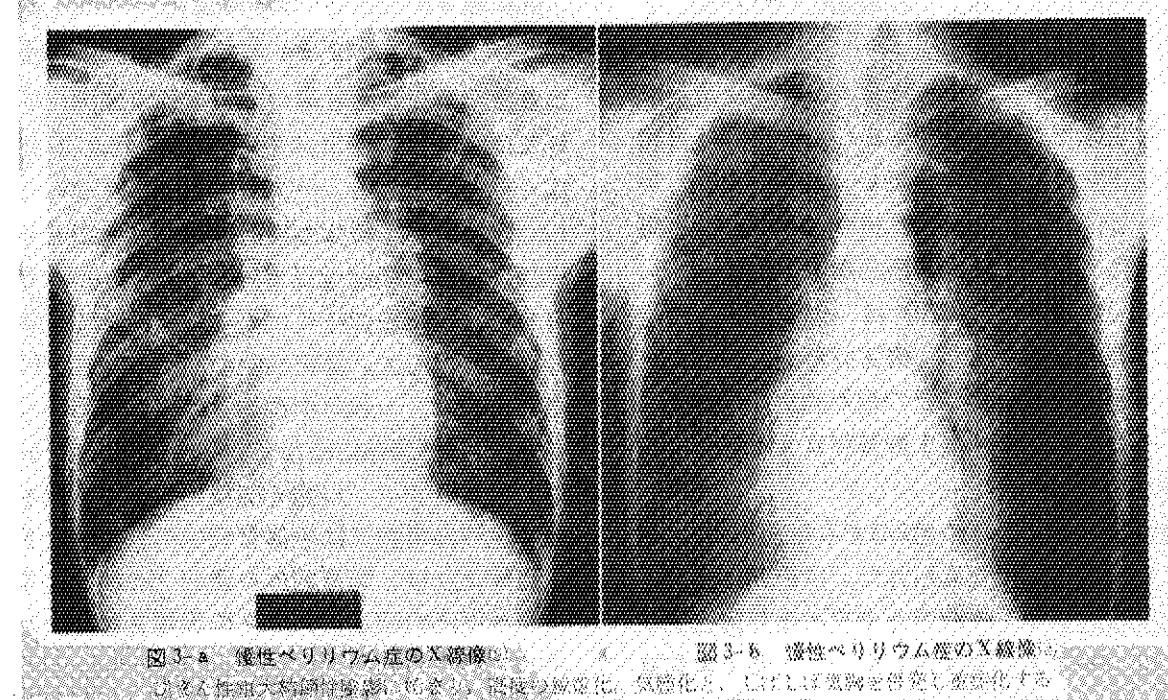


図3-d 慢性ペリリウム岩のX線像

図3-e 慢性ペリリウム岩のX線像

（この入試は、慢性的な酸化を示す）

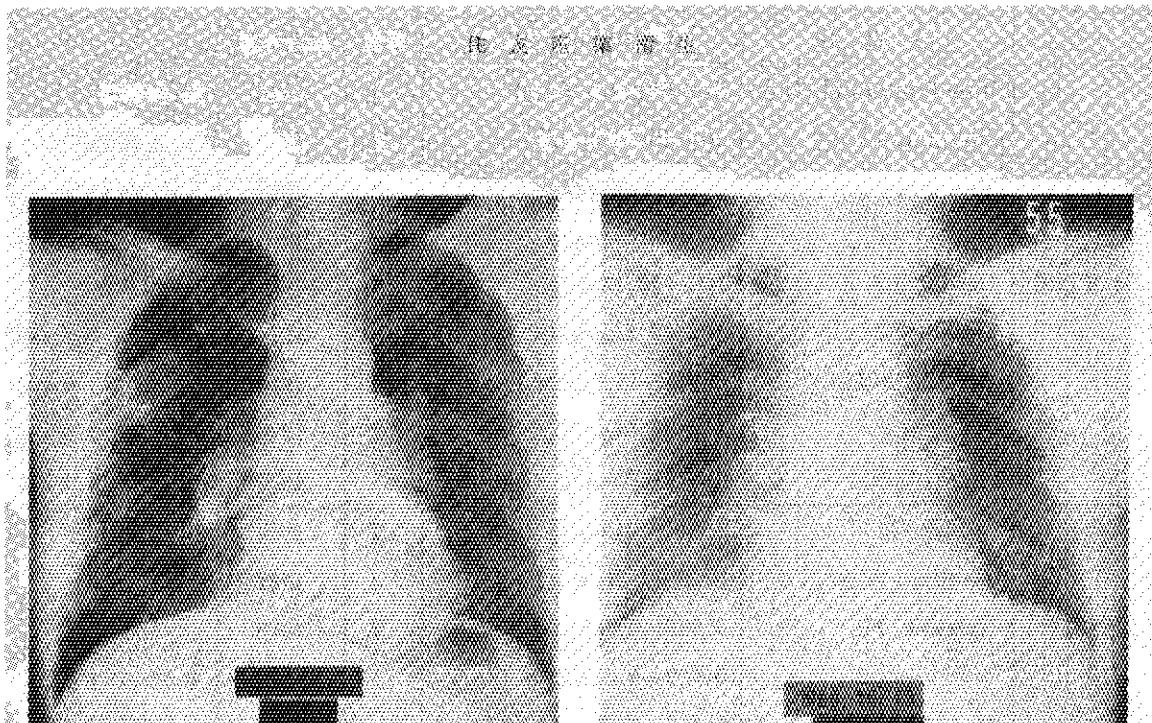


図4 慢性ペリリウム症のX線像  
びまん性粗大結節影と肺野状陰影の出現  
著明

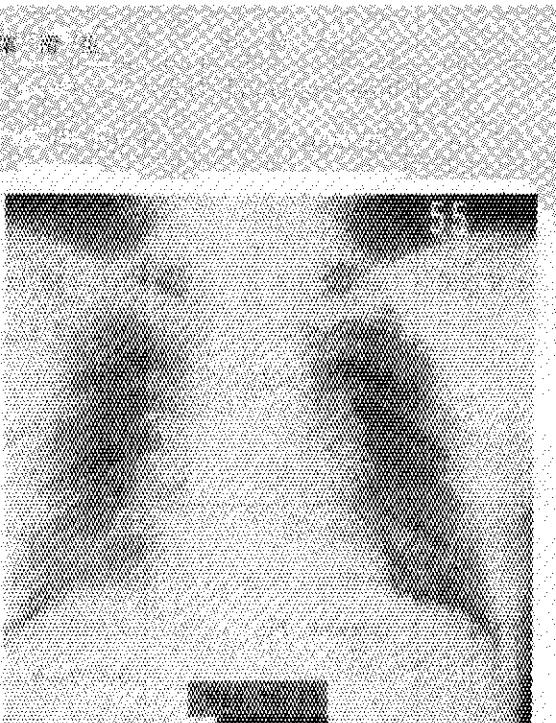


図5 慢性ペリリウム症のX線像  
びまん性結節陰影と肺野状陰影の中等  
度強度

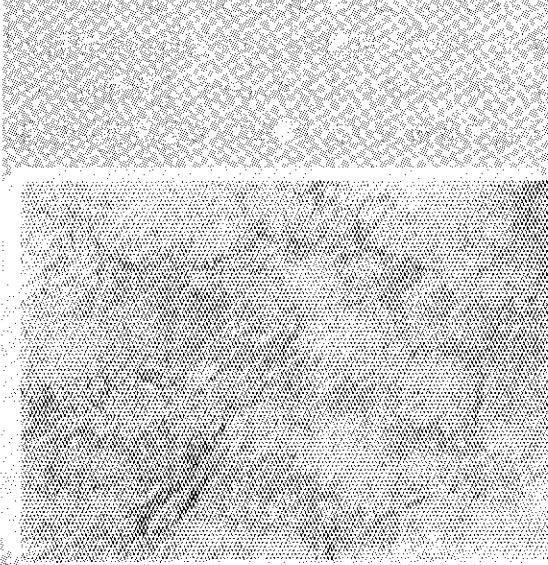


図6 慢性ペリリウム症のびまん性間質性肺肉芽腫  
性病変

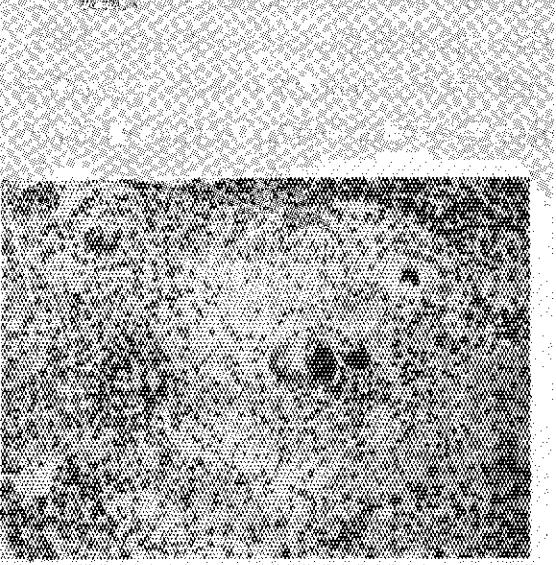


図7 慢性ペリリウム症の肺肉芽腫と異物封入体

島・吉田・谷脇：慢性ベリリウム症の臨床診断と予防管理

表8 ヒト肺組織中ベリリウム量

	発表者	組織中ベリリウム量	例数	報告年度	
Be暴露者	Van Ordstrand, H.S.	20~189 $\mu\text{g/g}$ (dry)	3	1945	Be作業者
	Chesner, C.	ND~0.0093 $\mu\text{g/g}$	3	1950	Be工場周辺住民
	Van Ordstrand, H.S.	1.53~1.82 $\mu\text{g/g}$	2	1953	急性Be肺炎
		ND~0.004 $\mu\text{g/g}$	5	1953	慢性ベリリウム症
	Dattoli, J.A.	ND~18.17 $\mu\text{g/g}$	5	1963	Be作業者
	Hasan, F.M.	ND~3.1 $\mu\text{g/g}$ (dry)	6	1974	慢性ベリリウム症
	Sprince, N.L.	0.004~45.7 $\mu\text{g/g}$ (dry)	66	1975	慢性ベリリウム症
	泉孝英	ND~1.69 $\mu\text{g/g}$	7	1976	慢性ベリリウム症
非暴露者	Mark, G.J.	0.33 $\mu\text{g/g}$	1	1976	慢性ベリリウム症
	Cholak, J.	ND~0.015 $\mu\text{g/g}$	7	1959	
	Meehan, W.R.	0.05~0.34 $\mu\text{g/g}$ (ash)	4	1967	
	Kazemie, H.	0.003~0.010 $\mu\text{g/g}$ (dry)	7	1975	
		0.002~0.019 $\mu\text{g/g}$ (dry)	5	1975	サルコイド症
	島正吾	0.002~0.075 $\mu\text{g/g}$ (dry)	174	1985	一般剖検肺

じん肺を思わせるびまん性結節性陰影の出現、肺機能障害、並びに前述したパッチテスト、 LTT、MITなどBeによる血清アレルギー学的検査所見の陽性化等の成績を検討し、これらを臨床的に総合して診断を確定するものである。

#### 6. 慢性Be症の総合診断

慢性Be症の臨床診断の確定には、本症の病態特異性とそれに係る最新の臨床診断的手技を駆使することにより、早期に特異的な臨床パターンの解析が行われなければならない。

従来慢性Be症の診断は、①信頼すべき環境資料に基づく総合的職歴調査、②慎重な臨床医学的観察、③適切な撮影技術による胸部X線写真、④肺拡散機能、血液ガス分析を含む肺機能検査、⑤肺生検による病理組織学的評価、⑥生体組織中Be量の分析を総合して行われてきた。しかし前述したように今日ではこれらに加えて各種の免疫アレルギー学的検討が必要であり、ことに臨床病態がきわめて類似するサルコイドーシス(表9)、慢性過敏性肺炎、びまん性間質性肺炎などの鑑別において、これらの検査は必須の事項である。

表10は、我が国の慢性Be症、16例についてこれまでの検査成績について総合的に検討を行なつたものであり、ことにBeによる免疫アレルギー学的検査所見(表中●印)の重要性が注目されよう。

#### 7. 治療

慢性Be症は予後不良の疾患であり、治療は一般的な保存療法と、副腎皮質ホルモン、ACTHの投与による薬物療法に限定される。1950年以降、副腎皮質ホルモン療法が本症に有効であることが認められ、本剤による治療の継続は本症の臨床経過を著しく改善した<sup>61)</sup>。しかし本症に限らず、びまん性間質性肺肉芽腫症に対するステロイド剤の長期的効果については疑問点が少なくなない。多数症例の報告では、自覚症状、肺機能障害、胸部X線所見の改善、生存年数の延長などがみられるが、薬剤投与の中止、もしくは投与量の減少により、症状の再発、増悪をみるものも少なくない<sup>62)</sup>。本剤はむしろ臨床症状の増悪期に著効をみるが、発病後数年もしくは十数年にわたる呼吸器系の愁訴のない病期、あるいは肺内病変が陳

## 住友産業衛生

表9 慢性ペリリウム症とサルコイドーシスの病像比較<sup>1)</sup>

		慢性ペリリウム症	サルコイドーシス
臨床所見	食思不振と体重減少 皮膚肉芽腫 脾腫 耳下腺炎 眼疾患 神経系の合併症 末梢リンパ節腫大 凍傷性狼瘡 結節性紅斑	一般的 皮膚迷入によるのみ まれ まれ 起こらず 起こらず なし なし なし 非常にまれ	まれ まれ しばしば 一般的でない(約7%) しばしば(15%) 一般的でない(4%) しばしば(15%) 一般的でない 英国ではかなり一般的(約32%) 一般的
X線所見	両側肺門リンパ節腫大 肺疾患の自然覚解	時々あるが決して完治ではない	一般的であり、しばしば完治する
皮膚試験	Be 貼付試験  クベイムテスト ツベルクリンテスト	しばしば陽性 (48~72時間後の硬結や伴なう発赤、3~4週後に肉芽腫) 陰性 陰性あるいは少数例で弱い 陽性反応	陰性
免疫学的所見	血清 IgA と IgG Be によるリンパ球 幼弱化試験(LTT) Be によるマクロファージ遊走阻止試験(MIT)	しばしば増加 陽性	早期の症例の少数例で陽性 しばしば増加 陰性
生化学的所見	高カルシウム血症	しばしば(約10%)	陰性
Be 含量	高カルシウム尿症 血清 ACE 組 織	しばしば 増加しない? 縦隔リンパ節でかなり高値 肺では少量	しばしば多くは一過性(11%) しばしば(約15%) 活動期で増加 なし なし
組織所見	尿 肉芽腫 封入体 肺胞壁の細胞浸潤	しばしば、しかし常時存在しない 両者では鑑別不能 両者では鑑別不能 頗著	明らかでない

旧化し広範な肺線維化、肺気腫病変が進行した時期にはその効果は期待できない。

本症の一部には、特定の治療措置を行なうことなく、自然治癒する症例があるが、これらの症例が慢性Be症の一病型としてあるか、あるいは類縁する他の肺疾患によるものかなどについてはその本態は明らかではない。

## 8. 予防管理

## 1) Be 業場環境の整備・改善

慢性Be症の発生を未然に防止するためには、

Be暴露環境の整備・改善が第一である。ちなみにBeの許容濃度は、職場環境では8時間平均濃度2μg/m<sup>3</sup>、一過性には25μg/m<sup>3</sup>、15分以上の暴露があつてはならない。また北米では大気中排出量は1日当たり10g以下(米国環境保護庁)、又は工場周辺大気中では月平均濃度は0.01μg/m<sup>3</sup>以下に規制されている<sup>18)</sup>。

次にBe取扱い職場では、諸設備の改善、作業方法の工夫が必要であり、また全体換気、局部排気装置、集塵設備の完備、問題設備の隔離をはじめ、できる限り工程細部の密閉化、操作のオート

島・吉田・谷脇：慢性ペリリウム症の臨床診断と予防管理

表10 慢性ペリリウム症16症例の臨床診断根拠

所見	症例番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Be 暴露歴あり		○	○	○	○	○	○	○	○	○	?	○	○	?	○	○	?
高純度低温度煅焼 BeO の暴露		○	○	○	○	○	○	○	○	○	?	○	○	?	○	○	?
肺組織における Be の存在		○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○
自覚症状（咳、息切れ等）		○	○	×	×	○	×	○	○	○	×	○	○	○	×	○	○
胸部びまん性結節性散布影		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
肺間質性肉芽腫性病変		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
肺機能障害の出現		○	○	×	×	○	×	○	○	○	×	○	○	×	×	○	×
ツベルクリンテスト（陰性）		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Be パッチテスト（陽性）		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
リンパ球幼若化試験		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
マクロファージ遊走阻止試験		⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
血清 IgA 上昇		×	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
血清 IgG 上昇		×	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
血清 γ-グロブリン上昇		×	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

? : Be 暴露歴不明

⊗ : ステロイド剤投与中

× : 陰性又は該当せず

メ化を図ることが望ましい。

また工場周辺住民への Be 汚染を極力防止するため、大気中への Be の排出は積極的に抑制されなければならない。Be 取扱い職場における気中 Be 濃度の経時的測定とその評価は、本症の発生予防のために不可欠である。

### 2) 保護具・作業衣管理

Be 作業者は必要に応じ、所定の作業衣、防塵マスク、エアーラインマスク、手袋、前掛け、アルミ耐熱服、遮光眼鏡等を装着する。これらの器具の点検は、個人管理よりはむしろ組織化された管理プロセスの中で行なう方が効率的である。また作業衣管理は、Be による二次的汚染防止のためにきわめて重要である。さらにこの問題は生産現場と、周辺諸施設との間の作業員の往来、休憩室、浴室、脱衣室、食堂、洗濯室、会議室、事務室ならびに工場内診療機関への出入りについても関係があり、この点への管理的配慮が必要である。(図8)

### 3) 健康診断

Be に関する健康診断は、急性障害と慢性障害の両面に対して効果的なものでなければならぬ

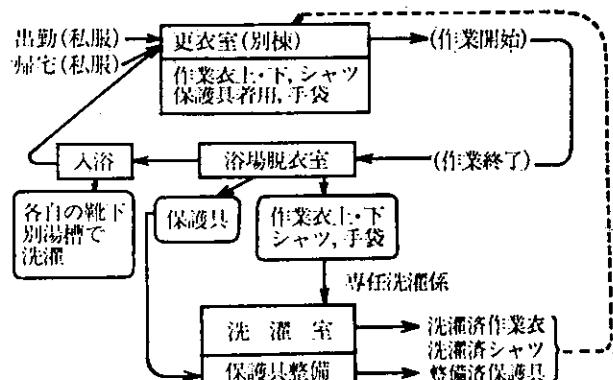


図8 ペリリウム作業者の保護具、作業衣の管理

い。その一試案を表11に示した。慢性 Be 症の早期診断のため、健康診断項目には、殊に免疫アレルギー学的検査を、できる限り適切かつ効率的に用いることが肝要である。

これらのうち LTT や MIT は被検者に特定の影響を与えることなしに、個体のもつ Be アレルギーの状態や、慢性 Be 症の発生に係わる Be 細胞免疫応答の動態を把握するのに、きわめて有用な検査法である。このほか就労時検診では、Be に対して過敏性を有する者や、気管支喘息、慢性気管支炎、じん肺等の呼吸器疾患罹病者は、

## 住友産業衛生

表II ベリリウムに対する健康診断

第一次健康診断	
1. 業務の経歴の調査	
a) 雇入時または就業時検診の場合	
b) 現在就業中の場合	
2. 既往歴	
特に下記疾患既往の有無 皮膚かぶれ、じんましん、湿疹、鼻アレルギー、ぜんそく、じん肺、肺線維症、薬物過敏症など	
3. 自覚症状	
a) 全身症状：体重減少、全身倦怠、疲労感など	
b) 呼吸器症状：息切れ、せき、胸痛など	
c) 皮膚、粘膜症状：かゆみ、発疹、眼結膜や眼瞼の発赤など	
4. 体重測定	
5. 皮膚の他覚的所見	
6. 眼結膜の他覚的所見	
7. 胸部X線直接撮影	
8. 肺機能検査	
第二次健康診断（医師が必要と認めた場合に行なう検査）	
1. 作業条件の調査	
2. 暴露濃度の評価	
3. 胸部X線精密検査	
4. 免疫学的検査	
a) ツベルクリン反応	
b) 血清ガンマーグロブリン	
c) リンパ球幼若化刺激試験 (LTT)	
d) リンパ球遊走阻止試験 (MIT)	
e) 気管支肺胞洗滌液試験 (BALF)	
f) 血清免疫グロブリン	
g) ベリリウム貼布試験	
5. その他の検査	
a) 生検組織像とBe含有量の測定	
b) 精密肺機能検査	
c) その他	

できる限り事前に除外することが望ましい。新規就労者は就労3カ月以内の健康状態に十分留意し、その後は6カ月ごとに定期検診を実施する。また、医師や衛生関係者は、機会あるごとにBe障害の予防について、個人及び集団としての衛生教育の徹底を図ることは、従業員の衛生意識の向上と障害予防のためにきわめて必要である。

## 4) Be暴露離職者の追跡管理の必要性

Be障害予防管理のポイントの一つに、既往にBe暴露を受けた配転者及び退職者の健康追跡管理の問題がある。このことは本症がBe暴露中止後、長期かつ不定の潜伏期間をもつて発生する危険性が大きいことに関係する。

潜伏期間は多数症例において暴露中止後数カ月から10年余にわたつており、我が国の症例でもほぼ同様の傾向が認められた。一方慢性Beの発生に関して、既往の暴露Be濃度と本症の発生頻度との関係、同じく暴露濃度と潜伏期間の長短との関係等については、これを解明するに足る十分な資料は見当たらない。また暴露期間と潜伏期間との間に一定の傾向は認められていない。また、暴露Be化合物の種類では、つとに米国においても注目されてきたのは、低温度煅焼BeOであり、一方我が国の症例では、独立した3工場での患者発生は、すべてBeOの暴露環境下での発症であることが確認されている。殊に、それらの成績では低温度煅焼一高純度BeOの粉末の取扱い、成形加工・検査、成形品の焼成等の作業者について積極的な追跡健康管理の必要性を強調するものである。

以上、慢性Be症の早期診断と予防管理について附言した。いま稿を終るにあたり、あらためて物質の有害性とはBeに限らず個々の物質がもつ単なる化学的毒性の問題としてではなく、労働の場において取扱う手段方法の中にこそ、最も大きくかつ基本的に重要な健康上の課題が存在することを強調したい。

## 文 献

- Parks, W.R.: Occup. Lung Disorders, Beryllium Disease: Butterworths, London, 1982.
- Crossman, G.C. & Vandemark, W.C.: Microscopic biological response following beryllium exposure, Arch. Ind. Hyg. Med., 9: 481-487, 1954.
- Tepper, L.B.: Beryllium, C.R.C. Critical Review on Toxicology, 1: 253-258, 1972.
- 西垣進: BeO磁器の特性及び毒性対策, セラミックス, 15(1): 263-273, 1980.

## 島・吉田・谷脇：慢性ベリリウム病の臨床診断と予防管理

- 5) 島正吾, 吉田勉: ベリリウムの障害対策—25年のあゆみと労働衛生的対応—, 労働の科学, 37(10): 38-45, 1982.
- 6) 藤井正美: ベリリウム, 日本薬剤師会雑誌, 28: 139-142, 1976. (Bowen, H.J.: 生物化学における微量元素, 1966より引用)
- 7) 浅見輝男: 文部省特定研究—重金属等による土壤～植物系汚染の機構とその除染に関する基礎的研究, 1968.
- 8) Meehan, W.R. and Smythe, L.E.: Occurrence of beryllium as a trace element in environmental Materials, Environ. Sci. Techn., 1: 839-844, 1967.
- 9) Schroeder, H.A. et al.: A Sensible Look at Air Pollution by Metals, Arch. Environ. Health, 21: 798-806, 1970.
- 10) 千葉県公害白書(昭和45年度版) p.338, p.341: 1971.
- 11) 公害白書(昭和46年度) p.53, p.57: 1971.
- 12) 島正吾: ベリリウムの衛生管理, 労働の科学, 26(6): 36-46, 1971.
- 13) 栗田秀樹, 渡辺清博, 島正吾: 紙巻タバコ中の金属量について, 日衛誌, 40(1): 546, 1985.
- 14) Cholak, J.: The analysis of trace of beryllium, A.M.A. Arch. Ind. Health, 9: 205-209, 1959.
- 15) 島正吾, 新谷良英, 他: 一般剖検例におけるベリリウム含有量の検討, 昭和60年度, 日本産業衛生学会東海地方会講演集, 38, 1985.
- 16) Jones Williams, W.: Beryllium Disease-Pathology Diagnosis, J. Soc. Occup. Med, 27: 93-96, 1977.
- 17) Gelman, I.: Beryllium (Glucinum), Occupation and Health, International Labour Ofc, Supp, pp. 1-6: 1938.
- 18) Eisenbud, M. and Lisson, J.: Epidemiological Aspects of Beryllium-Induced Nonmalignant Lung Disease: a 30-Year Update, J. Occup. Med, 25: 196-202, 1983.
- 19) Weber, H.H. & Engelhardt, W.E.: Anwendung bei der Untersuchung von Stauben aus der Beryllium Gewinnung, Zentbl. Gew. Hyg. Unfallerhut, 10: 41-47, 1933.
- 20) Van Ordstrand, H.S., Hughes, R. and Carmody, M.G.: Chemical pneumonia in workers extracting beryllium oxide, Cleveland Clin. Q. 10: 10-18, 1943.
- 21) Eisenbud, M. Berghout, C.F. & Steadman, L.T.: Environmental studies in plants and laboratories using beryllium; The acute disease, J. Ind. Hyg. Toxicol, 30: 281-285, 1948.
- 22) Hardy, H.L. and Tabershaw, J.R.: Delayed Chemical pneumonitis occurring in workers to beryllium compounds, J. Ind. Hyg. Toxicol, 28: 197-211, 1946.
- 23) 山田雅啓: ベリリウムによる生体感作能並びに血清アンギオテンシン変換酵素の動態に関する研究, 藤田学園医学会誌, 臨増1(1): 207-233, 1982.
- 24) 吉田勉: 慢性ベリリウム肺の成因に関する労働衛生学的ならびに実験的研究, 藤田学園医学会誌, 臨増1(1): 235-263, 1982.
- 25) 栗田秀樹: 塩化ベリリウムによる肝肉芽腫形成並びに量-反応関係に関する実験的、疫学的研究, 藤田学園医学会誌, 臨増2(1): 201-234, 1983.
- 26) 渡辺清博: ベリリウム化合物の経口毒性に関する実験的研究, 藤田学園医学誌, 臨増4(3): 185-215, 1985.
- 27) 村井佳幸: ベリリウムによる免疫毒性-抗体産生応答に対する影響とアジュバント効果一, 藤田学園医学誌, 臨増4(3): 217-249, 1985.
- 28) Israel, H.L. & Cooper, D.A.: Chronic beryllium disease due to low beryllium content alloys, Amer. Rev. Dis, 89: 100-102, 1964.
- 29) Slavin, P.: Pulmonary berylliosis following exposure to beryllium-copper, 73: 523-525, 1976.
- 30) Rees, P.J.: Unusual course of beryllium lung disease, 73: 192-194, 1979.
- 31) Mark, G.J., Monroe, C.B. and Kazemi, H.: Mixed pneumoconiosis; silicosis, asbestosis, talcosis, and berylliosis, Chest, 75(6): 726-728, 1979.
- 32) Jones Williams, W. Nosworthy, S.E. and Williams, W.R.: UK Beryllium Case Registry; 8 th International Conference on Sarcoidosis and other Granulomatous Diseases, Edited by W. Jones Williams and B.H. Davies, p.771. Cardiff; Alpha Omega Publishing Ltd, 1980.
- 33) DeNardi, J.M., Van Ordstrand, H.S., and Carmody, M.G.: Acute dermatitis and pneumonitis in beryllium workers; review of 406 cases in an eight year period with follow-up on recoveries, Ohio State Med. J, 45: 567-575, 1949.
- 34) Curtis, G.H.: Cutaneous hypersensitivity due to

## 住友産業衛生

- beryllium; A study of 13 cases, *Arch. Derm. Syph.*, 64 : 470-482, 1951.
- 35) Sternier, J.H. and Eisenbud, M.: Epidemiology of beryllium intoxication, *Arch. Ind. Hyg.*, 4 : 123-151, 1951.
- 36) 島正吾, 森田邦彦, 村井佳幸, 他: ベリリウムの免疫アジュvant活性, *日衛誌*, 40 : 849-854, 1985.
- 37) 島正吾: ベリリウム中毒の健康管理, *産業医学ジャーナル*, 3(5) : 14-22, 1980.
- 38) 鈴木満, 越智規夫, 木村謙太郎: 低含量ベリリウム合金切削作業による慢性ベリリウム肺の発生とその対策, *日胸*, 46(2) : 138-143, 1987.
- 39) Andrews, J.L., Kazemi, H. and Hardy, H.L.: Patterns of lung dysfunction in chronic beryllium disease, *Am. Rev. resp. Dis.*, 100 : 791-800, 1969.
- 40) 島正吾: 慢性ベリリウム障害予防管理への提言, *労働衛生*, 8 : 12-24, 1974.
- 41) Stoeckle, J.D., Hardy, H.L., Weber, A.L.: Chronic beryllium disease; Long term follow-up of sixty cases and selective review of literature, *Am. J. Med.*, 46 : 545-561, 1969.
- 42) Izumi, T., Kobara, Y., Inui, S., et al: The first seven cases of chronic beryllium disease in ceramic factory workers in Japan, *N.Y. Acad. Sci.*, 278 : 636-653, 1976.
- 43) Hanifin, J.M., Epstein, W.L., Cline, M.L.: Studies of granulomatous hypersensitivity to beryllium, *J. Invest. Dermatol.*, 55 : 284-288, 1970.
- 44) Deodhar, S.D., Barna, B., van Ordstrand, H.S.: A study the immunological aspects of chronic berylliosis, *Chest*, 63 : 309-313, 1973.
- 45) Preuss, O.P., Deodhar, S.D., van Ordstrand, H.S.: Lymphocyte transformation in beryllium workers, In: Jones, Williams, W., Davies, B.H., eds. *Proceedings of the 8 th International Conference on sarcoidosis and other granulomatous diseases*, Cardiff, Alpha & Omega Press, 711-714.
- 46) Morison, W.L.: Phytohaemagglutinin and transfer factor in the leucocyte migration inhibition test in patients with sarcoidosis, *Thorax* 31 : 87-90, 1976.
- 47) Henderson, W.R., Fukuyama, K., Epstein, W.L., Spitler, L.E.: "In vitro" demonstration of delayed hypersensitivity in patients with berylliosis, *J. Invest. Dermatol.*, 58 : 5-7, 1972.
- 48) Marx, J.J., Burrell, R.: Delayed hypersensitivity to beryllium compounds, *J. Immunol.*, 111 : 590-598, 1973.
- 49) 藤村直樹: びまん性肺疾患における気管支肺胞洗浄液リンパ球とその性状, 特に活性化所見に関する検討, *日胸疾会誌*, 22(7) : 552-561, 1984.
- 50) Resnick, H., Roche, M., Morrgan, W.K.: Immunoglobulin concentration in berylliosis, *Am. Rev. Respir.*, 101 : 504-510, 1970.
- 51) Vasilyva, E.V., Nikitina, L.S., Ollova, A.A.: Concentration of immunoglobulins in berylliosis, *J. Hyg. Epidemiol. Microbiol. Immunol.*, 21 : 254-260, 1977.
- 52) Cianciara, M.J., Volkova, A.P., Alekeseeva, O.G.: A study of humoral and cellular responsiveness in a population occupationally exposed to beryllium, *Ind. Arch. Occup. Environ. Health*, 45 : 87-94, 1980.
- 53) 森田邦彦: ベリリウムによる細胞毒性並びに生体感作能に関する実験的研究, *藤田学園医学誌*, 臨増3(1) : 155-182, 1984.
- 54) Salvaggio, J.E., Flax, M.H., Lescowithz, S.: Use of beryllium as granuloma producing agent in Freund's adjuvant, *Immunol.*, 95 : 846-851, 1965.
- 55) Dubos, R.P., Cochran, K.W., and Mazur, M.: Inhibition of phosphates by beryllium and antagonism of inhibition by manganese, *Science*, 110 : 420-422, 1949.
- 56) Klempener, F.W., Miller, J.M. and Hill, C.J.: Inhibition of alkaline phosphatase by Beryllium, *J. Biol. Chem.*, 180 : 281-286, 1949.
- 57) 厚生省特定疾患肉芽腫性肺疾患調査研究班(班長: 三上理一郎) サルコイドーシスにおける血清 ACE 活性の上昇, *日本医事新報*, No. 2903, 23-30, 1979.
- 58) 島正吾, 立川壯一, 吉田勉, 加藤保夫, 渡辺清博, 高龟良治, 三木知子, 落合昭博, 栗田秀樹, 伊藤宜則: ベリリウム暴露による血清アソギオテンシン変換酵素の動態について, *労働科学*, 59(7) : 295-304, 1983.
- 59) 谷脇弘茂: 慢性ベリリウム肺の発生とベリリウムによる生体免疫応答に関する臨床的ならびに実験的研究, *藤田学園医学誌*, 臨増6, 1987. 掲載予定
- 60) Freiman, D.G., and Hardy, H.L.: Beryllium Disease, The relation of pulmonary pathology to

島・吉田・谷脇：慢性ベリリウム症の臨床診断と予防管理

- clinical course and prognosis based on a study of  
130 cases from the U.S. Beryllium Case Registry,  
Human Pathol, 1 : 25-44, 1970.
- 61) Seeler, A.O.: Treatment of chronic beryllium  
poisoning, Arch. Ind. Health, 19 : 164, 1959.
- 62) 泉孝英, 西川伸一: 本邦における慢性ベリリウム  
肺, 日胸臨, 35 : 805-813, 1976.

## 付録B 自然環境におけるベリリウムの分布データ<sup>(28), (29)</sup>

地球上のベリリウム分布量に関しては、火成岩中に2.8ppm、石炭中に<0.1 – 31.0ppm（平均値では1.5 – 2.5ppm）、海水中に0.0006ppbという資料があり、自然現象および人類活動によって河川あるいは大気を移動するベリリウムの年間量は表1のように推定されている。

すなわち、河川中ベリリウムには、地表から溶出して海へ流入する部分と浮遊粒子のかたちで流入する部分とがあり、この統計が年間で9,600トンになる。また、大気中には、主として石炭の燃焼に伴って年間410トンのベリリウムが放出され、これが雨水に洗われて地表に集まり、さらに海に注がれる、という推定値である。

なお、自然分布のベリリウム量に関して、表2のように分析例をまとめた資料も見られる。

河川水および大気の年間ベリリウム量<sup>(28)</sup>

区分		年間ベリリウム量 (トン)
自然現象	河川水中溶解量	4,000
	河川水中浮遊粒子量	5,600
	総 計	9,600
海水中保持量		0.002
人間活動	石炭燃焼による発生量	410
	石油燃焼による発生量	0.3
	総 計	410

都市大気中の平均ベリリウム濃度<sup>(28)</sup>

区分	ベリリウム濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
人口200万以上の市	
ロスアンゼルス	0.0001
デトロイト	0.0004
フィラデルフィア	0.0005
シカゴ	0.0002
ニューヨーク	0.0003
人口50 – 200万の市	
シンシナティ	0.0002
カンサスシティ	0.0003
ポートランド(オレゴン)	0.0003
アトランタ	0.0002
ヒューストン	0.0002
サンフランシスコ	0.0001
ミネアポリス	0.0002
地方市(郊外)	
ボーンズボロ(ミッドウェスト)	0.0001
ソールトレーキシティ	0.0001
アトランタ	0.0002
シンシナティ	0.0001
ポートランド(オレゴン)	0.0001

自然分布のベリリウム量<sup>(28)</sup>

試料別	サンプル数	平均 値	濃度範囲
地殻	(文献値) ( " )	3.0ppm 6.3	— —
土壤	15	0.37ppm	0.13 – 0.88ppm
石油	(文献値) ( " )	— —	– 6.00 – 60
ボーキサイト	(文献値) ( " )	23	1.55ppm
石炭	(文献値) ( " )	4.0	0.07 – 3.0ppm 8,000
灰 分	(文献値) ( " )	933	0.0002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0.0001 – 0.003 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
空 気			

Table I. Levels of Beryllium from Previous Analysis<sup>(29)</sup>

Source of Sample	Be Content, P.P.M.*	Reference
Talc	$6.5 \times 10^{-2}$	Sill, Willis, et al., 1961
Asbestos	$2.4 \times 10^{-1}$	
Kaolin	7.4	
Monazite	$5.9 \times 10^{-2}$	
Clays and coals of the Moscow basin	7.1	Volkov, 1962
Stream sediments—Oslo region, Norway, from 146 stream basins	2.3	Brinck and Hofmann, 1964
Seawater	$10^2$ to $10^{-1}$ $\mu\text{g. per liter}$	Lal, Arnold, et al., 1964
Honey	Spectrographically present	Makerochkin and Udenich, 1960
Blood cells of <i>Ascidia aspersa</i>	60 $\mu\text{g. per liter}$	Rezaeva, 1964
Bottom muds of Indian Ocean	Be was detected in a few samples	Katchenkov and Flegentova, 1964
Alkaline rocks of the Ditrau massif	Be was present in very small amounts, and its content did not depend on the nature of the rocks	Ianovici and Ionescu, 1964
Granite rocks of the eastern Vitem highland (northwestern Transbaikal) region	Proteozoic and Paleozoic granite, rocks: 1.2 to 7.6 Rocks of Mesozoic Intrusive Complex: 40 to 82	Zilov, Kusnetsova, et al., 1963
Igneous rocks	Mafic: <1 Silicic: 6.5 Alkalic: 11.4	Shawe and Bernold, 1964
Sediment of the Sea of Azov	>10 to 30	Aleksandrov and Reznikov, 1964
Coal ash	300	Mason, 1952
Earth's crust	6	Collins and Pearson, 1964
Oilfield waters	20 to 200 $\mu\text{g. per liter}$	Sutton, 1963
Urine	0.05 $\mu\text{g. per liter}$ (limit)	Merrill, Lyden, et al., 1960
Ocean water	$5 \times 10^{-4}$ $\mu\text{g. per liter}$	Rankama, 1956
Igneous rocks	2	Sill and Willis, 1962
Meteorites (including chondrites and achondrites) (except U.S.A.)	0.038	Griffiths and Powers, 1963
Silicic volcanic glasses (western United States, southern Idaho), or Pearlette ash (member of the Sappa formation)	7.4	
Cascade Range	4.4	
	Be Determined by Method Indicated	
	Chem. Analysis	Direct Reading Spectrograph
Beryl concentrate	$4.04 \times 10^4$	$4.0 \times 10^4$
Medium grade beryl ore	$1.99 \times 10^4$	$1.90 \times 10^4$
Low grade beryl ore	$0.50 \times 10^4$	$0.42 \times 10^4$
Tailing waste	$0.094 \times 10^4$	$0.086 \times 10^4$
Humans—	Be demonstrable in 20 of 58 cases	
Suspected berylliosis	Av. = 282 Min. = 8 Max. = 1925	$\gamma$ per gram of dried lung wt. Schepers, 1962
Normal lung tissue— Cincinnati Chicago	0.00033 $\gamma$ per gram 0.324 $\gamma$ per gram	

\* P.p.m., unless otherwise noted.

Table II. Levels of Beryllium in Environmental Materials<sup>(29)</sup>

Sample	Survey Figures (P.P.M./Ash Wt.)			No. of Samples
	Beryllium Level <sup>a</sup> Range	Average	Ash, Fresh Wt., %	
Foodstuffs:				
Beans (Lucas Heights area)	N.D. to 0.01	0.01	0.65	3
Cabbage (Lucas Heights area)		0.03	0.78	1
Hen eggs				
Yolk		0.01	1.75	1
Yolk + whites		0.006	1.01	1
Shells		0.014	77.44	1
Milk				
All samples	N.D. to 0.09	0.02	0.83	50
Lucas Heights area	N.D. to 0.04	0.02	0.81	17
Hawkesbury and Campbelltown	N.D. to 0.09	0.02	0.86	33
Mushrooms				
Lucas Heights area		0.12	1.32	1
Nuts				
Walnut kernels	0.01 to 0.03	0.02	2.6	2
Walnut shells	0.41 to 0.52	0.47	2.5	2
Almond kernels		0.01	2.9	1
Almond shells		0.01	2.9	1
Tomatoes (Lucas Heights area)		0.02	1.05	1
Yeast (bakers)		0.02	1.62	1
Aluminum (cooking saucepans)		N.D.	...	1
Human Organs				
Lung	0.05 to 0.34	0.21	0.6	4
Brain	0.05 to 0.10	0.08	1.3	3
Kidney	0.06 to 0.07	0.07	0.06	2
Spleen	0.05 to 0.09	0.07	0.07	2
Liver	0.03 to 0.06	0.04	1.1	2
Muscle	0.01 to 0.06	0.04	0.4	2
Vertebrae	0.01 to 0.11	0.04	9.1	5
Heart	0.01 to 0.06	0.03	1.4	3
Bone		0.02	9.5	1
Hair—(head)				
Lucas Heights, composite	0.61 to 1.20	0.93	2.7	5
Lucas Heights active areas (including Be working areas)	0.81 to 1.56	1.22	2.6	3
Away from Lucas Heights	0.25 to 0.56	0.48	4.3	6
Plants, etc.				
Acacia	0.10 to 1.06	0.46	2.0	6
Angiosperms	Sydney area	0.15 to 2.00	3.7	5
Field lupine seeds		0.02	2.9	1
Grass				
All samples	0.01 to 0.96	0.32	4.6	96
Lucas Heights	0.06 to 0.56	0.26	4.5	18
Away from Lucas Heights	0.01 to 0.96	0.35	4.7	78
Tobacco				
Cigarette tobacco		0.25	11.0	1
Pipe tobacco		0.24	11.1	1
Cigarettes (manufactured)	0.24 to 0.26	0.25	13.1	2
Soil				
All samples	0.01 to 1.69	0.28		29
Lucas Heights	0.01 to 0.30	0.16		7
Lucas Heights (disposal ground)	0.08 to 0.75	0.32		3
Non-Lucas Heights	0.01 to 1.69	0.32		19

<sup>a</sup> N. D. = not detected.

(continued)

Table II. Continued

Sample	Survey Figures (P.P.M. Ash Wt.)			No. of Samples
	Beryllium Level <sup>a</sup>	Average	Ash, Fresh Wt., %	
	Range			
Sand: Woronora R.				
All samples	N.D. to 1.67	0.21		65
Lucas Heights area	0.04 to 1.67	0.39		16
Other sites	N.D. to 0.57	0.15		49
Diatoms				
Kieselguhr G (from E. Merck, H. G. Darmstadt)		0.31		1
Phosphate rock				
Nauru	0.08 to 3.75	1.07		6
Marine:				
Crabs				
Woronora R.	0.07 to 0.13	0.10	15.4	6
Non-Woronora R.		0.17	15.4	1
Eels			N.D.	
Whole fish			5.0	
Woronora R.,				
Mullet	0.03 to 0.36	0.21	5.2	8
Blackfish	0.08 to 0.39	0.23	4.6	4
Non-Woronora R., mullet		0.01		1
Fish gut				
Woronora R.,				
Mullet	0.42 to 0.71	0.54	9.2	6
Blackfish	0.46 to 1.78	0.99	5.6	5
Leather jacket	0.48 to 0.63	0.56	3.2	2
Non-Woronora R.,				
Mullet	0.04 to 1.33	0.43	4.2	4
Blackfish	0.80 to 1.25	1.03	5.7	2
Fish fillets				
Woronora R.,				
Mullet	N.D. to 0.07	0.04	3.7	2
Blackfish		0.01	3.6	1
Perch and bream		N.D.	3.7	1
Non-Woronora R.,				
Blackfish	0.01	0.01	4.4	2
Bonita		0.01	2.4	1
Perch		0.01	1.6	1
Redfin		0.01	5.7	1
Mullet		0.02	3.3	1
Homosira Banks II				
Bubble-weed (coast south of Sydney)	0.01 to 0.05	0.03	16.5	5
Catostylus Mosaicus (jelly blubber)				
Oyster flesh				
All samples	0.01 to 0.27	0.03	2.0	59
Woronora R.	0.02 to 0.14	0.03	2.0	41
Hawkesbury R.	0.01 to 0.27	0.10	2.0	18
Oyster liquid				
All samples	0.01 to 0.03	0.02	2.7	2
Woronora R.	0.01 to 0.03	0.02	2.5	2
Hawkesbury R.		0.02	2.9	1
Oyster shells				
All samples	0.01 to 0.08	0.04	94.9	20
Woronora R.	0.01 to 0.08	0.04	93.8	14
Hawkesbury R.	0.02 to 0.06	0.04	96.5	6

Table II. Continued

Sample	Survey Figures (P.P.M. Ash Wt.)			
	Beryllium Level*	Average	Ash, Fresh Wt., %	No. of Samples
Plankton preparations		N.D.	13.5	1
Prawns (green)		0.03	3.5	1
<u>Cunjevoi</u> flesh, Pyura Stolonifera				
Mixture from Cronulla and Coalcliff		0.53	3.6	1
Cronulla	0.10 to 0.26	0.18	9.1	2
Coalcliff		0.42	4.1	1
<u>Cunjevoi</u> tunics, Pyura Stolonifera				
Mixture from Cronulla and Coalcliff		0.30	35.4	1
Cronulla	0.05 to 0.08	0.07	38.5	2
Coalcliff		0.26	33	1
River Solid Particles				
Woronora (Discharge Pt.)		N.D.		1
Woronora (Tolofin)		N.D.		1
Rockweeds (algae)				
Cronulla		0.01	4.2	1
Coalcliff	0.02 to 0.54	0.28	5.2	2
Scallops, Tasmanian		0.02	1.7	1
Seaweed, Woronora R.	0.29 to 1.02	0.66	5.5	3
Shellfish flesh				
Mixture from Cronulla and Coalcliff		0.04	8.8	1
Cronulla	0.07 to 0.09	0.08	8.1	2
Coalcliff	0.30 to 1.15	0.73	14.0	2
Shellfish shells				
Cronulla	N.D. to 0.01	0.01	96.4	2
Coalcliff	N.D. to 0.01	0.01	96.3	2
Starfish, whole, Coalcliff		0.02	37.1	1
Zostera				
All samples	0.28 to 1.12	0.60	5.5	28
Woronora R.	0.28 to 1.12	0.61	5.5	27
Hawkesbury R.		0.41	5.5	1
<u>μg. per liter</u>				
Waters				
Rain				
All samples	0.01 to 0.18	0.07		20
Lucas Heights	0.01 to 0.07	0.05		5
Non-Lucas Heights	0.03 to 0.18	0.08		15
River				
Lachlan (Forbes)		0.01		1
Macquarie (Bathurst)		0.01		1
Nepean (Emu Plains)		N.D.		1
Woronora (Discharge Pt.)	0.01 to 0.12	0.03		27
Woronora (Tolofin)	0.01 to 0.08	0.02		26
Sea				
Pacific Ocean		0.002		1
Indian Ocean		0.001		1
Tank				
Lucas Heights area	0.002	0.002		2

\* N.D. = not detected.

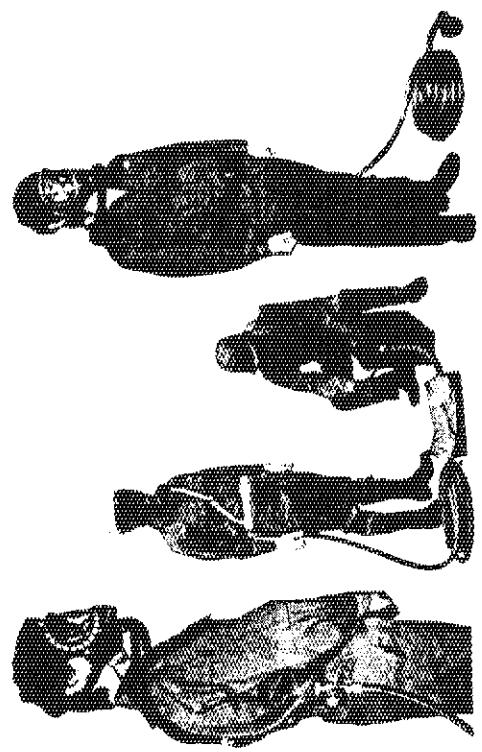
## 付録 C 呼吸用保護具の種類 (26)

### I. 送気マスク

送気マスクは、行動範囲は限られるが、軽くて有効使用時間が長く、一定の場所での長時間の作業に適している。

送気マスクには、自然の大気を空氣源とするホースマスクと、圧縮空気を空氣源とするエアラインマスクがある。

#### 1 ホースマスク



① 肺力吸引形ホースマスクは自分の肺の力によってホースを通して新鮮な空気を吸氣する構造のもので、面体、連結管、ハーネス、ホース、空気取入口等から構成されている。

② 肺力吸引形ホースマスクは呼吸に伴つてホース、面体内が減圧となるので、接手、呼気弁等に漏氣があると有害物が侵入するので、あまり危険度の高い場所では使わないほうがよい。

第9表 送気マスクの種類

種類	型式	送気方法	
		肺力吸引形	使用者の肺の力で吸引
ホースマスク	送風機形	電動	電動送風機
	手動	手動	手動送風機

注1 吸引式ホースマスク以外のものは、圧力のかかった空気が送れるので、有害物が流れこむ心配が比較的小ない。

注2 ホースマスク吸引式のホースについては、JIS T 8153で内径19 mm以上、長さ10 m以下を原則としている。

注3 デマンド形、プレッシャデマンド形には、小形高圧空氣容器を備え、送気が絶えたとき、これに切り替える複合形がある。

③ 肺力吸引式ホースマスクの空気取入口には目の粗い金網のフィルターしか入っていないので、酸欠空氣、有害ガス、悪臭、ほこり等の侵入するおそれのない場所に、ホースを引っ張つても簡単に倒れたり、外れたりしないようしっかりと固定して使用すること。

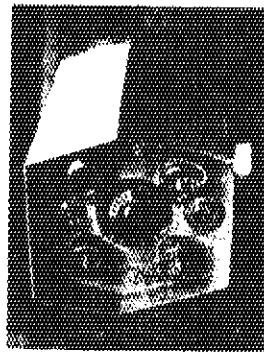
④ 送風機形ホースマスクは、手動または電動の送風機により、ホース、連結管を通して面体内に送気する構造で、ホースと連結管の中間に空気調節袋と流量調節装置（電動のみ）を備えている。

⑤ 送風機は酸欠、有害ガス、悪臭、ほこり等のない場所を選んで設置運転すること。

⑥ 電動送風機は長時間運転すると、フィルターにほこりが付着して通気抵抗が増え、送気量が減ったり、モーターが過熱することがあるから、フィルターは定期的に点検し、汚れていたら水でゆすり洗いして乾燥すること。

⑦ 電動送風機を使用中は、電源の接続を抜かれないように、コードのプラグには、「送気マスク運転中」の表示をすること。

- (8) 電動送風機には4本のホースを同時に接続して使えるよう4個の接続口があるので、使用していない接続口には、必ずねじふたをして、空気が逃げないようにすること。

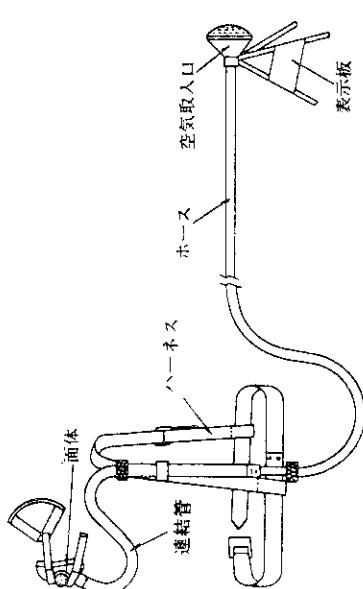


第9図 電動送風機

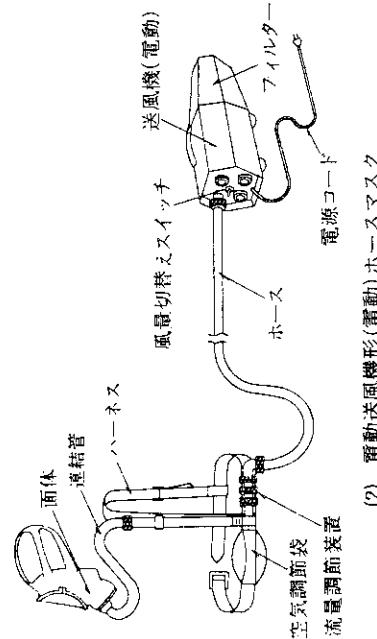
- また、回転数を変えられる型式の場合にはホースの数と長さに応じて適当な回転数に調節して使用すること（第9図）。
- (9) 電動送風機の回転数を調節できない構造のもので、送気量が多過ぎる場合には、ホースと連結管の中間の流量調節装置を回して余分の空気を逃がし、呼吸しやすい圧力にして使用すること。
- (10) 電動送風機は一般に防爆構造ではないので、タンガス、LPガス、その他の可燃性ガスの濃度が爆発下限界を超えるおそれのある危険区域に持ち込んで使用してはならない。
- (11) 手動送風機を回す仕事は相当疲れるので、長時間連続使用する場合には2名以上で交替してまわすこと。

## 2 ホースマスク

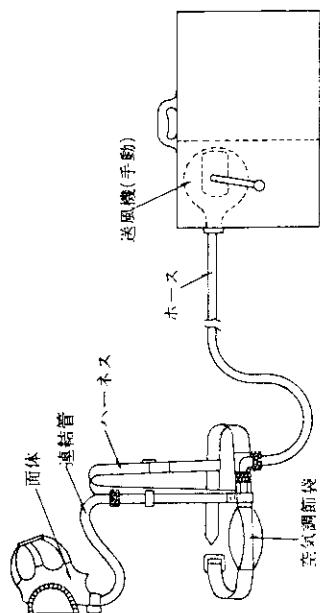
- (1) 一定流量形エアラインマスクは、圧縮空気配管、大型空気ポンベ、コンプレッサー等からの圧縮空気を、エアライン（高压ホース）、連結管を通して面体内に送気する構造のもので、中間に流量調節装置とろ過装置を設ける。
- (2) 一定流量形エアラインマスクで、連結管がよじれたりしてつまるとエアラインからの圧力が連結管にかかる欠点がある。実際に使用中に連結管がよじれたため圧力がかかる破損した事故例があるので注意すること。



(1) 肺吸形ホースマスク



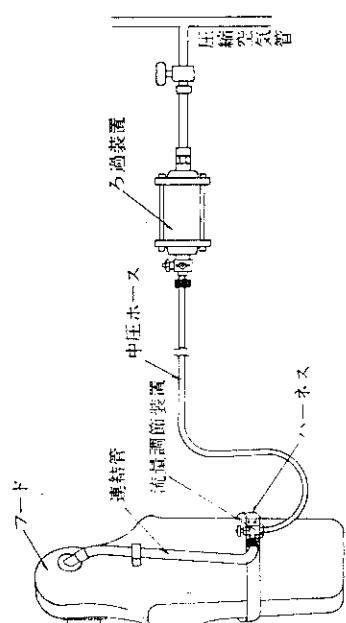
(2) 電動送風機形(電動)ホースマスク

(3) 送風機形(手動)ホースマスク  
第8図 ホースマスクの構造例

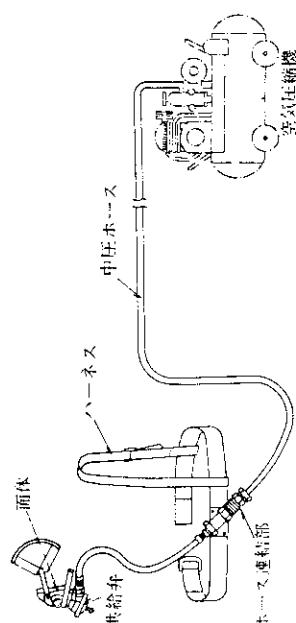
- ③ デマンド形エアラインマスクは、一定流量形の上記の欠点を除くため連結管の材質を高压ホースとし、供給弁を設け、使用者の呼吸に応じて面体内に圧縮空気を送氣するものである。
- ④ 複合形エアラインマスクは、デマンド形エアラインマスクに、小型の空気ボンベを取り付けたもので、當時は中圧ホースからの圧縮空気でデマンド形エアラインマスクとして使い、給気が途絶したような緊急時には空気源をボンベに切り替え圧縮空気放出肺力吸引形呼吸器として使いながら脱出するもので、きわめて危険度の高い場所ではこの方がよい。

- ⑤ エアラインマスクの空気源としては、圧縮空気配管、大型空気ボンベ、コンプレッサーのいずれかを使用する。大型空気ボンベを使用する場合の取扱いは空気呼吸器の場合に準じる。給油式コンプレッサーを使用する場合には空気中に混ざったオイルを除去するために途中に活性炭をつめたろ過装置を設ける。使用中油臭を感じたらろ過装置の活性炭が劣化したとしてあるから使用を中止して新しい活性炭と取り替える。

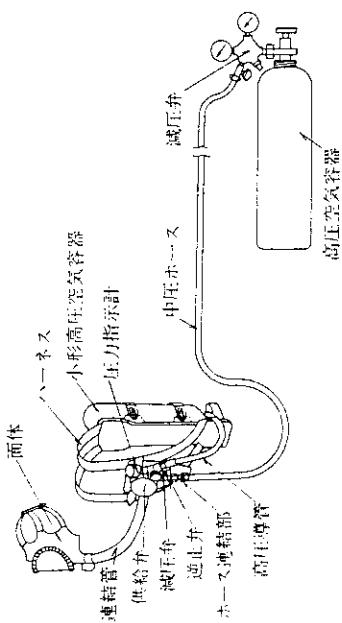
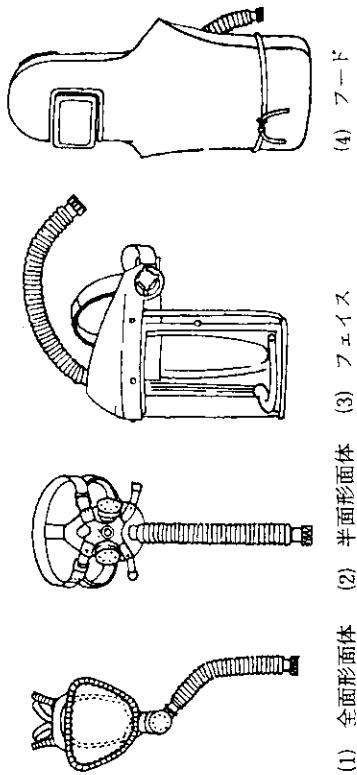
なお、活性炭は可燃物であり加熱されると発火する危険があるので、ろ過装置の活性炭を高温の場所に置いたり、加熱してはならない。



(1) 一定流量形エアラインマスク



(2) デマンド形エアラインマスク

(3) 複合形エアラインマスク  
第10図 エアラインマスクの構造例(1) 全面形面体 (2) 半面形面体 (3) フェイス シールド (4) フード  
第11図 送気マスク用面体等の例

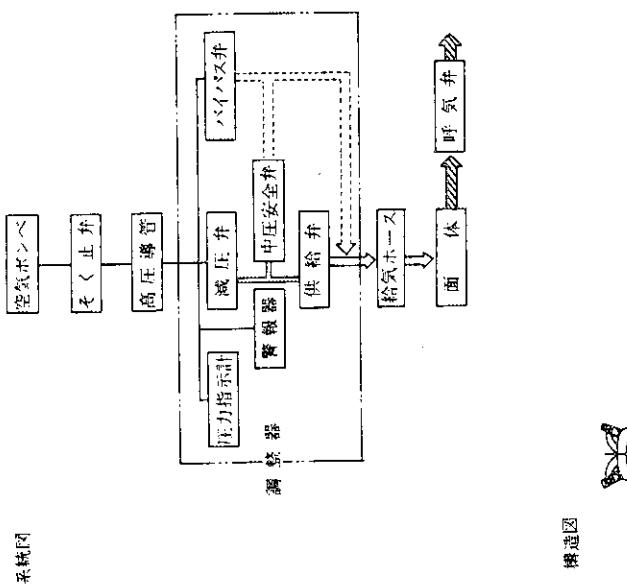
### III. 自給式呼吸器

#### 空気呼吸器

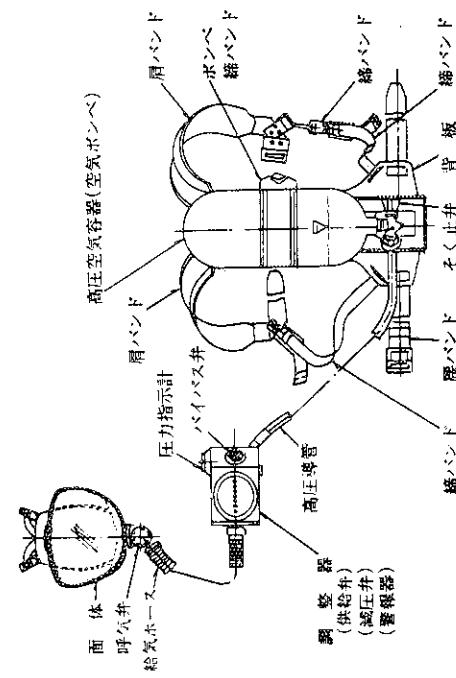
有害物の混ざらない清浄な空気をポンベにつめて危険場所に携行して呼吸しようとするのが空気呼吸器である。

##### (1) 構造

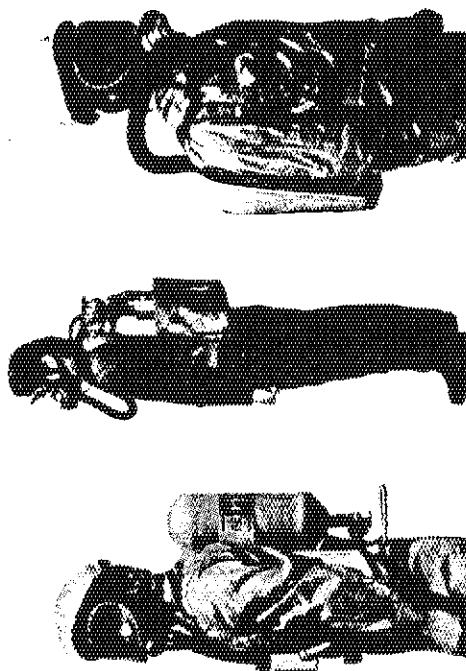
JIS T 8155では空気呼吸器として圧縮空気式のみを規定している。その構造の概要是第14図に示すように、ポンベからの圧縮空気を、二段減圧方式のものでは減圧弁で約 $5\text{ kg}/\text{cm}^2$ の中圧に減圧してから、一段式のものでは減圧しないで直接供給弁に送る。供給弁は使用者が息を吸うとその圧力差で開く自動弁で、息を吸うと空気は給気ホース管を通して面体を通って面体に流れ込む。息を止めると供給弁は自動的に閉じて空気の流出は止まり、吐く息は呼気弁から面体の外に放出される。



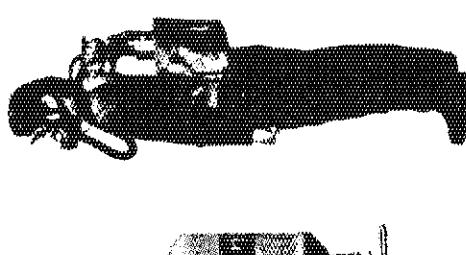
構造図



第14図-(1) 空気呼吸器の構造と系統図 (二段減圧方式)



(1) 空気呼吸器

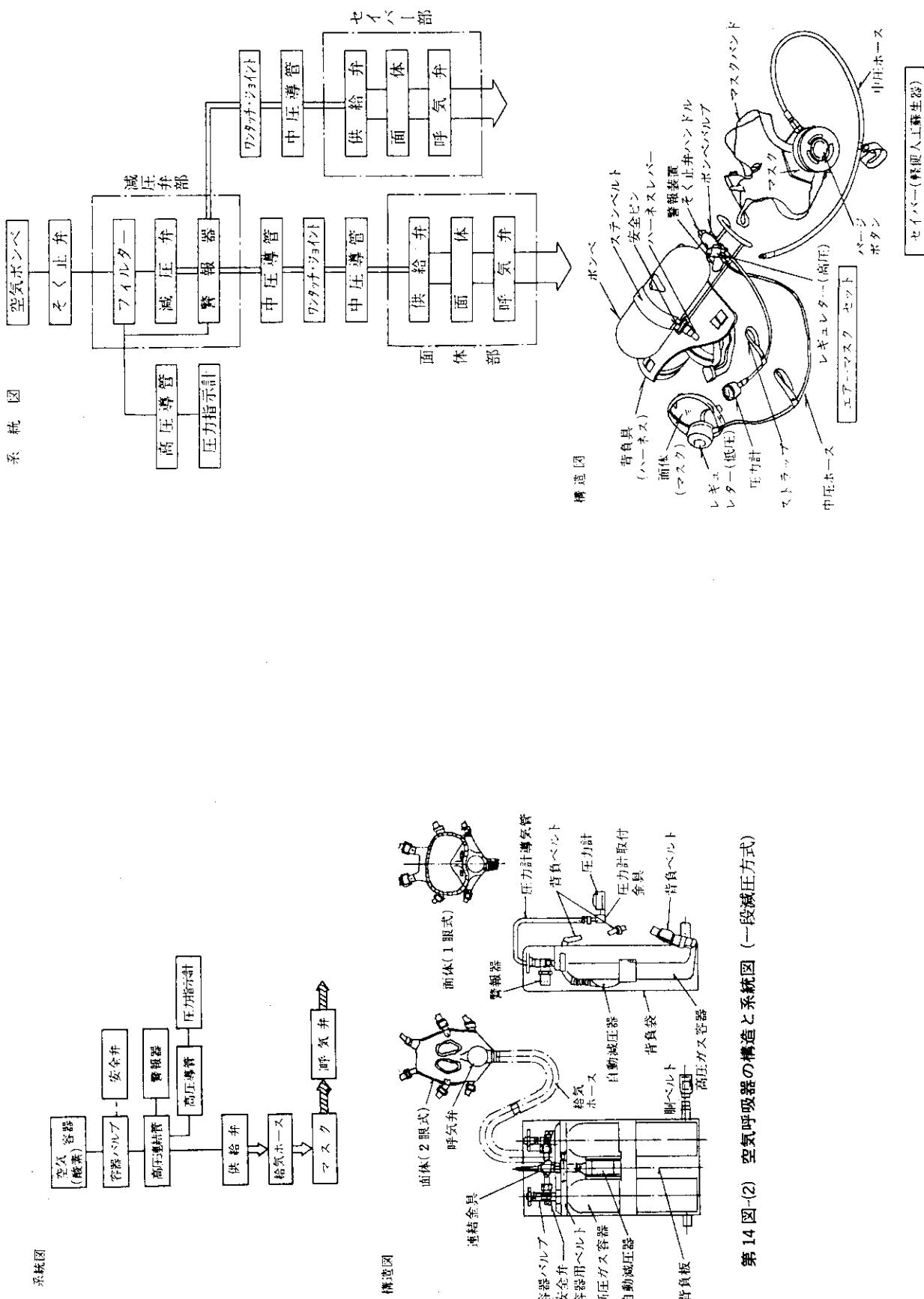


(2) 空気呼吸器



(3) 空気呼吸器

第13図 自給式呼吸器の例



空気呼吸器は以上の主要部のほかポンベ内の圧力を示す圧力計、使用限界を知らせる警報器、調整器故障の際の非常用バイパス弁、背負具等より構成されている。

有効使用時間はポンベの容量によって異なり約10~80分くらいまでの各種類があるが、空気の消費量は使用者の体力や作業条件(労働強度)によって変わり、したがって同一器種の空気呼吸器でも条件によって有効使用時間が変わるので注意を要する。

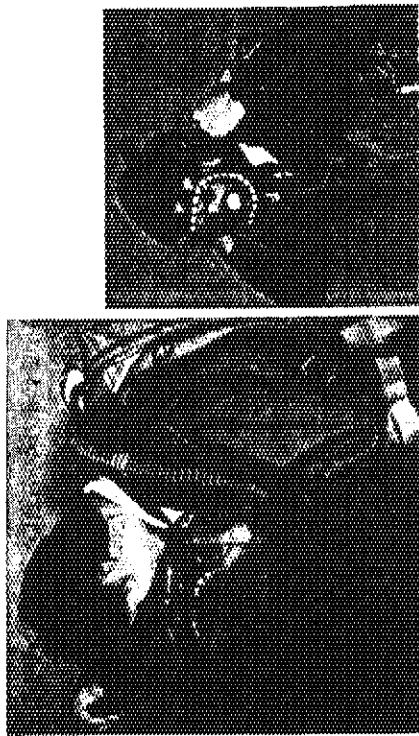
その他メーカーによっては通信装置、通話装置付きマスクや被災者救出用の予備マスクを備えたものもある。

#### (2) 仕業点検

空気呼吸器等を使用する前に必ず作業主任者が仕業点検を行い、正しく動作することを確認しなければならない。仕業点検の手順を次に示す。

- ① ポンベ残圧の検査：ポンベのそく止弁を静かに開き、容器内の圧力を圧力計により確かめる。充てん圧力  $150 \text{ kg/cm}^2$  のポンベでは  $120 \text{ kg/cm}^2$  以上圧力が残っていることが望ましく、それ以下では有効使用時間が圧力に比例して短くなるので好ましくない。

- ② 高圧連絡部の漏洩の検査：ポンベのそく止弁を閉じて、約1分間圧力計の指示の変化を観察する。圧力計の指示が下がらなければ気密は完全である。



第15図 面体の正しい着装法