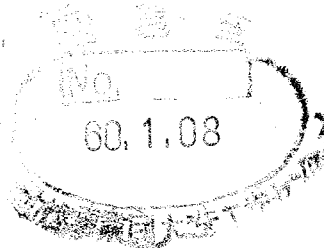


氷粒ブラスト装置の設計研究

(昭和 58 年度)

本資料は 年 月 日付で
登録区分変更する。 [技術展開部技術協力部]



1984年3月

技術資料コード	
開示区分	レポート No.
T8	J118 83-05(1)
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です 動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

石川島播磨重工業株式会社

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに配布するものです。ついては供覧，複製，転載，引用等を絶対に行わないよう厳重に管理して下さい。なお、開示制限が解除になった場合はその旨通知しますが、それ以前に関連業務が終了した場合は、直ちに返却して下さい。

1984年3月

氷粒ブラスト装置の設計研究*



清水 信** , 木室晴視** , 綾部統夫**

河野保昌*** , 宮原修二*** , 山下三郎***

金沢和夫**** , 林 三雄**** , 吉崎正人****

要 旨

氷粒ブラスト法について、ブラスト性能ならびに適用性についての試験検討を行い、これをもとに氷粒ブラスト装置の概念設計を実施した。

除染性能に関しては、性能に影響を及ぼすと考えられるブラスト圧力、氷ノドライアイス混合比等をパラメータとして模擬試験片への投射実験を実施し、最適ブラスト条件の把握を行うと同時に除染機構の推定を行った。

氷粒ブラスト装置を α 除染セルならびにグローブボックスへの適用性の調査を行うと共に、剝離物の廃棄物処理系への移行量について実験にて確認を行った。又投射時に氷粒ブラスト装置が発する騒音について調査を行い騒音の低減化について検討を行った。

以上の調査検討に装置上の検討を加え α 除染セルに設置する氷粒ブラスト装置の概念設計を実施した。

* 本報告書は、石川島播磨重工業株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究成果の概要である。

** 技術本部 技術研究所

*** 原子力事業部 保守技術部

**** 原子力事業部 第2プラント設計部

Design and Research of Ice-Blasting Equipment*

Makoto Shimizu** ,Harumi Kimuro** ,Muneo Ayabe**
Yasumasa Kouno*** ,Syuji Miyahara*** ,Saburo Yamashita***
Kazuo Kanazawa****,Mitsuo Hayashi****,Masato Yoshizaki****

Abstract

Experimental studies on decontamination with ice blast method and it's application to WDF α -decontamination cell have been carried out. In this study optimum blasting conditions such as blasting pressure, ice-dryice mixing ratio etc. have been established and decontamination mechanism has been made clear by blasting ice or dryice particles with low pressure (less than 9Kg/cm^2) to brick or painted test pieces.

On the application to cell and glove box, transfer rate of removed substance to liquid waste and off gas have been studied to assess distribution of radio-activity.

Noise level and spectrum have been measured and method to reduce noise level have been discussed.

A conceptual design of decontamination equipment using ice-blasting was done on the basis of above experiment.

-
- * Work performed by Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co.Ltd., under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.
 - ** Technical department Research Institute.
 - *** Nuclear power division Maintenance engineering department.
 - **** Nuclear power division 2nd. plant design department.

1. Introduction

The wastes contaminated with Transuranic elements (TRU wastes) generated from the plutonium treatment facilities such as the reprocessing facilities, the plutonium fuel fabricating facilities contains radionuclides such as plutonium, americium, etc. Since these Transuranic elements (TRU elements) have great hazard potential and long half-lives, it is necessary to preserve them for a long period in the barrier with high isolating capability.

If it is possible to remove the TRU elements from TRU wastes by an effective decontamination method to handle them as the low level radioactive wastes, it can be expected to reduce greatly the costs of management, transportation and disposal of TRU wastes. For this purpose, extensive research and development have been carried out on the TRU waste decontamination method. Hot water jet method, melting method, etc. are regarded as candidates to decontaminate incombustible solid TRU wastes. However, they have several disadvantages such as low decontamination effectiveness, mal-operability, large amount of secondary waste production, etc.

The ice blasting, which is to decontaminate by blasting ice pellets with compressed air, is one of the most practical methods under development. This method is effective to remove loose contaminants or mild surface oxides, which are most popular form of TRU contamination. Compared with high pressure water jet method, ice blasting method has many advantages such as less amount of secondary waste and easier operation.

Purpose of this study is to make clear decontamination effectiveness of the ice blasting method and applicability to α -decontamination cell in the Waste Dismantling Facility (WDF) at O-arai Engineering Center of Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (PNC).

2. Decontamination Effectiveness

2.1 Test Method

The ice blasting test equipment is set at α -decontamination cell in WDF. The mixture of ice and dryice particles ranging from 2 to 7 mm in diameter was blasted against bricks and several painted test pieces. Test was done by changing the parameters seemed to have an effect on decontamination. And the following items were measured: the volume, the depth and the area of brick removed, the stripped area of several painted test pieces.

The parameters used in this test are shown as follows:

- a) Simulated objects (bricks and painted test pieces)
- b) Ice/dryice mixing ratio
- c) Particles/transfer air mixing ratio
- d) Blasting pressure
- e) Blasting distance
- f) Shape of nozzle

Reason that bricks and painted test pieces are used as simulated objects is as follows.

The painted test piece is similar to an actual decontamination object to be treated in α -decontamination cell because radio-nuclides adhere on painted surface. A brick is easy to survey the optimum blasting condition because the area, the volume and the depth of brick removed are measured easily.

2.2 Results and Discussion

(1) Simulated objects

Three kinds of painted test pieces and brick were prepared and test was performed with changing blasting distance.

Test result shows that effective stripping condition for the painted test pieces depends on stripping strength.

Stripping area of painted test piece which has weak stripping strength increases according to blasting distance and max. area is occurred at about 250 mm. This phenomenon is similar to removed volume of the brick.

However stripping area of other painted test pieces which have strong stripping strength decreases according to blasting distance.

Paint which has weak stripping strength is inorganic paint and the others are organic paint. This phenomenon described above is explained as follows.

The stripping strength of organic paint decreases under the low temperature caused by the blasted mixture of ice and dry ice particles, (see N.B. below) whereas the strength of brick and inorganic paint is almost unaffected.

This should be the main reason why the maximum volume removed from the brick and stripped area of inorganic paint are derived at the distance where the particles get their maximum velocity, on the other hand the stripped area of organic paint is not affected much by the distance.

N.B.

The stripping strength of the organic paint at -30°C is about one-half of that at room temperature.

(2) Effect of ice/dryice particles mixing ratio

In order to research blasting effect by change of ice/dryice particle mixing ratio, blasting test was done. Test results are shown in Fig. 1. Volume, area and depth of the brick removed are minimum in case of dryice only and increase rapidly till the ice/dryice mixing ratio gets about 30%. If the brick is removed by kinetic energy of blasting particle, volume of the brick removed should be max. in case of dryice 100% because specific weight of dryice is 1.5 g/cm^3 and is larger than that of ice particle.

Therefore it should seem that the blasting effectiveness depend not only on kinetic energy but also on properties of blasting particle. Properties of the particle affecting the effectiveness are presumed to be compressive strength and hardness.

Compressive strength of the dryice is about $1/3$ that of the ice particle, therefore energy transferred to the object from the particle is limited by compressive strength because considerable amount of kinetic energy is consumed as breaking energy of the particle.

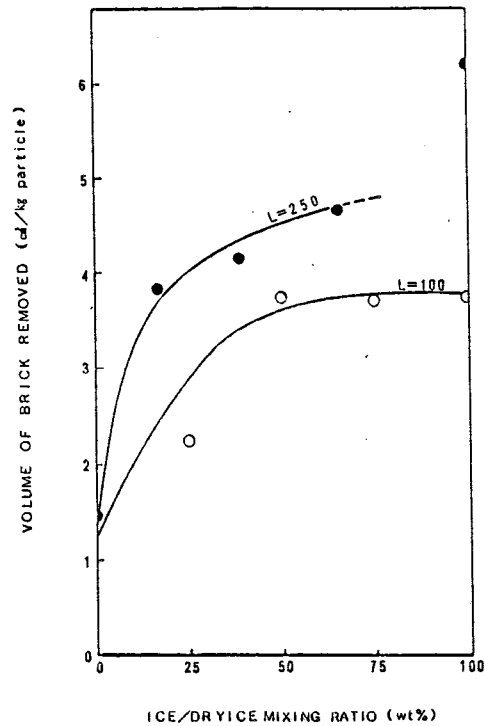


Fig. 1 The Effect of Ice/Dryice Mixing Ratio on Blasting

Experimental condition

Blasting pressure: 5.4 ~ 5.5 (kg/cm²)

Particle feed speed: 5.2 ~ 7.7 (kg/min)

Blasting distance: L(mm)

(3) Effect of particles/air mixing ratio

At the point between 0.3 to 0.9 (wt/wt) of particles/air mixing ratio, the volume, the area and the depth of brick removed increase as the mixing ratio decreases, as shown in Fig. 2.

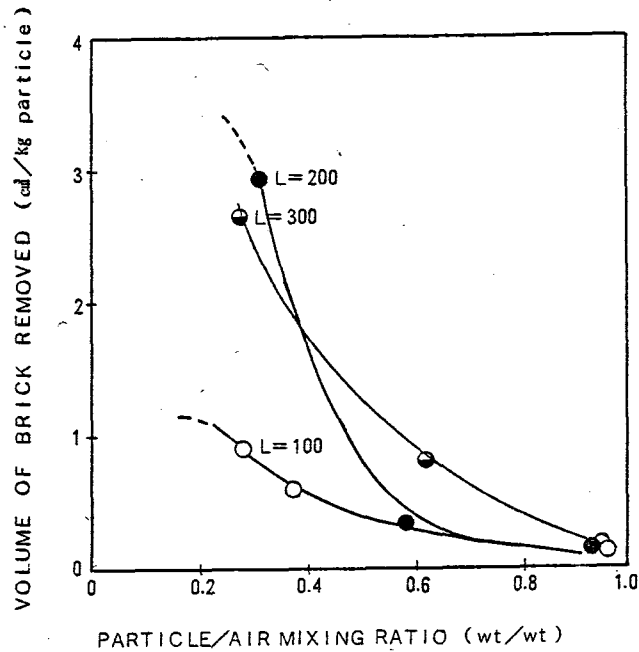


Fig. 2 The Effect of Particle/Air Mixing Ratio on Blasting

Experimental condition

Blasting pressure: $5.3 \sim 5.45 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

Ice/Dryice mixing ratio: 3:1 (wt/wt)

Blasting distance: L(mm)

The reason of the above phenomena is as follows. When the ratio is high, density of the particle at the object is high. So interference between blasting particle and rebounded particle or water film made by thawed ice particle becomes large and the object is protected from the blasting particles.

(4) Effect of blasting pressure

It is made clear from the test taking blasting pressure as a parameter that the area, depth and removed volume of the brick increases as the pressure gets higher.

The particle is accelerated by air velocity and it is known from a test that the velocity of blasting particle is proportional to the blasting pressure. So blasting effect increases considerably with the pressure because kinetic energy of the particle is proportional to the velocity squared.

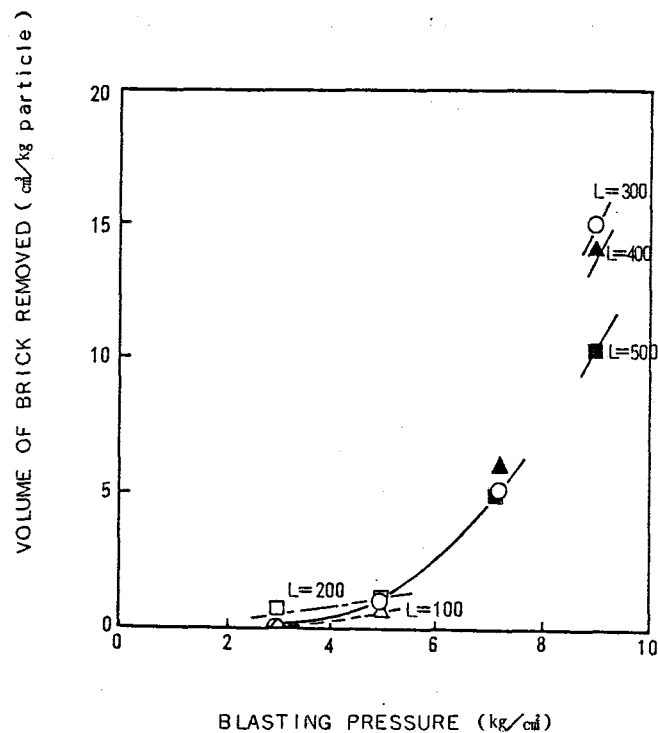


Fig. 3 The Effect of Blasting Pressure on Blasting

Experimental condition

Blasting distance: L(mm)

Ice/Dryice mixing ratio: 3:1 (wt/wt)

Particle feed speed: 3.6 ~ 4.1 (kg/min)

(5) Effect of blasting distance

In the test taking the blasting distance as a parameter, the volume of brick removed increases with the distance and gives the maximum value at about 250 mm and then decreases as shown in Fig. 4. As the distance gets longer the area of brick removed increases, on the other hand the depth of brick removed decreases.

The effect described above is a well-known phenomenon²⁾ at shot-peening, etc.

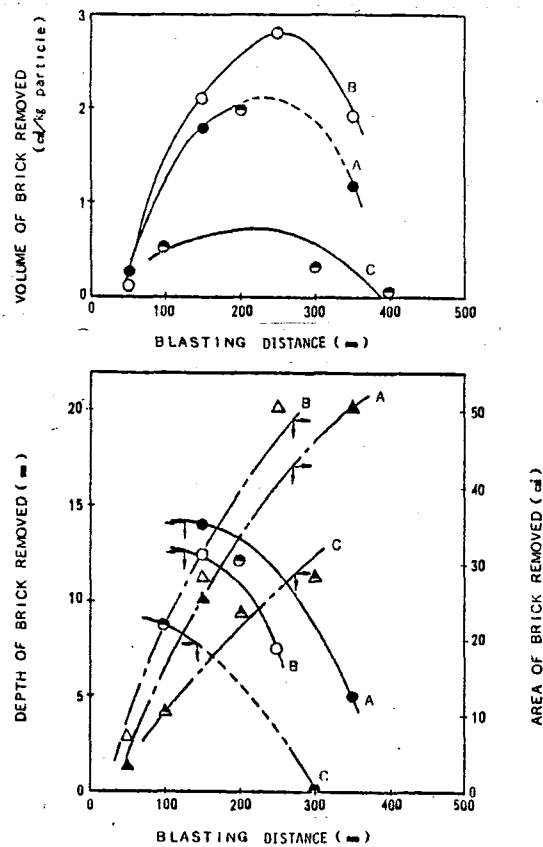


Fig. 4 The Effect of Blasting Distance on Blasting

Experimental condition

Blasting pressure: 5 (kg/cm²)

Ice/Dryice mixing ratio:

3:1 (wt/wt)

particle feed speed:

4.7 ~ 5.6 (kg/min.)

The reason that there exists an optimum blasting distance is as follows.

The blasting particles are accelerated by the blasting air after they are ejected from the nozzle where the air expands and some distance is required for the particles to get their maximum velocity.

(6) Effect of shape of nozzle

In the test taking the shape of nozzle as a parameter, both the volume and the depth of brick removed increased in order of a spread nozzle, a straight nozzle and a super sonic nozzle, on the other hand, as for the area of brick removed, the order was just reverse. The spread nozzle has a spread part down stream of a narrowest part (a throttled part). The greater part of the kinetic energy of the particles is spent by the occurrence of the vortexes in the air flow in this spread part. This may be the reason why the spread nozzle is less effective than the other nozzles. On the other hand, a super sonic nozzle draws air from the outside the nozzle to defend the occurrence of vortexes; besides, the jet flow is throttled so that the spread angle is smaller than that of the free jet flow. Therefore, it seems that the super sonic nozzle gave deeper depth and smaller area of brick removed than the straight nozzle.

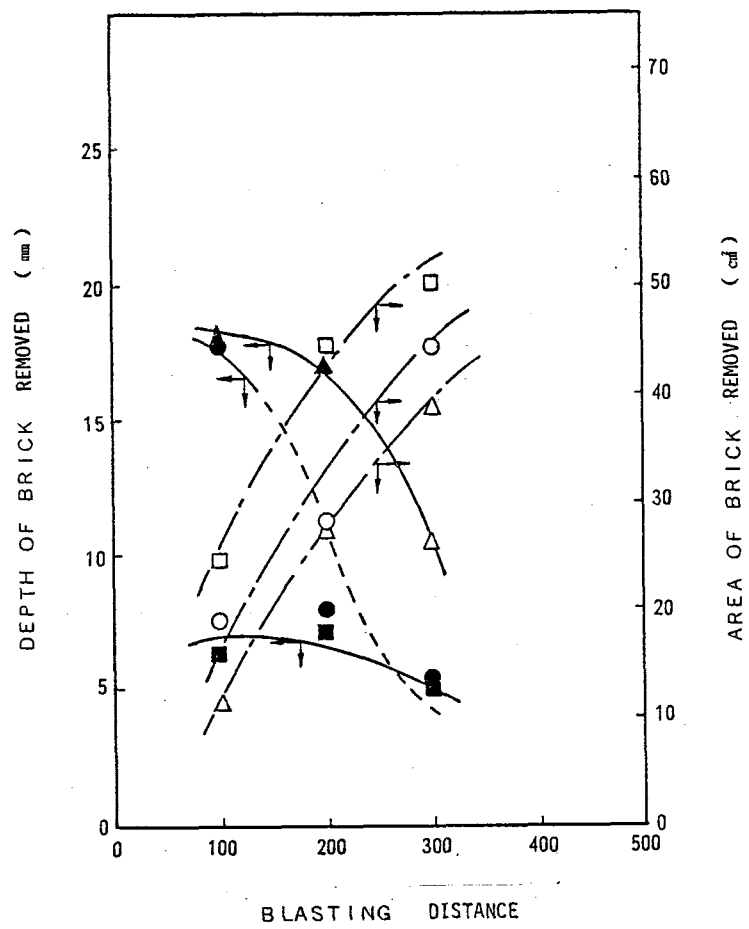


Fig. 5 THE EFFECT OF NOZZLE SHAPE ON BLASTING

- ○ : Straight nozzle
- ▲ △ : Super sonic nozzle
- □ : Spread nozzle

2.3 Results and Future Subjects

A lot of information concerning the decontamination effectiveness is obtained by the series of tests conducted in this research and development program. The results and future subjects are summarized as below.

(1) Results

(i) Optimum blasting conditions

The optimum blasting conditions are obtained as a result of the blasting tests with various parameters. The blasting effects differ with the parameters such as the distance between blasting nozzle and objects, the blasting particles/air mixing ratio and the blasting pressure; the optimum value exists for the each parameter.

(ii) Decontamination mechanism

Generally, in the case of the decontamination by a blasting, there are two types of decontamination mechanisms. One mechanism is that the uneven surface of the blasting objects is cut off by the blasting particles; the other is that the objects are decontaminated by the impact caused by collision of the particles with the objects. It was known that both stripping off the paint from the painted test pieces and scraping the bricks are achieved by the latter mechanism.

Besides, dryice particles and ice particles as the blasting particles give the effects of cooling the blasting objects and in some cases they make the objects brittle at low temperature, so it becomes easy to strip off the contaminated matter.

(iii) Decontamination effectiveness

The properties of the blasting particles may influence greatly on the decontamination effectiveness. In order to remove the contaminants by collision, it is necessary to damage them as much as possible.

As for the modulus of elasticity E of the decontamination objects, the greater would be preferable because collision stress of them would become larger, and much better blasting effectiveness would be derived. The particles not easy to break i.e. the particles with great breaking strength would be effective for blasting because the energy of these particles would be used for blasting effectively.

(iv) Shapes of blasting nozzles

It is necessary to select suitable nozzle according to shape of decontamination objects in order to get high efficiency of decontamination.

(2) Future subjects

The subjects of research to be made before applying the ice blasting equipment to α -decontamination cell in WDF are as follows.

(i) The decontamination effectiveness of ice blasting method

It is expected that the various objects to be decontaminated exist. The main purpose of this work was to get the optimum conditions by blasting the brick, etc.

But it has not been understood to which contaminants the ice blasting method is effective.

So, it is necessary to confirm the effectiveness of the ice blasting method to the actual objects by testing the method on the imitated test pieces.

The imitated test pieces would be as follows:

- Carbon steel with rust
- Stainless steel with rust
- Several painted materials (especially painted with epoxy resin paint)
- Grease adhered to the materials.

(ii) Minimization of the secondary wastes

The air used for ice blasting and the blasted particles shall be treated as secondary wastes. It is important to minimize the amount of these wastes in actual decontamination work.

That is to blast wider surface of the materials in shorter time. This may be accomplished to some extent by selecting the optimum shape of nozzles depending on the objects, e.g. using a nozzle with wide spread angle and weak impact force for easily removable contaminants, etc.

(iii) Improvement of the properties of the blasting particles

The breaking strength and the hardness of the blasting particles give the great influence on the decontamination effectiveness. Therefore it is necessary to improve the properties of the particles.

3. Influence on the Secondary Wastes Treatment System of α -Cell

The following tests have been performed to estimate the load which will be imposed on the secondary wastes treatment system in case the ice blasting equipment is set up in the α -decontamination cell.

3.1 Test Method

The painted test pieces with paint containing yttrium were blasted with the mixture of ice and dry ice particles. And the scattered matters were collected by the HEPA filter which had been set to the inlet of the exhaust duct; finally the transfer rates of them to the offgas system were investigated.

The test was performed under various mixing ratio of dryice/ice particles which seemed to have an effect on the transfer rate.

3.2 Results and Discussion

It is made clear that the transfer rate of the scattered matters to the offgas system increases with the increase of the mixing ratio of the dryice/ice particles as shown in Fig. 6; About 4% and 6% of the scattered matters transfers respectively to the offgas system at 0 wt % and 100 wt % of the mixing ratio of the dryice.

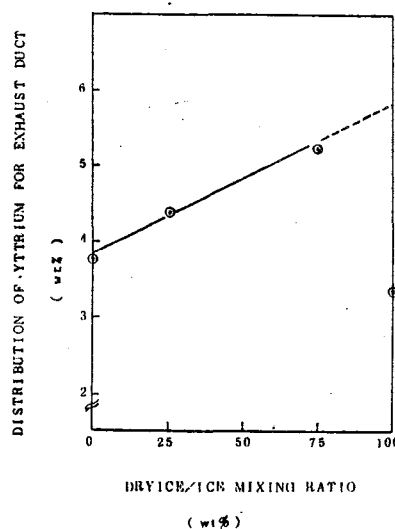


Fig. 6 The Effect of Dryice/Ice Mixing Ratio on Distribution of Yttrium for Exhaust Duct

The reason is presumed to be the following. The first is that the gas velocity in the α -decontamination cell increases by sublimation of the dryice. Therefore more removed matters reached to the exhaust duct. The second is that the scattering

of the removed matters was obstructed by the water produced by melting of the ice.

Estimated load to be imposed on the secondary wastes treatment system such as offgas treatment system and liquid waste treatment system based on the test results is as follows.

(1) Load to be imposed on the offgas system

$$\begin{aligned} & \text{(Load to be imposed on the offgas system)} \\ &= \text{(Volume of the blasting air)} \\ & \quad + \text{(Volume of the gas produced by dryice} \\ & \quad \text{sublimation)} \end{aligned}$$

where the volume of the blasting air is proportional to the blasting pressure. When the blasting pressure is 5 kg/cm², it is given as follows.

$$\begin{aligned} & \text{(Load to be imposed on the offgas system)} \\ & \doteq 300 + 61 \cdot X \text{ dryice (Nm}^3\text{/hr)} \end{aligned}$$

where X dryice is the mixing ratio of the dryice particles to the ice particles by weight and 4 ~ 6 wt % of the total removed matters are contained in the offgas.

(2) Load to be imposed on the liquid waste treatment system

$$\begin{aligned} & \text{(Load to be imposed on the liquid waste treatment} \\ & \text{system)} \\ &= \text{(Amount of water produced from the ice)} \\ & \doteq 120 \cdot X \text{ ice (l/hr)} \\ &= 120 \cdot (1 - X \text{ dryice}) \end{aligned}$$

where X_{ice} is the mixing ratio of the ice particles to the dry ice particles by weight.

(3) Remarks

The transfer rate of the removed matters to the offgas system is 4 ~ 6 wt % of the total amount and the rest will remain in the cell.

It would be unnatural to expect that all the remainings of removed matters in the cell are to be drained with the water produced from the ice melting to the liquid waste treatment system. Therefore it is necessary to consider either the prevention of spreading out of the removed matters or the collecting method of the removed matters.

4. Conceptual Design

4.1 Basic Specifications

Basic specification of the ice blasting equipment when applied to the α -cell as decontamination equipment is settled as follows.

- (1) The equipment shall be accommodated in the operation room in WDF of O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

- (2) It shall be able to blast ice particles, dryice particles and their mixture.
- (3) Maintenance of the composite parts of the equipment set in the cell shall be performed by using MS manipulators.
- (4) Max. continuous blasting time required for decontamination is set to be 15 minutes.
- (5) The equipment shall be automated as far as possible.

4.2 Conceptual Design

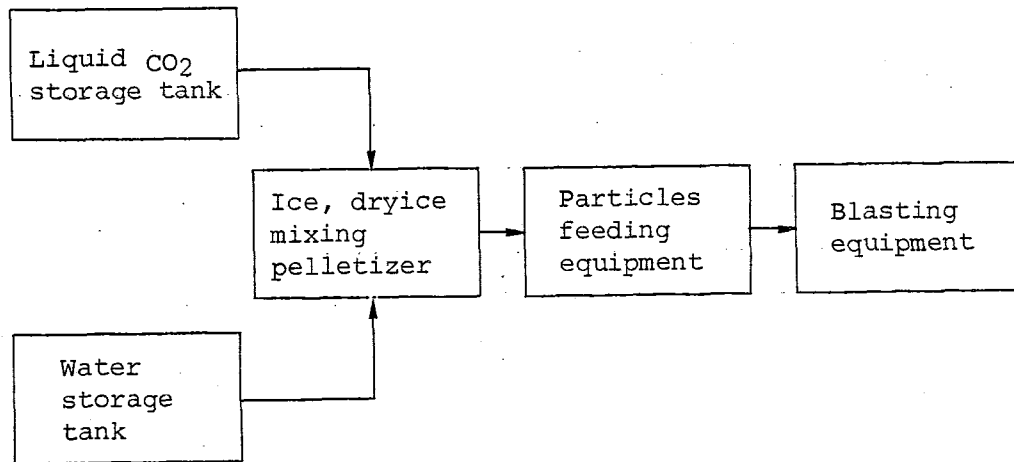
The conceptual design based on the above basic specifications and the test result is performed and items to be developed in the future are picked up.

(1) System design

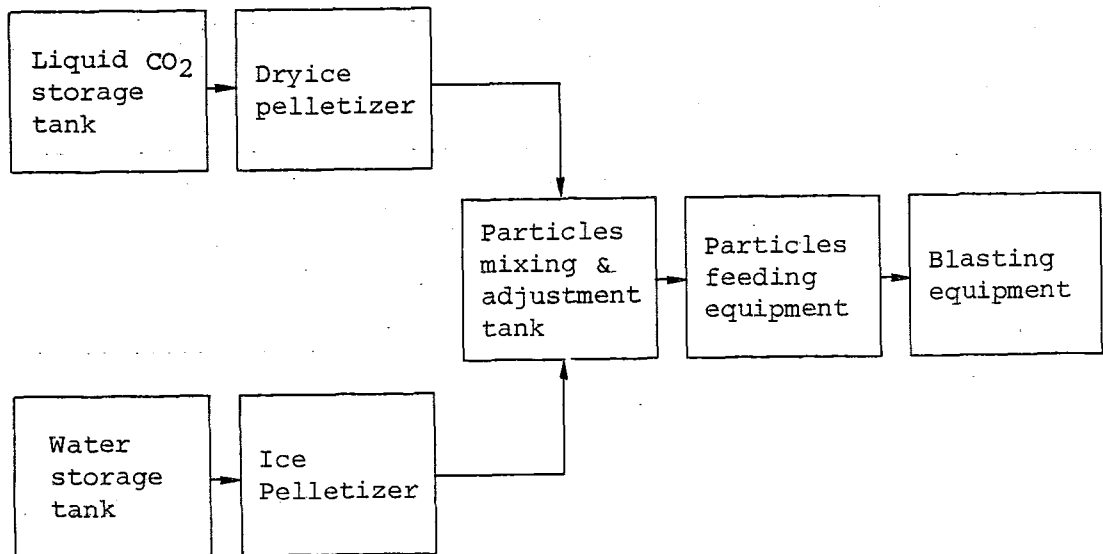
The blasting equipment is composed of a particles producing equipment, a particles feeding equipment and a blasting equipment.

Depending on the particle producing method, three kinds of the system are conceivable as shown below.

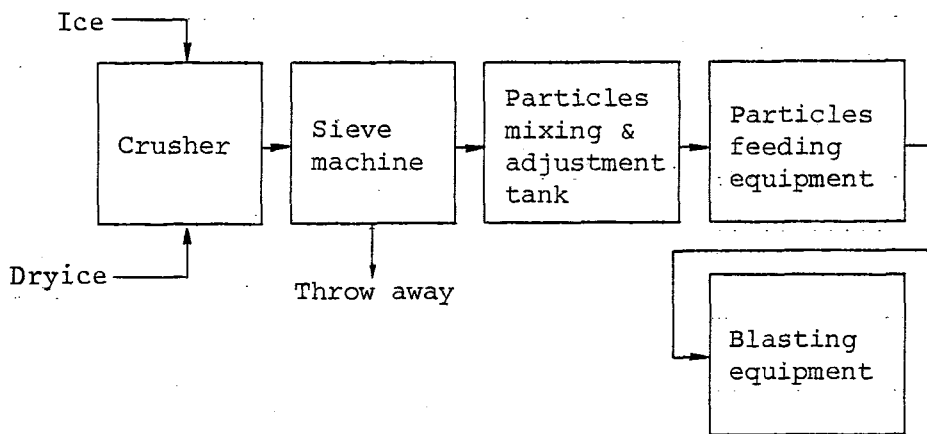
i) Pre-mix method



ii) Post-mix method



iii) Crusher method



(2) The future subjects

i) Particles producing equipment

a) Pre-mix method

In the pre-mix method, pellets are produced by hardening ice and dryice mixture. It is confirmed experimentally that pellets can be produced by the method.

However, it is necessary to grasp the decontamination effectiveness by using this pellet under various conditions and to develop the particles producing equipment for practical use.

b) Post-mix method

This is the method that makes dryice and ice pellets separately and blasts them after mixing them. A dryice pelletizer is put on the market, however, several reform should be made to improve the properties of the pellets to get better decontamination effectiveness.

Concerning an ice pelletizer, a suitable one for blasting particles does not exist; therefore it is necessary to develop one.

c) Crusher method

There are no problems in the application because this method is basically the same as the test equipment used in this research.

ii) Particles feeding equipment

a) Feeder

A rotary type feeder is introduced in this test program. Among many types of feeder put on the market, rotary type would be the most suitable because of its stability in feeding quantity, etc., however, improvements should be made of the feeder which occasionally didn't work well in the test by investigating into the cause of mal-function.

b) Pressure boundary

It is necessary to feed blasting particles continuously in the transfer air with some pressure.

As a result, seal point of the air pressure (pressure boundary) is very important in the equipment design.

Most desirable point is to seal up at a feeder, but it is very difficult at present because air pressure is high.

There are two methods to avoid this problem. One is that the feeder tank is included in the pressure boundary of the air and the other is that the pelletizer and the feed tank are included in the pressure boundary. In the case of latter, it will be possible to make blasting equipment compact. Accordingly, sealing problem shall be considered in development of the pelletizer.

iii) Blasting equipment

a) Hose

There are two types of flexible hose used under the condition of low temperature such as metal and nonmetal hose. It is popular that in the case of metal, a hose is made of bellows; in the case of nonmetal, it is made of plastics strengthened with wire.

Taking into consideration that the non-metal hose is light and inner surface is smooth, the nonmetal hose is better than metal hose.

It is necessary to select an optimum non-metal hose experimentally because there are various ways to strengthen with wire.

b) Nozzle

It is described in 2.3(2)(ii) that it is necessary to select the nozzle in the light of the shape of decontamination objects in order to decontaminate effectively.

Consequently it is necessary to design the nozzle to hose connecting device to be able to change the nozzle by using MS manipulator.

5. References

- 1) Hirose, "Shotpeening", Seibundo Shinkosha, P.63-65, (1964).
- 2) Makoto Suwa and Hiroshi Nishimura, "Liquid honing and its application", Industrial Daily Technical Selection 76, Industrial Daily News Ltd. P.123-125, (1964).

1. 緒 言

再処理施設、プルトニウム燃料加工施設等のプルトニウム取扱施設から生成する超ウラン元素に汚染された廃棄物（以下、TRU廃棄物）は、プルトニウムやアメリシウム等の放射性核種を含んでいる。これら超ウラン元素（以下、TRU元素）は、大きなハザードポテンシャルと長い半減期を持っているため、TRU廃棄物は高度の隔離性能をもつバリア中に長期間にわたって保管および隔離処分する必要がある。

これらTRU廃棄物からTRU元素を効果的な除染方法により除去し、低レベル廃棄物と同等の取り扱いが可能となれば、廃棄物の管理・運搬・処分コストの大巾な低減が期待できる。この目的のため、TRU廃棄物の除染について種々の除染技術が検討・開発されている。不燃性固体のTRU廃棄物の除染については、温水ジェット法、熔融除染法等が考えられているが、その多くは除染性能が低い、操作性が悪い、二次廃棄物量が多い等の問題を有している。

氷粒ブラスト法は、現在開発中の除染技術のうち、実用化の可能性の高い方法の一つである。この除染法は、氷粒を圧縮空気により対象物に噴射し除染を行うもので、ほとんどのTRU廃棄物の汚染形態であるルーズな汚染およびマイルドな表面酸化物の除去に効果がある。また、この除染法による二次廃棄物量は他法に比べて少量で、その処置が容易である。

本氷粒ブラスト装置の設計・研究（以下、本設計研究）では、大洗工学センター固体廃棄物処理施設（以下、WDF） α 除染セルに氷粒ブラスト実験装置を設置し、実験により氷粒ブラスト装置の除染性能およびWDFへの適用性を明らかにするとともに、この実験結果の検討評価をもとにWDF内 α 除染セルに設置する氷粒ブラスト装置の概念設計を行うことを目的とした。

2. 除 染 性 能

2.1 試 験 方 法

当社所有の氷粒ブラスト装置をWDF α 除染セルに設置し、粒径2～7mmの氷粒・ドライアイス粒混合物を除染に効果を及ぼすと考えられるパラメータを変化させて赤煉瓦および各種塗装片の模擬対象物に投射し、赤煉瓦の研削容積、研削深さ、研削面積および各種塗装片の塗装剝離面積を測定した。

実験パラメータを以下に示す。

- a) 模擬対象物（赤煉瓦と塗装片）
- b) 氷粒／ドライアイス粒混合比
- c) 粒子／搬送空気混合比
- d) 投射圧力
- e) 投射距離
- f) ノズル形状

なお模擬対象物として塗装片ならびに赤煉瓦を使用したのは塗装片は実際の除染対象物に近いためであり、赤煉瓦は面積のみならず研削体積、深さを測定することが出来るため投射最適条件、パラメータサーベイが容易であるためである。

2.2 結 果 と 考 察

(1) 模 擬 対 象 物

模擬試験片として塗装試験片（3種類）を用意し、赤煉瓦へ投射した場合との相関性を把握するため、同一条件で投射実験を行った。

この結果、剝離強度の弱い塗装試験片は赤煉瓦の剝離量と類似の傾向を示したが、剝離強度の強い試験片は、赤煉瓦の研削量が投射距離250mm程度で最適値を示すのに対し、投射距離が短い程剝離面積が大きい結果を示した。

この原因としては以下が考えられる。

ブラスト粒子として氷粒／ドライアイス粒混合物を投射するため投射対象物は低温に冷却される。この際、赤煉瓦の強度は低温になっても変動が少ないのに対し、有機塗料は低温になると強度が低下（支給された塗装試験片の -30°C における剝離強度は常温の約半分）する。このため、赤煉瓦の場合ブラスト粒子が最大に加速される点（ノズル出口から $200\sim 300\text{mm}$ 離れた点：本稿2.2(5)参照）で最大研削量を示すのに対し、塗装試験片は粒子の速度の影響より剝離強度の低下の影響が大きいため上記のような結果になったと考えられる。

(2) 氷粒／ドライアイス粒混合比

全ブラスト粒子中の氷粒の混合比を増加させると、氷粒の混合比が $30\text{wt}\%$ に達するまで赤煉瓦の研削容積，研削面積，研削深さはいずれも急速に増加し，その後，徐々に増加して，氷粒 $100\text{wt}\%$ で最大値を与えた。

ドライアイス粒の密度は $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ で氷粒よりも大きく，その運動エネルギー $(\frac{mv^2}{2})$ が大きいとされるにもかかわらず，ブラスト効果が小さいのは，ドライアイスは氷と比べ破壊強度が小さい（圧縮強度は氷粒の

約 $1/3$ ）ためであり，高速で投射した場合，除染対象物を傷つけるよりもドライアイス粒の方が破壊され，破壊エネルギーに消費されるためと考えられる。この事実からブラスト粒子の物性（破壊強度，硬さ）が除染能力

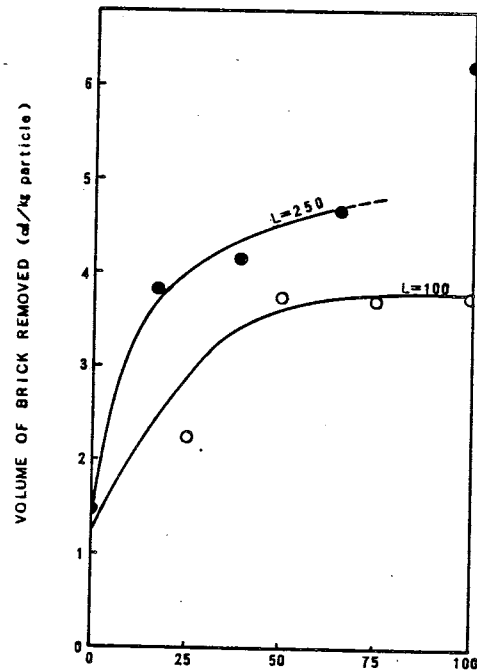


Fig. 1

THE EFFECT OF ICE/DRYICE MIXING RATIO ON BLASTING

Experimental condition

Blasting pressure: $5.4\sim 5.5\text{ (kg/cm}^2\text{)}$

Particle feed speed: $5.2\sim 7.7\text{ (kg/min)}$

Blasting distance: $L\text{ (mm)}$

(どの程度の汚染物に対して有効か)を向上させる上において非常に重要な要素となる。

(3) 粒子／空気混合比

粒子／空気混合比が0.3～0.9 (wt/wt)の間では、研削容積、研削面積および研削深さはいずれも混合比の低下とともに増加し、最低混合比の0.3で最大値を与えた。

しかし、粒子がない場合研削が行われないこと、他のブラスト材を使用した場合、研削量を最大とする最適混合比¹⁾が存在するという報告がなされていることから、氷粒／ド

ライアイス粒混合物をブラスト材とした場合でも最適混合比が存在すると考えられるが、実験機のフィーダーの供給速度の関係から0.3 (wt/wt)以下で実験が出来なかったため、実験的に最適混合比を確認するにいたらなかった。

最適混合比の存在理由は、混合比が大きい場合、投射面で跳び返った粒子もしくは融解により生成した水の膜が投射粒子に干渉し除染対象物への衝撃力を弱めているためと思われる。

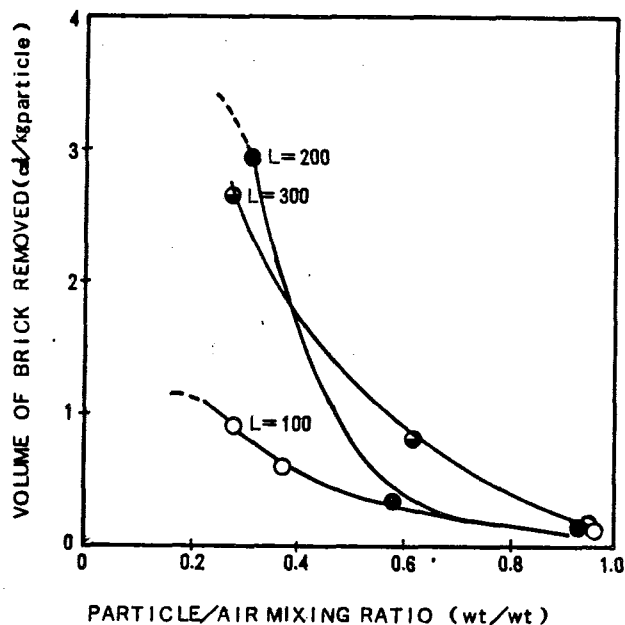


Fig. 2 THE EFFECT OF PARTICLE/AIR MIXING RATIO ON BLASTING

Experimental condition

Blasting pressure: 5.3~5.45 (kg/cm²)

ICE/DRYICE mixing ratio: 3:1 (wt/wt)

Blasting distance: L (mm)

(4) 投射圧力

投射圧力をパラメータとした実験では、投射圧力の上昇とともに赤煉瓦の研削容積、研削面積および研削深さはいずれも増加することが明らかになった。

この効果を説明するため、ノズルから300 mm離れた所での氷粒の速度を計算した。この結果、粒子の速度は圧力に比例することがわかった。

粒子の持つエネルギーは速度の2乗に比例するため、ブラスト効果は投射圧力の増加とともに急速に向上したと考えられる。

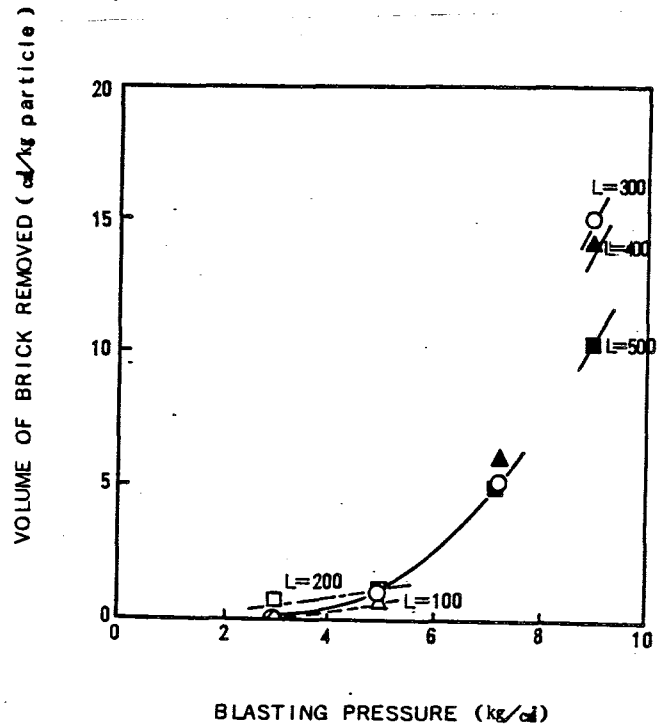


Fig. 3 THE EFFECT OF BLASTING PRESSURE ON BLASTING

Experimental condition

Blasting distance : L (mm)

ICE/DRYIDE mixing ratio : 3 : 1 (wt/wt)

Particle feed speed: 3.6~4.1(kg/min)

(5) 投射距離

投射距離をパラメータとした実験では、赤煉瓦の研削容積は投射距離約 250 mm のところで極大値を示した。また、投射距離が長くなると、研削面積は増加し、研削深さは減少した。

この効果は、ショットピーニング等においてもよく知られた現象である。

このように最適な投射距離があるのは、ノズル出口での空気流速は配管内の流速よりも速く、これによってブラスト粒子が加速され、最大速度に達するまでに助走距離が必要なためと思われる。

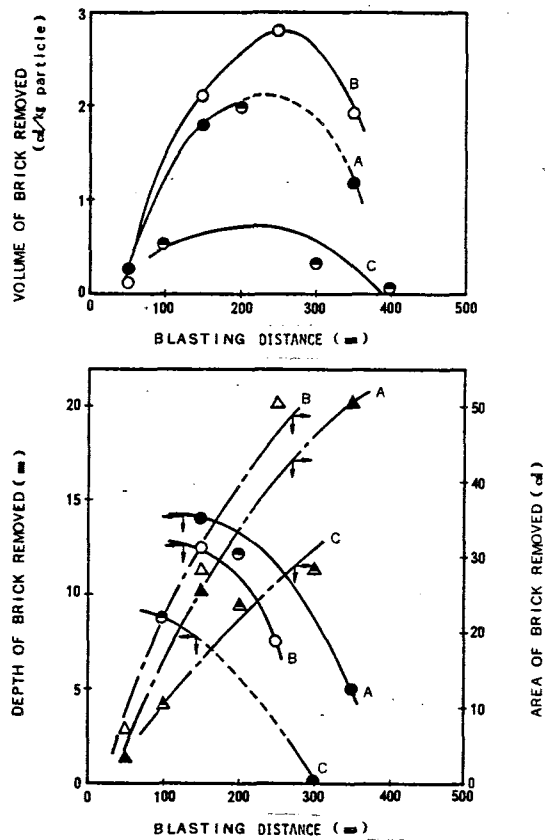


Fig. 4 THE EFFECT OF BLASTING DISTANCE ON BLASTING

DIFFERENT LOT A, B, C; Experimental condition
 Blasting pressure : 5(kg/cm²)
 ICE/DRYICE mixing ratio : 3 : 1 (wt/wt)
 particle feed speed : 4.7~5.6(kg/min)

(6) ノズル形状

ノズル形状をパラメータとする実験では、研削容積、研削深さともに拡散ノズル、ストレートノズル、超音速ノズルの順に大きくなった。また、研削面積は、逆に超音速ノズル、ストレートノズル、拡散ノズルの順に大きくなった。

拡散ノズルは最狭部（絞り部分）のあとに拡大部があり、この部分での気流の壁面剝離により、うず等が発生しエネルギーを消費するため研削効果が低下したと思われる。一方、超音速ノズルはうずの発生を防止するため外部から空気を吸い込

み、かつ拡がり角度を自由噴流の広がり角度よりも小さくとってあるため、噴流は絞られ、ストレートノズルよりも研削深さが深く、面積は小さくなったものと考えられる。

2.3 成果と今後の課題

今回の一連の実験において除染性能に関する多くの知見を得た。

これ等をまとめると次のようになる。

(1) 成 果

(i) 投射最適条件の把握

各種パラメータでの投射実験の結果、最適投射条件を把握することが

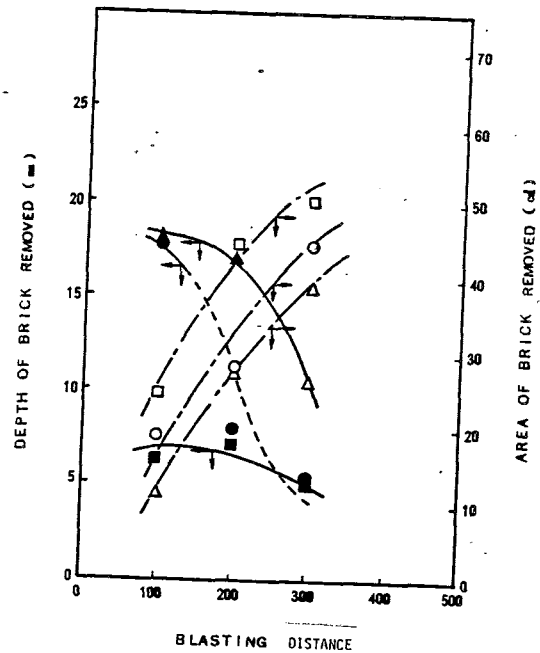


Fig. 5 THE EFFECT OF NOZZLE SHAPE ON BLASTING

●○ : Straight nozzle
▲△ : Super sonic nozzle
■□ : Spread nozzle

出来た。

即ち投射距離、プラスト粒子濃度、投射圧力によって効果は異り、それぞれに最適値が存在する。

たゞし投射圧力は大きい方がよい。

(ii) 除染機構の推定

一般にプラスト除染の場合投射対象面の凹凸部を切削することにより除染する機構と粒子が衝突し、その衝撃により除染する機構とがある。塗装の剝離、赤煉瓦の研削は共に後者の機構によっていることが判明した。

又、プラスト粒子としてドライアイス、氷粒を使用するため投射対象物を冷却し、汚染物によっては低温劣化を起させ、剝離しやすくする効果もある。

(iii) 除染能力に影響を及ぼす因子

除染能力はプラスト粒子の物性に大きく影響される。

衝撃によって汚染物を除去するため、出来るだけ汚染物に損傷を負わす必要がある。物体の衝突応力から判断して、弾性係数 E が大きい物ほどよい。それと同時に粒子の持っているエネルギーを有効に使用するためには出来るだけ粒子が破壊しにくい物、即ち破壊強度の大きい物が有効である。

(iv) ノズル形状の違いによるプラスト効果

除染対象物の形状により噴流の拡がり大きくして効率を上げる又は逆に噴流を絞り狭いすき間の除染に効率を上げる等投射の仕方に工夫をこらす必要がある。

種々のノズル形状による投射実験によりこれ等の条件を作り出す基礎的なデータが把握出来た。

(2) 今後の課題

氷粒ブラスト装置をWDFの除染装置として使用する上において今後開発すべき研究課題は次の通り

(i) 除染能力の把握

除染すべき除染対象物には種々雑多な物が予想される。今回の実験はレンガを使用して投射条件の最適値の把握が主体であり、どの程度の汚染物に対して有効に作用するか確認されていない。

予想される汚染物の模擬対象物をベースに有効性の確認を行う必要がある。

模擬対象物としては以下が考えられる。

- 炭素鋼のサビ
- ステンレス鋼のサビ
- 各種塗装片（特にエポキシ系）
- グリース付着物等

(ii) 二次廃棄物の極小化

除染のために投射する空気、ブラスト粒子は二次廃棄物となる。したがってこの発生を出来るかぎり少くして除染能力を向上させることが必要である。この事は単位時間当りの除染面積を大きくすることである。

この為には除染しやすい物は衝撃力を小さくして噴流の広がりを大きくとると云ったノズル形状の最適な物の選択することによりある程度の対応は可能と考えられる。

汚染物と対応した除染能率の向上対策を確立する必要がある。

(iii) ブラスト粒子の物性改善

ブラスト粒子の破壊強度、かたさが除染能力に大きく影響すると考えられ除染能力の向上を計るためにはブラスト粒子の物性の改善を計る必要がある。

3. 2次廃棄物系への影響

本実験は氷粒ブラスト装置の使用により2次廃棄物系へ加わる負荷を求め、本装置の適用性を検討するため実施した。

3.1 試験方法

イットリウムを含む塗料を塗布した塗装試験片をブラストし、換気孔に設置したHEPA フィルタにより飛散物を捕集し、その換気系への移行率を求めた。

なお、実験は、移行率に影響を及ぼすと考えられるドライアイス粒/氷粒混合比をパラメータとして実施した。

3.2 結果と考察

飛散物の換気系への移行率はドライアイス混合比とともに増加し、ドライアイス混合比が0 wt %および100 wt %でそれぞれ約4 %、約6 %が換気系へ飛散することが明らかになった。

この理由としては、ドライアイスの昇華により α 除染セル内の気流流速が大きくなりより多くの粒子が換気孔へ到達できるようになったこと、ならびに氷の融解により生成した水が飛散物の浮上を防げていることが考えられる。

なお、氷粒ブラスト装置の使用時の2次廃棄物系への負荷の増加は次のとおりである。

(1) 換気系への負荷

(換気系への負荷) = (搬送空気流量) + (ドライアイス昇化分) となる。このうち、搬送空気流量は投射圧力に比例するが、投射圧力 5 kg/cm^2

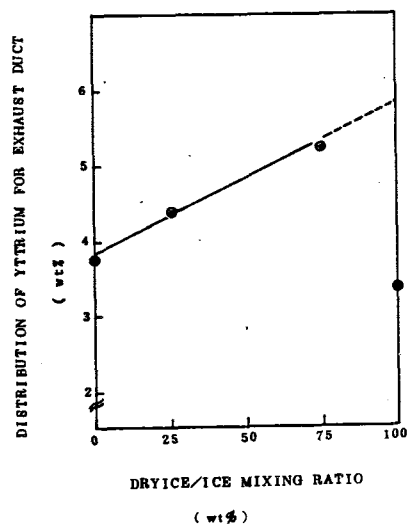


Fig. 6
THE EFFECT OF DRYICE/ICE MIXING RATIO
ON DISTRIBUTION OF YTTRIUM FOR EXHAUST
DUCT

では、

$$(\text{換気系への負荷}) \div 300 + 61 \cdot X_{\text{dry ice}} (\text{Nm}^3/\text{hr})$$

ただし、 $X_{\text{dry ice}}$ はドライアイス粒混合比で、気流中には全はくり量の
4 ~ 6 wt % の飛散物を含んでいる。

(2) 廃液処理系への負荷

$$(\text{廃液処理系への負荷}) = (\text{氷融解により生成する水量})$$

$$\div 120 \cdot X_{\text{ice}} (\ell/\text{hr})$$

$$= 120 \cdot (1 - X_{\text{dry ice}})$$

ただし、 X_{ice} は氷粒混合比である。

(3) そ の 他

実験結果換気系への剝離物の移行率は 4 ~ 6 wt % であり残りはセル内に飛散することになる。これが 100 % 氷融解によって生成する水量になって廃液処理系へ移行すると考えることには無理がある。従って飛散の拡大防止もしくは飛散した剝離物の回収方法等についての考慮が必要である。

4. 概 念 設 計

4.1 基 本 仕 様

概念設計を開始するにあたり、以下の基本仕様を設定した。

- (1) 動燃殿大洗工学センター W D F 内操作室に収納できること。
- (2) 氷粒・ドライアイス粒およびその混合物の投射が可能であること。
- (3) セル内に設置する構成部品の保守が M S マニプレータにて実施できること。
- (4) 実除染作業に必要な連続投射時間は 15 分 とする。
- (5) できる限り自動化、省力化を計ること。

4.2 概念設計

今回実施した除染性能実験および上記基本仕様に基き概念設計を実施し問題点の摘出を行った。

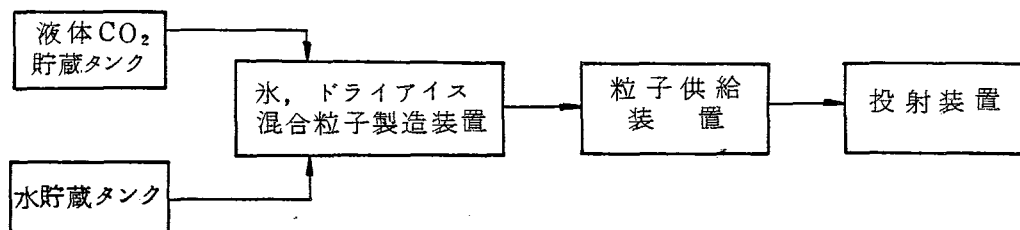
(1) システム設計

本装置は粒子製造装置、粒子供給装置ならびに投射装置から構成される。

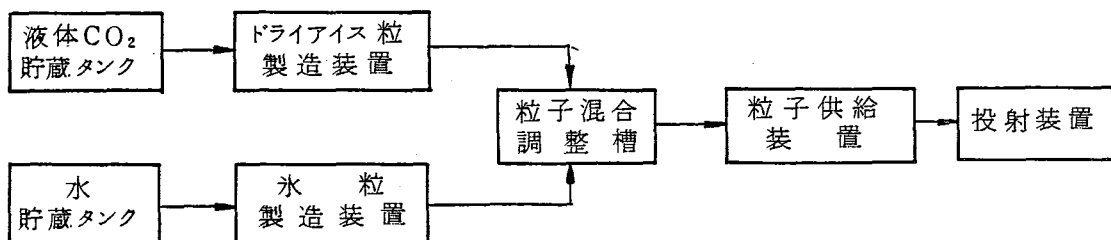
どのような粒子を投射するかによってシステム構成が変わる。

現在考えられる粒子製造方法から以下の三種類の方式が成り立つ。

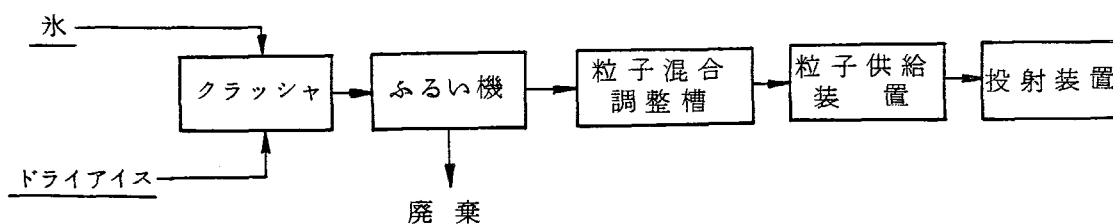
i) プレミックス法



ii) ポストミックス法



iii) クラッシュ法



(2) 装置上での今後の課題

i) 粒子製造装置

a) プレミックス法

ドライアイス，氷の混合した単一粒子の製造は粒子として作れることは確認している。しかしどのような条件で作った粒子が除染性能にどのように影響するかを実験的に確認すると同時に製造装置の開発が必要である。

b) ポストミックス法

ドライアイス，氷の粒子を別々に作り混合して投射する方法で，ドライアイス粒子の製造装置は市販品がある。この場合除染性能を上げるための粒子の物性の改善に伴う若干の改良が必要である。

氷粒製造装置はブラスト粒子に適切な製造装置はなく開発を必要とする。

c) クラッシャー法

現実装置と基本的に同じで製作上の問題はない。

ii) 粒子供給装置

a) フィーダー

実験装置で使用している粒子のフィーダーはロータリーフィーダーであるが安定に供給出来なかったケースがある。

フィーダ型式は種々あるが，ロータリーフィーダが定量性，安定性等秀れているため原因を把握し改良する必要がある。

b) 圧力バウンダリィー

数 kg/cm^2 の圧力を有した搬送空気へプラスト粒子を連続的に供給するためにはフィーダでシールするのが一番望しい。

しかし現状においては困難であり搬送空気の持っている圧力範囲をフィーダタンクまでとするか造粒装置をも含めた圧力範囲にするかで装置は大きく変わってくる。

後者の場合は装置全体が小型化することが可能であるため造粒装置の開発と含め考慮すべき問題である。

iii) 投射装置

a) ホース

低温にて柔軟性があるホースはある程度限定され、金属の場合ベロー式、非金属の場合針金での補強と云ったものが一般的である。出来るだけ圧損を少くかつ粒子の粉碎がなく軽量と云った条件を満たすホースは非金属のホースになる。

非金属のホースでも針金での補強の仕方に色々あり実験にて最適なホースの選定が必要である。

b) ノズル

除染効率を上げるためには除染対象物の形状に合ったノズルの選定が必要なことは 2.3 (2)(ii) で記載した。

これをマニプレータで容易に取り換えるための構造の検討が必要である。

5. 参 考 文 献

- 1) ショットピーニング, 広瀬: 誠文堂新光社, P. 63 - 65 (1964)
- 2) 液体ホーニングとその応用, 諏訪 誠, 西村 弘: 日刊工業技術選書76,
日刊工業新聞社, P. 123 - 125 (1964)