

JAERI - M

84-152

飛散ガラス破損粉体の粒度分布

1984年8月

武田常夫・吉川静雄・田代晋吾・中村治人

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。
入手の問合わせは、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、お申しこしてください。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 Section, Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1984

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 磯高野高速印刷

飛散ガラス破損粉体の粒度分布

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部
武田常夫・吉川静雄・田代晋吾
中村治人

(1984年7月31日受理)

高レベル廃棄物取扱時の空気汚染源の一つと考えられるガラス粉体の飛散挙動に関する研究を行うため、セル内で放射性合成廃棄物ガラス固化体を粉碎し、セル内に浮遊するガラス粉体の粒度分布を測定した。

飛散粒子の粒径分布は対数正規分布を示し、中央値は約 $1\mu\text{m}$ であり、 $0.2\mu\text{m}$ 以下の粒子は0.1%以下であった。

ガラスを粉碎するさい、舞い上り量が最も多いのは、微粉体になる前のある程度大きな粒径が存在する状態であった。 1.5 l の鉄製乳鉢でガラスを粉碎した場合再浮遊係数は約 $2\times 10^{-5}\text{ m}^{-1}$ であった。

Size Distribution of Suspended Glass
Particle after Crushing

Tsuneo TAKEDA, Shizuo KIKKAWA, Shingo TASHIRO and
Haruto NAKAMURA

Department of Environmental Safety Research,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received July 31, 1984)

In order to study the behavior of flying of radioactive glass powder which is liable to be one of sources causing air contamination at the handling of the high level waste, the size distribution of particle suspending in a hot cell was measured.

The size distribution of the particle showed a log-normal distribution, whose median was about $1 \mu\text{m}$ and the fraction of particles smaller than $0.2 \mu\text{m}$ was 0.1 %.

The powder flew up most greatly on crushing at the stage, when relatively large grain remained in the vessel before becoming fine powder. The suspending factor was about $2 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ at crushing the glass in an iron vessel of 1.5 l.

Keywords: High level waste, Glass, Waste, Particle, Distribution, Contamination, Size, Suspended Glass, Air

目 次

1. まえがき	1
2. 実験	1
(1) 試験の概要	1
(2) 放射性ガラスの調製	1
(3) 粉碎方法	2
(4) 粒度分布の測定	2
(5) 放射能の測定	2
3. 結果と考察	2
(1) 破碎時間と飛散量の関係	2
(2) 粒度分布と粒子濃度	3
4. 粉体のすき間への侵入	3
5. まとめ	4
参考文献	4

Contents

1.	Introduction	1
2.	Experiment	1
	(1) Outline of the experiment	1
	(2) Preparation of radioactive glass	1
	(3) Crushing method.....	2
	(4) Measurement of size distribution	2
	(5) Measurement of radioactivity	2
3.	Results and discussion	2
	(1) Relation between crushing time and suspension	2
	(2) Size distribution and particulate concentration.....	3
4.	Intrusion of powder into slits	3
5.	Conclusion	4
	References	4

1. ま え が き

高レベル廃棄物取扱施設に関する安全性研究の一環として、落下事故時における空気の放射性汚染の評価に関する研究をWASTEF¹⁾を使って実施している。

放射性ガラス固化体の取扱時の放射性物質による気体汚染のソースタームとしては、ガラスの破損粉体と揮発成分の凝結微粒子が考えられる。ここでは空气中に飛散する粉体について検討した結果を報告する。

原研におけるこれまでの関連研究としては、ガラスの破損の様子を表す計算コードを開発し、割れの進行状態を定性的に表した²⁾こと、また、三田村らは落下試験により落下エネルギーとガラスの表面積の増加量が比例関係を示すことを明らかとした³⁾ことがあげられる。米国アルゴンヌ研究所のJardineらは、破損により生ずるガラスの粉体の粒子分布が、対数正規分布を示すことを実験的に⁴⁾確め、分布係数と破壊エネルギーとの関係を求めている。

一方浮遊体の粒度分布については、ORNLのStaffらが、核燃料施設での固体粒子の実測値として、 $0.5 \sim 10 \mu\text{m}$ に分布していることを報告している⁵⁾。また、外氣中に浮遊する塵の粒子分布については、溝畑らがまとめており、⁶⁾土壤粒子等舞い上った粒子と、煙から生じた粒子に大別され、前者は約 $4 \mu\text{m}$ 、後者は約 $0.5 \mu\text{m}$ を最大値とする対数正規分布を示していることを報告している。

本報では、模擬ガラス固化体をWASTEFのセル内で粉碎し、粉碎機周辺の空气中に浮遊する粒子分布を調べ、上記の報告値との関係を考察した。

粉体により、空気が汚染する過程では、キャニスタの破損部あるいは施設の閉じ込め境界の欠陥部を通過することとなる。欠陥部を単純化した模擬試料として、ガラス板を種々のすき間をあけて積み重ねた試料を作成した。その間隙中への粒子の舞い込み状態を調べることにより間隙を通過する粒子の挙動について予備的な知見を得ることとした。

2. 実 験

(1) 試験の概要

返還ガラス固化体の仕様として予定されている組成を基本として、高価な元素を類似の元素で置きかえた、JW-Dの組成のガラス固化体に、短寿命核種の ^{99}Mo を可能な限り多く混入したガラス固化体を製造する。それを粉碎機で粉碎し、その周辺の空気を採取し、粒度測定装置を使って、重量法及び放射能測定法により粒度分布を求めた。

また、この装置の近傍に、スリットゲージと顕微鏡の試料板を重ねさせた試料を置き、板の間に入った放射能を測定した。

(2) 放射性ガラスの調製

酸化モリブデン(MoO_3) 20 g を直径 2.8 cm ×厚さ 1 cm のペレット状にして、原子炉で照射し、 ^{99}Mo を製造する。

このペレットをWASTEFの第2セルに設置したガラス固化体作製装置に投入し、その後Table 1

1. ま え が き

高レベル廃棄物取扱施設に関する安全性研究の一環として、落下事故時における空気の放射性汚染の評価に関する研究をWASTEF¹⁾を使って実施している。

放射性ガラス固化体の取扱時の放射性物質による気体汚染のソースタームとしては、ガラスの破損粉体と揮発成分の凝結微粒子が考えられる。ここでは空气中に飛散する粉体について検討した結果を報告する。

原研におけるこれまでの関連研究としては、ガラスの破損の様子を表す計算コードを開発し、割れの進行状態を定性的に表した²⁾こと、また、三田村らは落下試験により落下エネルギーとガラスの表面積の増加量が比例関係を示すことを明らかとした³⁾ことがあげられる。米国アルゴンヌ研究所のJardineらは、破損により生ずるガラスの粉体の粒子分布が、対数正規分布を示すことを実験的に⁴⁾確め、分布係数と破壊エネルギーとの関係を求めている。

一方浮遊体の粒度分布については、ORNLのStaffらが、核燃料施設での固体粒子の実測値として、 $0.5 \sim 1.0 \mu\text{m}$ に分布していることを報告している⁵⁾。また、外氣中に浮遊する塵の粒子分布については、溝畑らがまとめており、⁶⁾土壤粒子等舞い上った粒子と、煙から生じた粒子に大別され、前者は約 $4 \mu\text{m}$ 、後者は約 $0.5 \mu\text{m}$ を最大値とする対数正規分布を示していることを報告している。

本報では、模擬ガラス固化体をWASTEFのセル内で粉碎し、粉碎機周辺の空气中に浮遊する粒子分布を調べ、上記の報告値との関係を考察した。

粉体により、空気が汚染する過程では、キャニスタの破損部あるいは施設の閉じ込め境界の欠陥部を通過することとなる。欠陥部を単純化した模擬試料として、ガラス板を種々のすき間をあけて積み重ねた試料を作成した。その間隙中への粒子の舞い込み状態を調べることにより間隙を通過する粒子の挙動について予備的な知見を得ることとした。

2. 実 験

(1) 試験の概要

返還ガラス固化体の仕様として予定されている組成を基本として、高価な元素を類似の元素で置きかえた、JW-Dの組成のガラス固化体に、短寿命核種の⁹⁹Moを可能な限り多く混入したガラス固化体を製造する。それを粉碎機で粉碎し、その周辺の空気を採取し、粒度測定装置を使って、重量法及び放射能測定法により粒度分布を求めた。

また、この装置の近傍に、スリットゲージと顕微鏡の試料板を重ねさせた試料を置き、板の間に入った放射能を測定した。

(2) 放射性ガラスの調製

酸化モリブデン (MoO_3) 20 g を直径 2.8 cm × 厚さ 1 cm のペレット状にして、原子炉で照射し、⁹⁹Mo を製造する。

このペレットをWASTEFの第2セルに設置したガラス固化体作製装置に投入し、その後Table 1

に示す試薬の混合物を投入し、2時間1200℃で加熱溶解する。第1セルに設置しているγ線スキヤナーによりガラス固体化が均一であることを確認した。

このようにして製造した直径50mmのガラス固化体を長さ83mmに切断し、次に述べる粉砕機で粉砕した。

(3) 粉砕方法

粉砕機は、WASTE No.3セル内に設置した試料作製装置の1つでFig.1に示すように、約3ℓのマンガン合金(SCMH-2)の乳鉢(Fig.2参照)先端、直径6.3cmの球状をした乳棒を1分間38回落ちる構造である。乳鉢部には簡単な鉄板カバーがある。装置全体をアクリル樹脂製のカバーがしてある。

空気の採取は、乳鉢直上から口径1cmのパイプで、30ℓ/minの流速で13分間採取する。この採取口の近くに、粉体侵入試験用にガラス板を重ねたものを置く。

乳鉢に前記の放射性ガラス試料を約400gを入れ粉砕する。

(4) 粒度分布の測定

装置の構成を、Fig.3に示す。ミニ風洞により1/10に希釈して測定した。

ダイレックス社製カスケードインパクトの粒子分別部の原理をFig.4に示す。重量測定部は容易にとりはずすことができ、付着した物質の放射能を測定できる構造となっている。

空気中に飛散しやすい粒径を中心に10段に分別できるよう設計されている。設計値から、模擬ガラス固化体が球形をしているとして、計算により各段の50%カット・オフエアロダイナミック径がメーカーから与えられているので、それに密度補正を加え各段の粒径を求めTable 2に示す。

(5) 放射能の測定

照射MoO₃のペレット全量及びそれを溶解し分取した溶液を、β-γ同時計数法による絶対測定で校正した、電離箱型測定器で測定し、それぞれの放射能の絶対量を求めた。分取した溶液をさらに希釈し、0.1μCi程度の試料をステンレス鋼皿上にとり、カスケードインパクトの重量測定台の放射能測定と同じ条件で測定した。測定器は、ガスフロー型GM測定器と3"×3"NaI(Tl)γ線スペクトロメータを使用した。

3. 結果と考察

(1) 破砕時間と飛散量の関係

重量測定法により測定した破砕時間と粒子濃度の変化をFig.5に示す。

ある時間、(この場合約2分)を経過すると飛散量が減少する。これは、ある粒径が小さくなると、乳棒の直下部のみに力がかかり、乳棒の内部全体に力が及ばないために粉の運動が少なく舞い上がりが少なくなる。

ガラスに外力が働き破壊していく過程を考えた場合においても、最初の過程では大部分の力が破壊に使われるが、接触部の微粒化が進むに従い、力の及ぶ範囲が狭まり、多くのエネルギーが粒子間の

に示す試薬の混合物を投入し、2時間1200℃で加熱熔融する。第1セルに設置している γ 線スキャナーによりガラス固体化が均一であることを確認した。

このようにして製造した直径50mmのガラス固化体を長さ83mmに切断し、次に述べる粉砕機で粉砕した。

(3) 粉砕方法

粉砕機は、WASTE No.3セル内に設置した試料作製装置の1つでFig.1に示すように、約3ℓのマンガン合金(SCMH-2)の乳鉢(Fig.2参照)先端、直径6.3cmの球状をした乳棒を1分間38回落ちる構造である。乳鉢部には簡単な鉄板カバーがある。装置全体をアクリル樹脂製のカバーがしてある。

空気の採取は、乳鉢直上から口径1cmのパイプで、30ℓ/minの流速で13分間採取する。この採取口の近くに、粉体侵入試験用にガラス板を重ねたものを置く。

乳鉢に前記の放射性ガラス試料を約400gを入れ粉砕する。

(4) 粒度分布の測定

装置の構成を、Fig.3に示す。ミニ風洞により1/10に希釈して測定した。

ダイレックス社製カスケードインパクトの粒子分別部の原理をFig.4に示す。重量測定部は容易にとりはずすことができ、付着した物質の放射能を測定できる構造となっている。

空気中に飛散しやすい粒径を中心に10段に分別できるよう設計されている。設計値から、模擬ガラス固化体が球形をしているとして、計算により各段の50%カット・オフエアロダイナミック径がメーカーから与えられているので、それに密度補正を加え各段の粒径を求めTable 2に示す。

(5) 放射能の測定

照射 MoO_3 のペレット全量及びそれを溶解し分取した溶液を、 β - γ 同時計数法による絶対測定で校正した、電離箱型測定器で測定し、それぞれの放射能の絶対量を求めた。分取した溶液をさらに希釈し、0.1 μCi 程度の試料をステンレス鋼皿上にとり、カスケードインパクトの重量測定台の放射能測定と同じ条件で測定した。測定器は、ガスフロー型GM測定器と3"×3"NaI(Tl) γ 線スペクトロメータを使用した。

3. 結果と考察

(1) 破碎時間と飛散量の関係

重量測定法により測定した破碎時間と粒子濃度の変化をFig.5に示す。

ある時間、(この場合約2分)を経過すると飛散量が減少する。これは、ある粒径が小さくなると、乳棒の直下部のみに力がかかり、乳棒の内部全体に力が及ばないために粉の運動が少なく舞い上がりが少なくなる。

ガラスに外力が働き破壊していく過程を考えた場合においても、最初の過程では大部分の力が破壊に使われるが、接触部の微粒化が進むに従い、力の及ぶ範囲が狭まり、多くのエネルギーが粒子間の

摩擦エネルギーに費やされると推察される。乳鉢の中での破碎の進行とキャニスター内に充填されたガラス固化体に外力が加わって破壊が進行する場合には、多くの条件が異なるが、破壊の進行機構を今後考察していく上での一つの示唆を与えているように思われる。

(2) 粒度分布と粒子濃度

2回の実験について、放射能測定から得られたガラス粉体粒径分布Table3に示す。これを対数正規分布関数グラフにプロットし、Fig.6に示す。中央値は約 $1\ \mu\text{m}$ である。これは、溝畑らがまとめた大気中の塵の第1の分類である「舞い上った塵」の一般的粒径(約 $4\ \mu\text{m}$)より小さい。その理由としては、一般の塵より小粒子の集合体となり難く、見掛け比重が一般の塵よりガラス粉体の方が大きくなっていることが考えられる。第1回目破碎したガラスの全放射能量は約 $13\ \text{mCi}$ であり、空中の放射能濃度は $1.7 \times 10^{-5}\ \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ であった。

落下事故でキャニスタが変形し、ガラスが破碎した場合、変形部内部の空気中の放射能濃度を評価するのにこのデータを活用することを考え、一般に使われている表面汚染密度と空中放射能濃度との比率、再浮遊係数の考え方を適用することを試みた。すなわち、ガラスの微粉体化層と乳鉢中の粉体と同じと仮定する。キャニスタ変形部面積と微粉体化層との比を表面汚染密度と考え、一方乳鉢面に粉体が均一の厚さで分布しているとし、乳鉢内面の汚染密度と考える。

この場合乳鉢表面の直径 $10\ \text{cm}$ の半球面と仮定すると表面汚染密度は、

$$13\ \text{mCi} \div (2 \times 5^2 \times \pi\ \text{cm}^2) = 0.083\ \text{mCi}/\text{cm}^2$$

となる。従って粉碎時の再浮遊係数は、

$$(1.7 \times 10^{-5}\ \mu\text{Ci}/\text{cm}^3) \div (0.083 \times 10^3\ \mu\text{Ci}/\text{cm}^2) = 1.8 \times 10^{-5}\ \text{m}^{-1}$$

となる。同じ方法で第2回目について計算した結果は $1.6 \times 10^{-5}\ \text{m}^{-1}$ であった。すなわち約 $2 \times 10^{-5}\ \text{m}^{-1}$ の値を得た。

キャニスタ内部では乳鉢中より粒子の振動が抑制されることから乳鉢中の値は安全側の値と考えられる。

4. 粉体のすき間への侵入

ガラス粉体がキャニスタあるいは施設の閉じ込め構造物の破損部に侵入する様子を調べるため、一つの模擬試料として、顕微鏡のプレパラートを隙間ゲージを間に入れて積み重ねプレパラート間の透き間を変えた試料を作った。(Fig.7参照)

まず、この試料を $1\ \text{l}$ のビーカーの中に置き、底にガラスの破碎粉を入れ、空気を吹きつけてガラス粉体を舞い上らせた。塵がおさまったのち取り出し、プレパラート上についた塵の分布を顕微鏡で観察した。

隙き間ゲージの厚さと塵の分布状態との関係を写真1に示す。隙き間の厚さとほぼ同じ深さにまで塵が入っていることがわかる。

この試料を先に述べた実験装置の空気採取口の近くに置いた。プレパラートの放射能を測定したと

摩擦エネルギーに費やされると推察される。乳鉢の中での破碎の進行とキャニスター内に充填されたガラス固化体に外力が加わって破壊が進行する場合には、多くの条件が異なるが、破壊の進行機構を今後考察していく上での一つの示唆を与えているように思われる。

(2) 粒度分布と粒子濃度

2回の実験について、放射能測定から得られたガラス粉体粒径分布Table3に示す。これを対数正規分布関数グラフにプロットし、Fig.6に示す。中央値は約 $1\ \mu\text{m}$ である。これは、溝畑らがまとめた大気中の塵の第1の分類である「舞い上った塵」の一般的粒径(約 $4\ \mu\text{m}$)より小さい。その理由としては、一般の塵より小粒子の集合体となり難く、見掛け比重が一般の塵よりガラス粉体の方が大きくなっていることが考えられる。第1回目破碎したガラスの全放射能量は約 $13\ \text{mCi}$ であり、空中の放射能濃度は $1.7 \times 10^{-5}\ \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ であった。

落下事故でキャニスタが変形し、ガラスが破碎した場合、変形部内部の空気中の放射能濃度を評価するのにこのデータを活用することを考え、一般に使われている表面汚染密度と空中放射能濃度との比率、再浮遊係数の考え方を適用することを試みた。すなわち、ガラスの微粉体化層と乳鉢中の粉体と同じと仮定する。キャニスタ変形部面積と微粉体化層との比を表面汚染密度と考え、一方乳鉢面に粉体が均一の厚さで分布しているとし、乳鉢内面の汚染密度と考える。

この場合乳鉢表面の直径 $10\ \text{cm}$ の半球面と仮定すると表面汚染密度は、

$$13\ \text{mCi} \div (2 \times 5^2 \times \pi\ \text{cm}^2) = 0.083\ \text{mCi}/\text{cm}^2$$

となる。従って粉碎時の再浮遊係数は、

$$(1.7 \times 10^{-5}\ \mu\text{Ci}/\text{cm}^3) \div (0.083 \times 10^3\ \mu\text{Ci}/\text{cm}^2) = 1.8 \times 10^{-5}\ \text{m}^{-1}$$

となる。同じ方法で第2回目について計算した結果は $1.6 \times 10^{-5}\ \text{m}^{-1}$ であった。すなわち約 $2 \times 10^{-5}\ \text{m}^{-1}$ の値を得た。

キャニスタ内部では乳鉢中より粒子の振動が抑制されることから乳鉢中の値は安全側の値と考えられる。

4. 粉体のすき間への侵入

ガラス粉体がキャニスタあるいは施設の閉じ込め構造物の破損部に侵入する様子を調べるため、一つの模擬試料として、顕微鏡のプレパラートを隙間ゲージを間に入れて積み重ねプレパラート間の透き間を変えた試料を作った。(Fig.7参照)

まず、この試料を $1\ \text{l}$ のビーカーの中に置き、底にガラスの破碎粉を入れ、空気を吹きつけてガラス粉体を舞い上らせた。塵がおさまったのち取り出し、プレパラート上についた塵の分布を顕微鏡で観察した。

隙き間ゲージの厚さと塵の分布状態との関係を写真1に示す。隙き間の厚さとほぼ同じ深さにまで塵が入っていることがわかる。

この試料を先に述べた実験装置の空気採取口の近くに置いた。プレパラートの放射能を測定したと

ころ、検出限界 $1 \times 10^{-5} \mu\text{Ci}$ 以下であった。この量は汚染空気 1 ml 以下に相当する。

上記、コールド試験から、間隔と同じ程度の奥行きまで侵入する可能性がある。 1 mm の板間隔で 1 mm の奥行きまでの空間の体積は約 0.5 ml である。この量は検出感度以下でありホット試験で検出できなかったことと整合する。本実験から、空気の流れのない限り、欠陥部を拡散により塵が通過することは極めて少ないことを示している。

5. ま と め

合成廃棄物ガラス固化体を粉碎したさい空气中に飛散する粒子の粒径分布は対数正規分布に従い、中央値は約 $1 \mu\text{m}$ であり、 $0.2 \mu\text{m}$ 以下の粒子は 0.1% 以下であることがわかった。

ガラス粉体を粉碎したさい舞い上り量が多いのは、微粉になった段階ではなく、ある程度大きな粒子が存在する状態である。乳鉢中で粉碎するという厳しい条件で、再浮遊率は約 $2 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ であった。この値は落下事故時等の評価において充分安全側の値として使えるものと思われる。

種々の間隔のすき間に舞い込む粒子量を測定した結果、検出限界以下で定量的数値を得ることはできなかったが、空気の流れがない限り舞い込み量は極めて少なく、空気の移動量のみで漏洩量を評価すれば充分であると推察された。

参 考 文 献

- 1) 田代他, " 廃棄物安全試験施設 (WASTEF) (建設及びセルの設計と仕様)" (1983)
- 2) 武田他, " 高レベル廃棄物ガラス固化体の破壊挙動解析(II) ADEKAT-Gコードによる落下衝撃破壊解析", K41, 日本原子力学会昭和58年秋の分科会
- 3) 三田村他, " 模擬高レベル廃棄物ガラス固化体の安全性試験(III) (固化体の落下衝撃試験)"
JAERI-M 9191 (1980)
- 4) Jardine, L. J. et al. "Respirable fines produced by impacts of simulated alternative high-level waste materials" Scientific Basis for Nuclear Waste Management Boston (1981) p.115
- 5) Staff of the ORNL "Siting of fuel reprocessing plants and waste-management facilities" ORNL-4451 (1970)
- 6) 溝畑: " 都市大気エアロゾル粒子の性状と発生源の同定に関する基礎的研究" 京都大学学位論文 (1981)
- 7) Mishima, J. et al. UC-41 HW-83668 (1964)

ころ、検出限界 $1 \times 10^{-5} \mu\text{Ci}$ 以下であった。この量は汚染空気 1 ml 以下に相当する。

上記、コールド試験から、間隔と同じ程度の奥行きまで侵入する可能性がある。 1 mm の板間隔で 1 mm の奥行きまでの空間の体積は約 0.5 ml である。この量は検出感度以下でありホット試験で検出できなかったことと整合する。本実験から、空気の流れのない限り、欠陥部を拡散により塵が通過することは極めて少ないことを示している。

5. ま と め

合成廃棄物ガラス固化体を粉砕したさい空气中に飛散する粒子の粒径分布は対数正規分布に従い、中央値は約 $1 \mu\text{m}$ であり、 $0.2 \mu\text{m}$ 以下の粒子は 0.1% 以下であることがわかった。

ガラス粉体を粉砕したさい舞い上り量が多いのは、微粉になった段階ではなく、ある程度大きな粒子が存在する状態である。乳鉢中で粉砕するという厳しい条件で、再浮遊率は約 $2 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ であった。この値は落下事故時等の評価において充分安全側の値として使えるものと思われる。

種々の間隔のすき間に舞い込む粒子量を測定した結果、検出限界以下で定量的数値を得ることはできなかったが、空気の流れがない限り舞い込み量は極めて少なく、空気の移動量のみで漏洩量を評価すれば充分であると推察された。

参 考 文 献

- 1) 田代他, " 廃棄物安全試験施設 (WASTEF) (建設及びセルの設計と仕様) " (1983)
- 2) 武田他, " 高レベル廃棄物ガラス固化体の破壊挙動解析(II) ADEKAT-Gコードによる落下衝撃破壊解析 ", K 4 1, 日本原子力学会昭和 58 年秋の分科会
- 3) 三田村他, " 模擬高レベル廃棄物ガラス固化体の安全性試験(III) (固化体の落下衝撃試験) " JAERI-M 9191 (1980)
- 4) Jardine, L. J. et al. "Respirable fines produced by impacts of simulated alternative high-level waste materials" Scientific Basis for Nuclear Waste Management Boston (1981) p.115
- 5) Staff of the ORNL "Siting of fuel reprocessing plants and waste-management facilities" ORNL-4451 (1970)
- 6) 溝畑: " 都市大気エアロゾル粒子の性状と発生源の同定に関する基礎的研究 " 京都大学学位論文 (1981)
- 7) Mishima, J. et al. UC-41 HW-83668 (1964)

ころ、検出限界 $1 \times 10^{-5} \mu\text{Ci}$ 以下であった。この量は汚染空気 1 ml 以下に相当する。

上記、コールド試験から、間隔と同じ程度の奥行きまで侵入する可能性がある。 1 mm の板間隔で 1 mm の奥行きまでの空間の体積は約 0.5 ml である。この量は検出感度以下でありホット試験で検出できなかったことと整合する。本実験から、空気の流れのない限り、欠陥部を拡散により塵が通過することは極めて少ないことを示している。

5. ま と め

合成廃棄物ガラス固化体を粉砕したさい空气中に飛散する粒子の粒径分布は対数正規分布に従い、中央値は約 $1 \mu\text{m}$ であり、 $0.2 \mu\text{m}$ 以下の粒子は 0.1% 以下であることがわかった。

ガラス粉体を粉砕したさい舞い上り量が多いのは、微粉になった段階ではなく、ある程度大きな粒子が存在する状態である。乳鉢中で粉砕するという厳しい条件で、再浮遊率は約 $2 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ であった。この値は落下事故時等の評価において充分安全側の値として使えるものと思われる。

種々の間隔のすき間に舞い込む粒子量を測定した結果、検出限界以下で定量的数値を得ることはできなかったが、空気の流れがない限り舞い込み量は極めて少なく、空気の移動量のみで漏洩量を評価すれば充分であると推察された。

参 考 文 献

- 1) 田代他, " 廃棄物安全試験施設 (WASTEF) (建設及びセルの設計と仕様)" (1983)
- 2) 武田他, " 高レベル廃棄物ガラス固化体の破壊挙動解析(II) ADEKAT-Gコードによる落下衝撃破壊解析", K41, 日本原子力学会昭和58年秋の分科会
- 3) 三田村他, " 模擬高レベル廃棄物ガラス固化体の安全性試験(III) (固化体の落下衝撃試験)"
JAERI-M 9191 (1980)
- 4) Jardine, L. J. et al. "Respirable fines produced by impacts of simulated alternative high-level waste materials" Scientific Basis for Nuclear Waste Management Boston (1981) p.115
- 5) Staff of the ORNL "Siting of fuel reprocessing plants and waste-management facilities" ORNL-4451 (1970)
- 6) 溝畑: " 都市大気エアロゾル粒子の性状と発生源の同定に関する基礎的研究" 京都大学学位論文 (1981)
- 7) Mishima, J. et al. UC-41 HW-83668 (1964)

Table 1 ガラス, 素材量の計算

ガラス成分名	モル重量 A	F.P. (注1)		アクチニド wt%	フリット wt%	ガラス成分 B wt%	試 薬	対A モル重量 C	素材量 BxC/A x13.5(g)	備 考
		JWC	wt%							
SiO ₂	60	モル比			45.2	45.2	SiO ₂	60	610.2	注) JAERI-M 82-088, P-18 "Table 11 Composition of simulated HLLW at 500ℓ/t・UO ₂ " 参考 ガラス成分の組成は, (重量%) SiO ₂ 45.2 B ₂ O ₃ 13.9 Al ₂ O ₃ 4.9 Na ₂ O 9.8 CaO 4.0 Fe ₂ O ₃ 2.0 Li ₂ CO ₃ 2.0 ZrO ₂ 3.1 ZnO 2.5 KNO ₃ 0.1 Sr(NO ₃) ₂ 0.4 H ₂ MoO ₄ ・H ₂ O 1.9 Mn(NO ₃) ₂ ・6H ₂ O 0.3 Co(NO ₃) ₂ ・6H ₂ O 0.1 Ni(NO ₃) ₂ ・6H ₂ O 0.8 TeO ₂ 0.3 CsNO ₃ 2.2 Ba(NO ₃) ₂ 0.7 Cr(NO ₃) ₃ ・9H ₂ O 0.5
B ₂ O ₃	70				13.9	13.9	Na ₂ B ₄ O ₇	201 × $\frac{1}{2}$	269.4	
Al ₂ O ₃	102				4.9	4.9	Al(OH) ₃	78 × 2	101.1	
Na ₂ O	62				9.8	9.8	Na ₂ CO ₃	106	84.1	
CaO	56	* ¹ 15.03 * ² 4.26	1.61	0.9	4.0	6.5	CaCO ₃	100	156.7	
Fe ₂ O ₃	160		1.31			4.6	Fe ₂ O ₃	160	62.1	
Li ₂ O	30		1.83		2.0	2.0	Li ₂ CO ₃	74	66.6	
ZrO ₂	123			* ³ 3.3	2.0	3.1	ZrO ₂	123	41.9	
ZnO	81			* ³ 3.3	2.5	2.5	ZnO	81	33.8	
K ₂ O (as Rb ₂ O)	94	0.757	0.14			0.1	KNO ₃	101 × 2	2.9	
SrO	104	1.90	0.38			0.4	Sr(NO ₃) ₂	212	11.0	
MoO ₃	144	7.70	1.93			1.9	H ₂ MoO ₄ ・H ₂ O	180	32.1	
MnO ₂	87	1.72	0.29			0.3	Mn(NO ₃) ₂ ・6H ₂ O	287	13.4	
CoO (as Rh ₂ O ₃)	75	0.926	0.13			0.1	Co(NO ₃) ₂ ・6H ₂ O	291	5.2	
NiO (as RbO)	75	0.535	0.36			0.8	Ni(NO ₃) ₂ ・6H ₂ O	291	41.9	
TeO ₂	160	0.824	0.25	0.4		0.3	TeO ₂	160	4.1	
Cs ₂ O	282	4.03	2.18			2.2	CsNO ₃	195 × 2	41.1	
BaO	153	2.37	0.70			0.7	Ba(NO ₃) ₂	261	16.1	
Cr ₂ O ₃	152			0.5		0.5	Cr(NO ₃) ₃ ・9H ₂ O	400 × 2	35.5	
計	—	—	11.11	0.9	82.3	99.8	—	—	1629.2	

*1 1.03 (as Y₂O₃) + 14.0 (as La₂O₃, CeO₂, Pr₆O₁₁, Nd₂O₃, Sm₂O₃) *2 as RuO₃ *3 内ZrO₂ 0.3, Fe₂O₃ 0.4 は不溶解金属微粒子として模擬したもの *4 (2.7 × 9.8 × 10.6 / 6.2) - (5.3 × 8.8 × 10.6 / 20.1)

No	名称	摘要	数	7	メタルコネクタ	AC100V 3P	1
1	本体	SSインゲル	1	8	モーター	AC100V 200W	1
2	乳鉢 $\phi 150 \times 200$	マンガン SCMNH-2 マンガン 13%	1	9	ベルト		1
3	乳棒	ハガネ SK-2種	1	10	固定レバー		1
4	回転アーム		1	11	吊り金具		
5	カバー		1	12	粉砕機カバー		
6	オモリ			13			

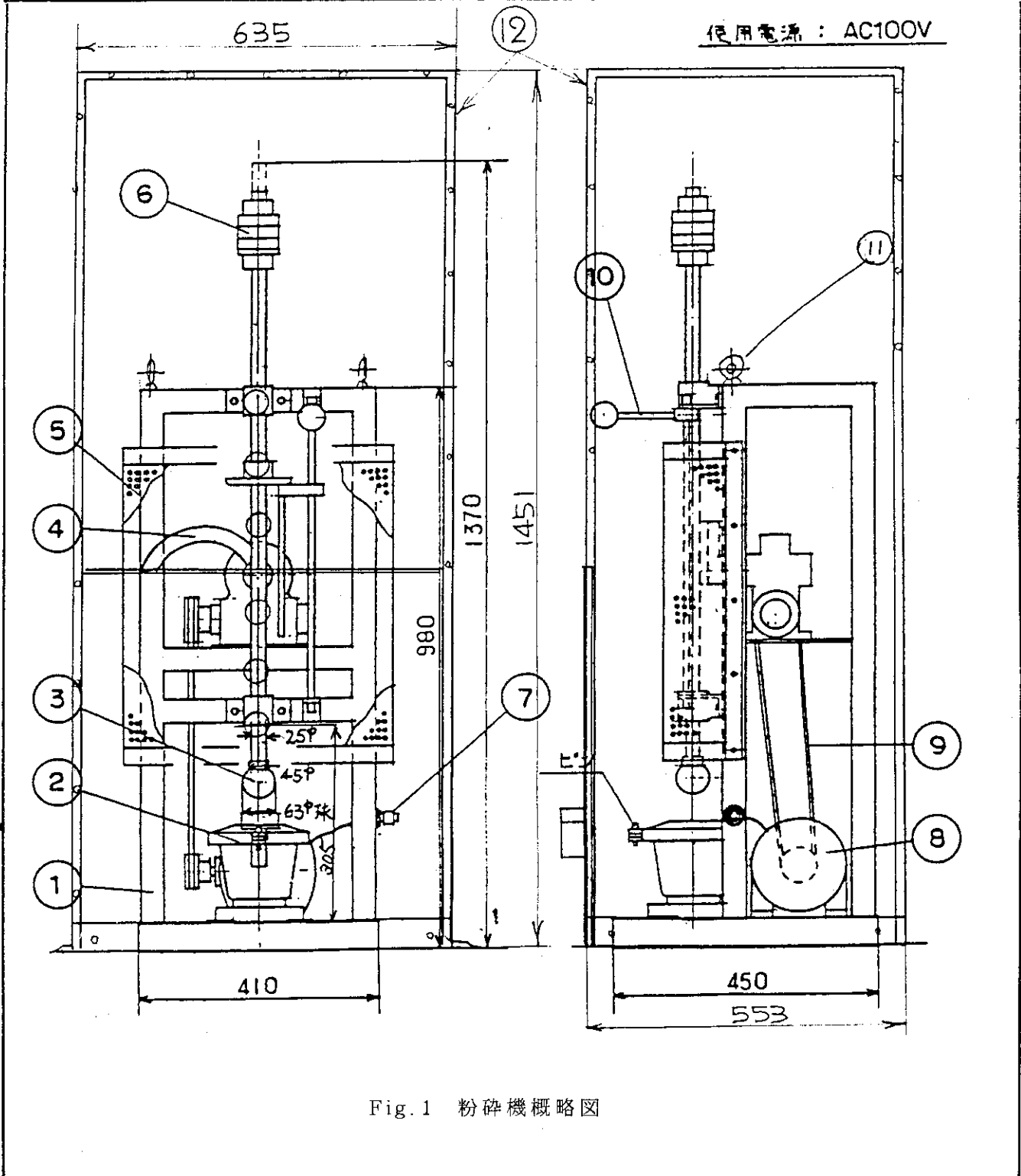


Fig.1 粉砕機概略図

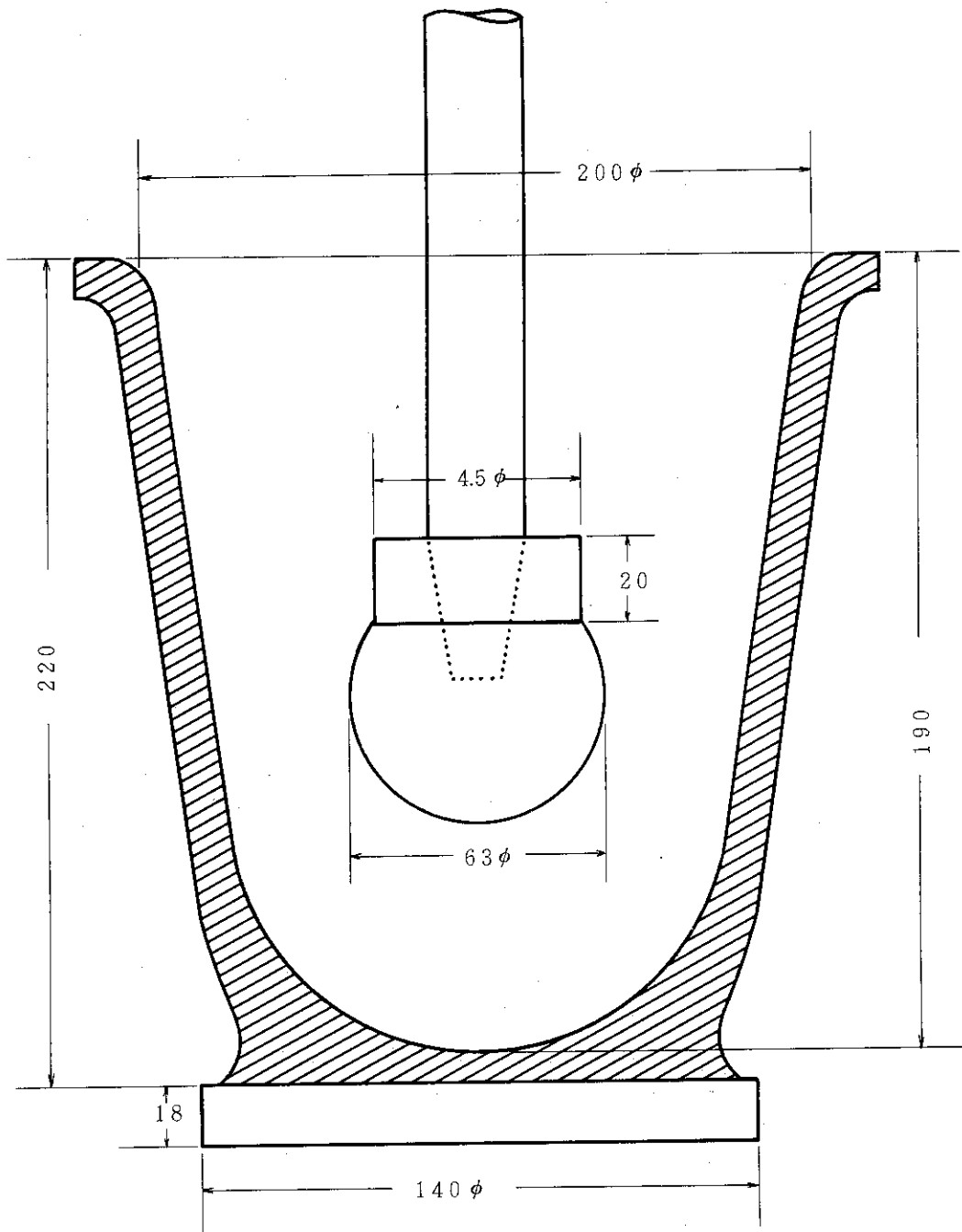


Fig.2 乳鉢形状

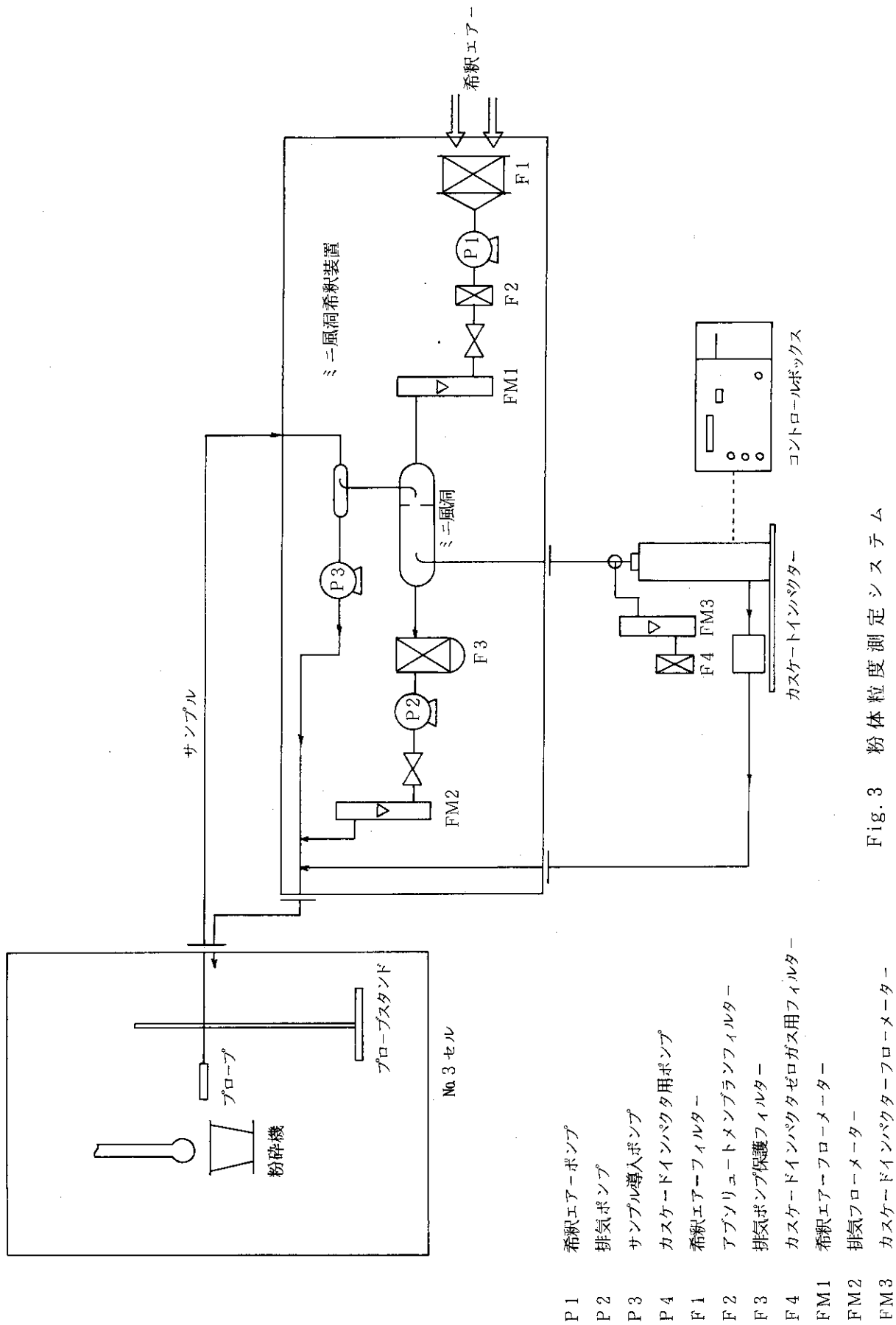


Fig. 3 粉体粒度測定システム

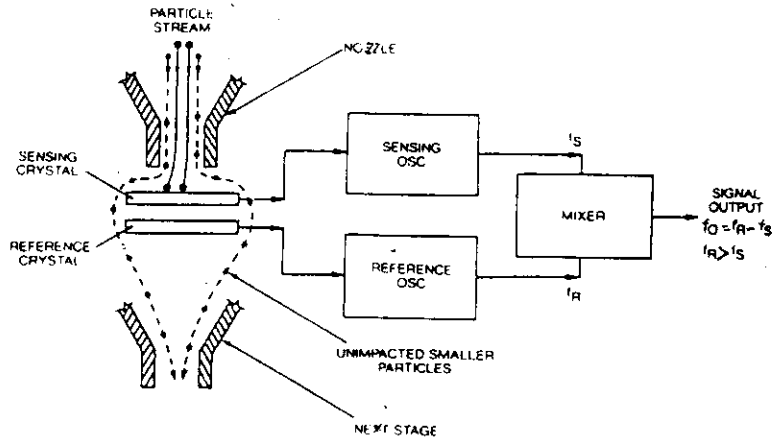


Fig. 4 水晶発信式重量測定概略図

Table 2 各段に集塵される粒径

チャンネルNo.	粒径 (密度補正)
1 CH	2 1.6 4 μm 以上
2 CH	2 1.6 4 ~ 1 0.8 2 μm
3 CH	1 0.8 2 ~ 5.5 4 μm
4 CH	5.5 4 ~ 2.7 7 μm
5 CH	2.7 7 ~ 1.3 8 μm
6 CH	1.3 8 ~ 0.6 9 μm
7 CH	0.6 9 ~ 0.3 5 μm
8 CH	0.3 5 ~ 0.1 7 μm
9 CH	0.1 7 ~ 0.0 9 μm
1 0 CH	0.0 9 ~ 0.0 4 μm

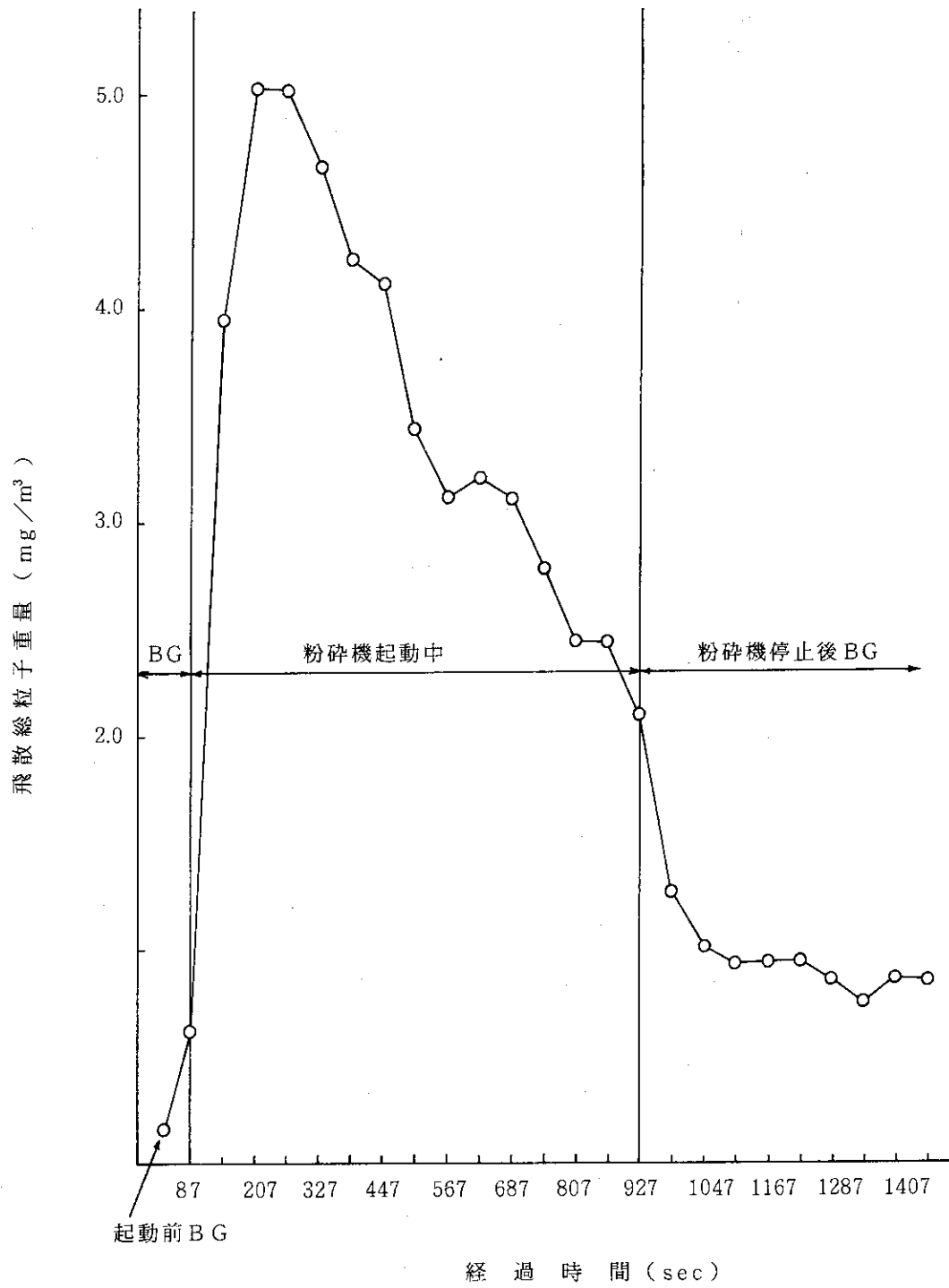


Fig.5 粉砕時間と飛散量の関係
(重量法による時間変化の測定)

Table 3 放射能測定より得られたガラス粉体の粒度分布

	r 計測 (%)		β 計測 (%)		平均		積算 (%)
	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	
3.06以上	3.8	0	1.5	0.42	1.4	100	
3.06~2.16	2.9	3.5	2.3	3.2	3.0	98.6	
2.16~1.55	5.9	5.6	0.7	3.0	3.8	95.6	
1.55~1.09	18.5	18.7	33.0	17.6	22.0	91.8	
1.09~0.77	48.4	46.4	48.2	46.6	47.4	69.8	
0.77~0.55	13.8	13.6	6.9	17.8	13.0	22.4	
0.55~0.39	5.8	5.2	4.5	4.7	5.0	9.4	
0.39~0.27	0.5	6.7	2.4	6.2	4.0	4.4	
0.27~0.19	0.1	0.3	0.3	0	0.2	0.4	
0.19~0.14	0.4	0	0.1	0.4	0.2	0.2	

	1 回目	2 回目
粉 碎 量	1.3 mCi	2.7 mCi
全 捕 集 量	$6.6 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}$	$1.1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}$
捕 集 空 気	5.40 mℓ	5.40 mℓ

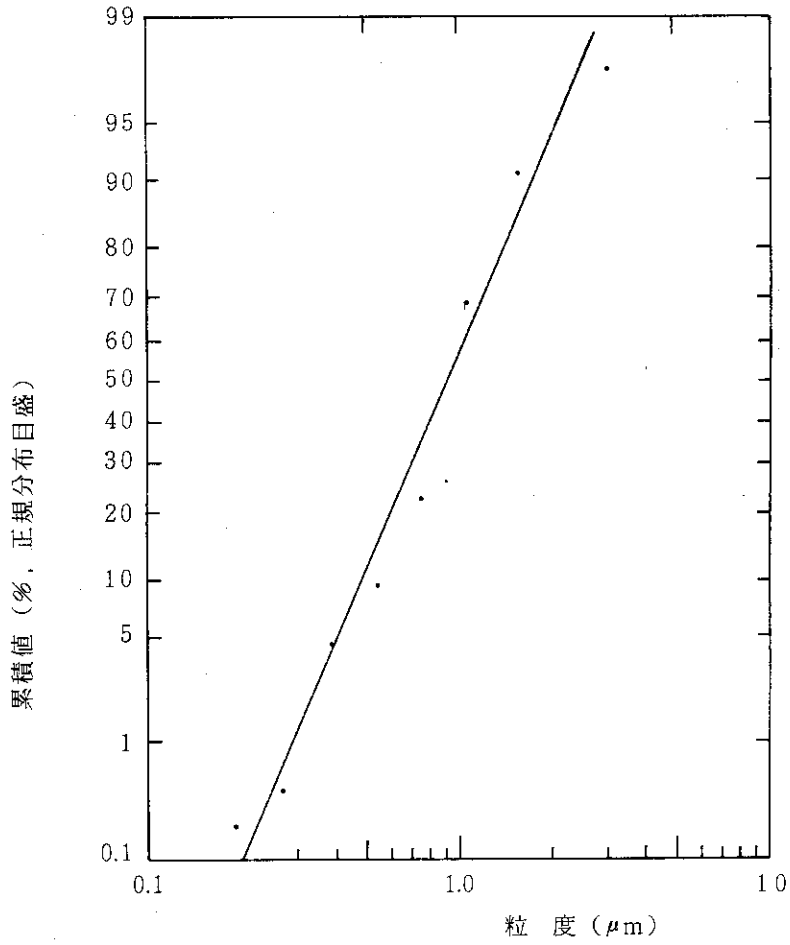


Fig. 6 ガラス粒子の粒度分布
(放射能測定値より算出)

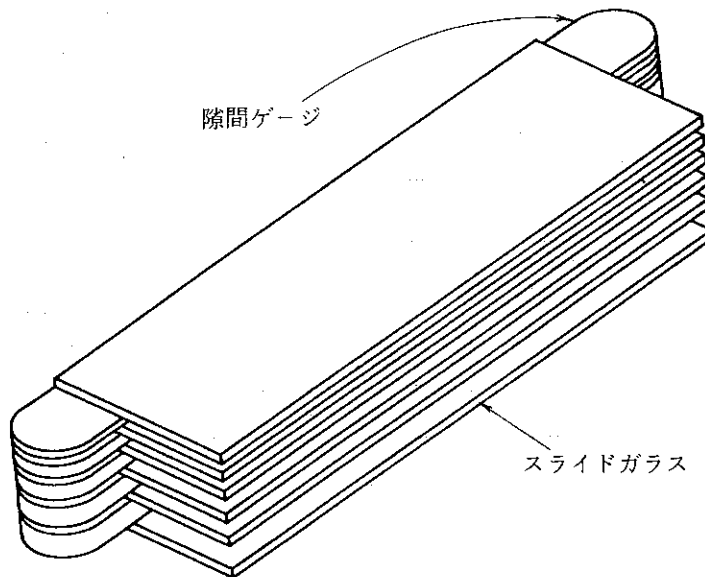
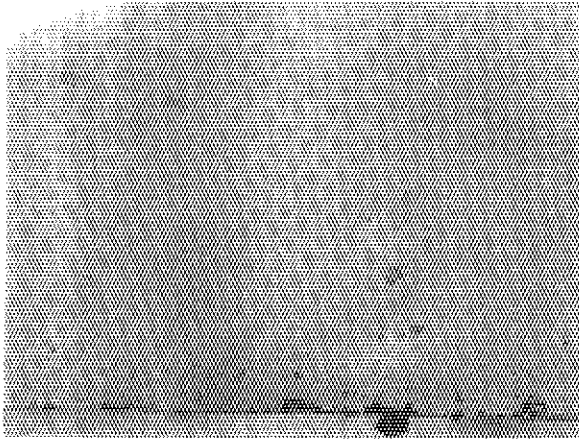
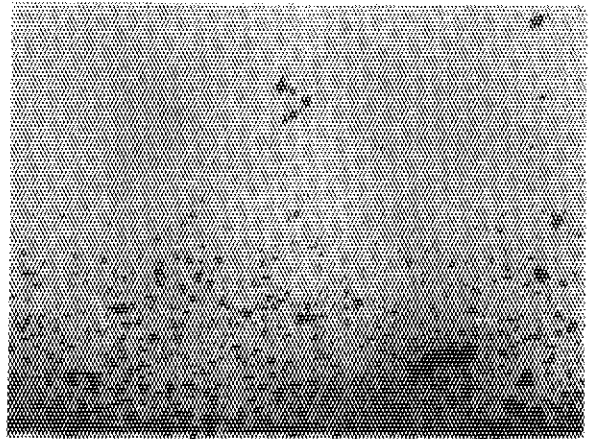


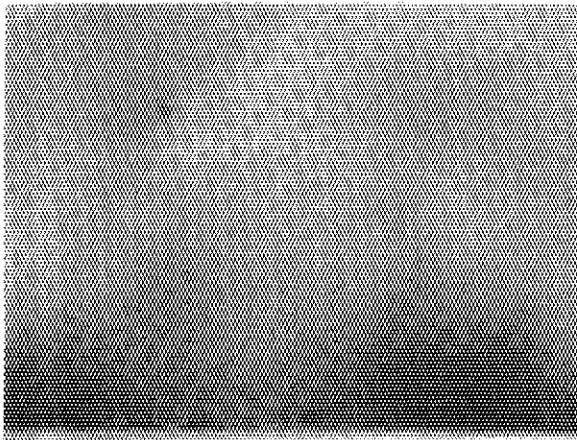
Fig. 7 キャニスタ破損間隙模擬試料概念図



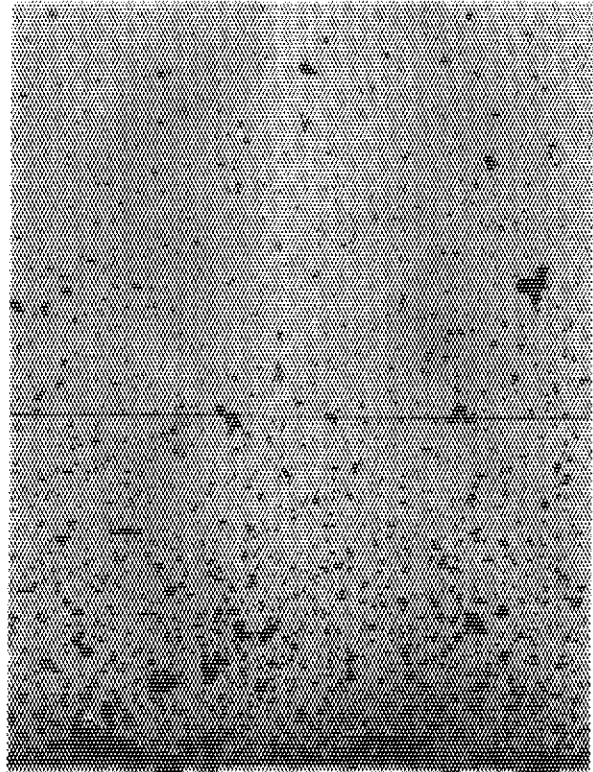
スリット巾0.05 mm



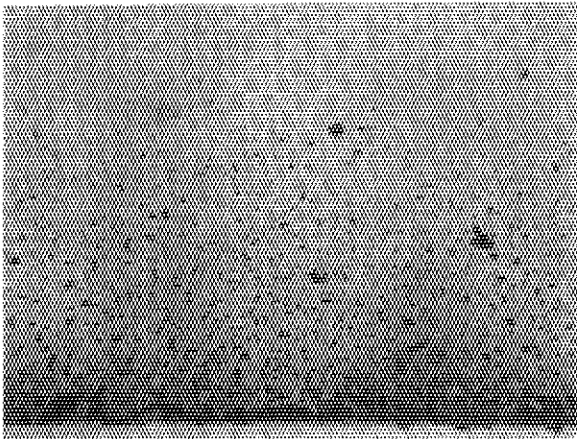
スリット巾0.5 mm



スリット巾0.1 mm



スリット巾1 mm



スリット巾0.25 mm

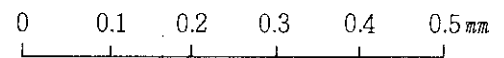


写真1 スリット巾と粉体の舞い込み状況