

# 沸騰水型原子力発電所用 放射性固体廃棄物減容処理装置の開発研究

## Development Work on the Treatment Systems for Volume Reduction of Radioactive Solid Wastes from Boiling Water Reactor Power Station

A research was conducted for developing a treatment system whose main function is volume reduction of low level radioactive solid wastes from boiling water reactor power plants.

In the research a pilot plant composed of a pot calcination system for concentrated liquid waste, an ion exchange resin-filter sludge, and an incineration system for miscellaneous solid wastes was manufactured. In the performance test it was confirmed that the pot calcination system and the incineration system of the plant had a volume reduction rate of about 1/8 and of about 1/50 respectively, which offered a bright prospect for its actual application.

下里 与\* Atou Shimozato  
堀内 進\* Susumu Horiuchi  
遊佐英夫\*\* Hideo Yusa  
杉本義和\*\*\* Yoshikazu Sugimoto

### 1 緒 言

沸騰水型原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物のうち、その発生量が多いものとして次のようなものがある。

- (1) 混床式脱塩器の化学再生に伴って発生する硫酸ソーダを主成分とする濃縮廃液、建屋内各所から発生する床ドレンの濃縮廃液。
- (2) 原子炉浄化系、燃料プール系、復水系、機器及び床ドレン系の各系統から発生する使用済みイオン交換樹脂、フィルタスラッジ。
- (3) 原子力発電所の各所から発生する紙、布、ポリエチレン、木片などの雑固体廃棄物。

現在、これら廃棄物の処理処分法は各国とも異なり<sup>(1)</sup>、アメリカ、ソ連では岩塩廃坑への投棄や土中埋没による陸地処分、イギリスをはじめOECD・NEA(欧州原子力機関)加盟国では深海投棄による海洋処分などを国情に合わせて実施している。一方、我が国においては、国土が狭いうえに人口密度が高く、且つ海洋資源の利用度が高いという独自の条件から陸地、海洋両処分とも行なわれておらず、濃縮廃液とスラッジは200lのドラムかんにセメントとともに固化し、雑固体はドラムかん内に圧縮減容して施設内に保管管理しているのが現状である。しかしながら、このままでは、貯蔵量は増加する一方であり、貯蔵設備の確保や、保管管理などの対策が必要となり、放射性廃棄物の処理処分は今後の原子力利用を進めるうえで重要な課題となっている。

日立製作所はこのような状況にかんがみ、前記(1)の濃縮廃液については仮焼固化法により、(2)、(3)の固体廃棄物については焼却により減容することを目的として、表1に示す開発工程により実用規模試験装置を試作し、確性試験を行なった。

表1 放射性固体廃棄物処理装置の開発工程 処理装置の開発工程を四つの開発項目に分けて示す。

Table 1 Time Schedule of Development Work on Radioactive Solid Waste Treatment Systems

年 度	43	44	45	46	47	48	49
調査・検討・基礎実験	■						
試作装置設計製作			■				
確 性 試 験					■		
実 機 計 画						■	

今回、主要性能の確認を終了したので、以下に各試験装置と確性試験結果の概要について述べる。

### 2 濃縮廃液仮焼固化装置

#### 2.1 概 要

本装置は、濃縮廃液を電気炉によって加熱、脱水し、容器中に仮焼固化物として固定化するものである<sup>(2)</sup>。電極式液面制御方式などの採用により、半自動方式で無人運転化を実証しドラムかん3本分の濃縮廃液を約86lの仮焼容器1本に減容することができる。

#### 2.2 目標性能と設備容量

目標性能は、濃縮廃液の減容比約1/8、除染係数(DF)は $10^4$ である。これに対する設備容量としては、電気炉出力30kW、

\* 日立製作所日立工場 \*\* 日立製作所日立研究所 工学博士 \*\*\* 日立製作所日立研究所

運転温度約700°C、仮焼能力は25wt%の硫酸ソーダ濃縮液を20時間で550l処理できる。

### 2.3 実用試験項目と内容

実用試験項目と内容を表2の濃縮廃液仮焼固化装置の項目に示す。

### 2.4 主要系統構成機器

装置のフローシートを図1に、全景は図2に示すとおりである。主な系統構成機器は、廃液を供給する系統として廃液調整タンク、供給ポンプ、ヒータを有する供給タンクなどがあり、廃液を仮焼する系統として蒸気室と結合させる仮焼容

表2 実用試験項目と内容 実用規模試験装置を用いて行なった確信試験の主要項目と確認内容を示す。

Table 2 Test Items and Contents

装置名	試験項目	内容	装置名	試験項目	内容
1. 濃縮廃液仮焼固化装置	(1) 固化特性	(1) 最適固化条件 (廃液濃度, 電気炉出力, 仮焼容器容量, 供給速度) の決定 (2) 減容比の確認 (3) 液濃度による除染係数 (DF) 確認 (4) 固化物性質の把握	3. 雑固体焼却装置	(1) 焼却炉の性能	(1) 排ガス中のダスト, CO, NOx, SOx, HCl濃度の測定 (2) 減容比の確認 (3) 回転ロストル性能確認 (4) 焼却性能に及ぼす焼却物組成の影響確認
	(2) システムの信頼性	(1) 放射能のDF確認 (2) 機器表面線量率の測定 (3) 自動遠隔操作機構の性能確認		(2) 排ガス処理系の性能	(1) 捕集ダスト粒径分布測定 (2) ダストのDF確認
	(3) 運転保守性能	(1) 無人連続運転性能確認 (2) 機器の耐腐食性確認 (3) 故障, 不具合点, 保守頻度の確認		(3) 最適運転条件	(1) 最適焼却条件 (温度, 空気過剰率, 処理速度, 焼却物組成) の決定 (2) 定常時の運転安定性の確認 (3) 露点測定
2. スラッシュ焼却装置	(1) 流動床焼却炉の性能	(1) 流動床性能確認 (2) 減容比の確認 (3) 焼却物組成と焼却性能との関係確認		(4) システムの信頼性	(1) 放射能のDF確認 (2) 予想核種の系内挙動の確認 (3) 機器表面線量率の測定 (4) 連続運転時の信頼性確認 (5) 電源喪失時の温度, 圧力変化確認 (6) 過負荷運転時の性能確認
	(2) 排ガス処理系の性能	(1) ダスト捕集性能確認 (2) 捕集ダスト粒径分布測定 (3) ダストのDF確認 (4) 布フィルタの再生, 交換頻度の確認		(5) 運転保守性能	(1) 機器の耐腐食性確認 (2) 故障, 不具合点, 保守頻度の確認
	(3) 最適運転条件	(1) 最適焼却条件 (温度, 空気過剰率, 処理速度) の決定 (2) システム内温度, 圧力の測定 (3) 最適起動, 停止操作の確立	4. 灰処理装置	(1) 圧縮成型性能	(1) 最適成型条件 (成型圧力, バインダ混合率, 運転サイクル, ペレットの型状, 寸法) の決定 (2) 減容比の確認 (3) 成型不良率の確認
	(4) システムの信頼性	(1) 放射能のDF確認 (2) 機器表面線量率の測定		(2) 成型ペレットの物性	(1) 密度, 機械強度の測定 (2) 保守性 (吸水性) の確認
	(5) 運転保守性能	(1) 機器の耐腐食性確認 (2) 故障, 不具合点, 保守頻度の確認		(3) 構成機器の性能	(1) 最大処理速度の確認 (2) 混合機の混合性確認 (3) 粉体の移送性確認
			(4) 運転保守性能	(1) 灰飛散の有無確認 (2) 圧縮部材料の摩耗性確認 (3) 必要点検頻度の決定	

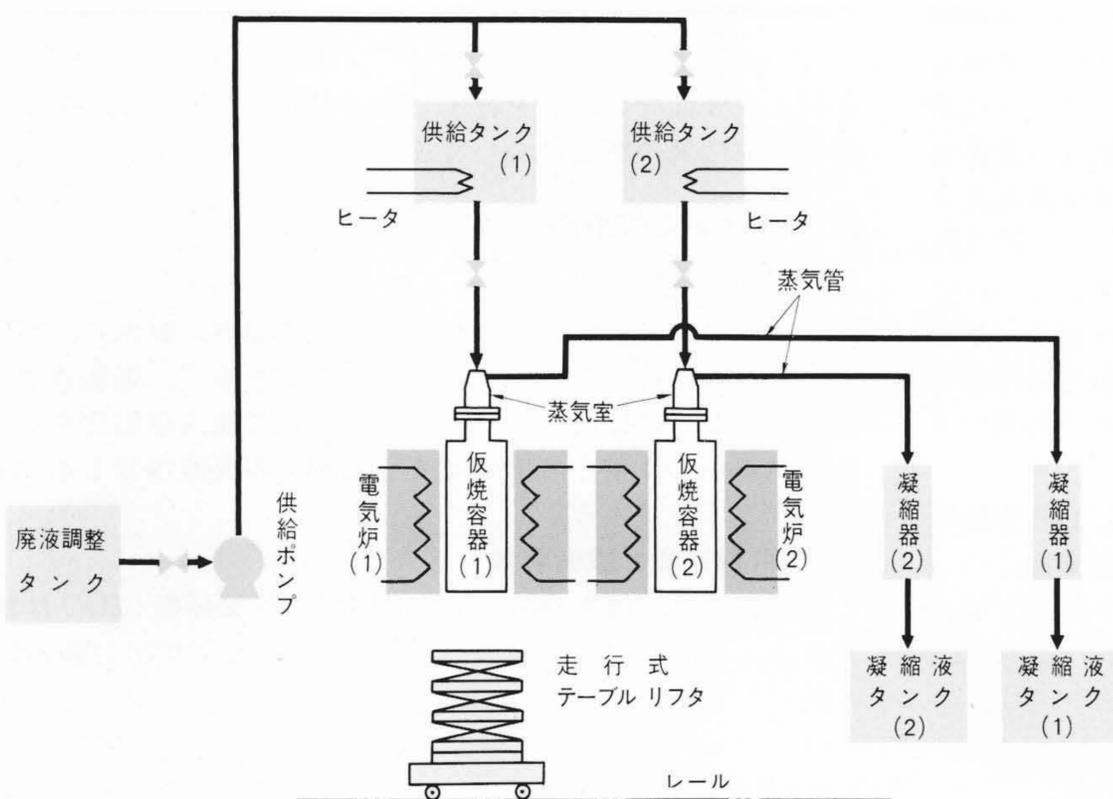


図1 実用規模仮焼固化試験装置のフローシート 本試験装置は出力30kWの電気炉2基により容積86lの仮焼容器2本に廃液を仮焼固化する。  
Fig. 1 Flow Sheet of Pilot Plant of Pot Calcination

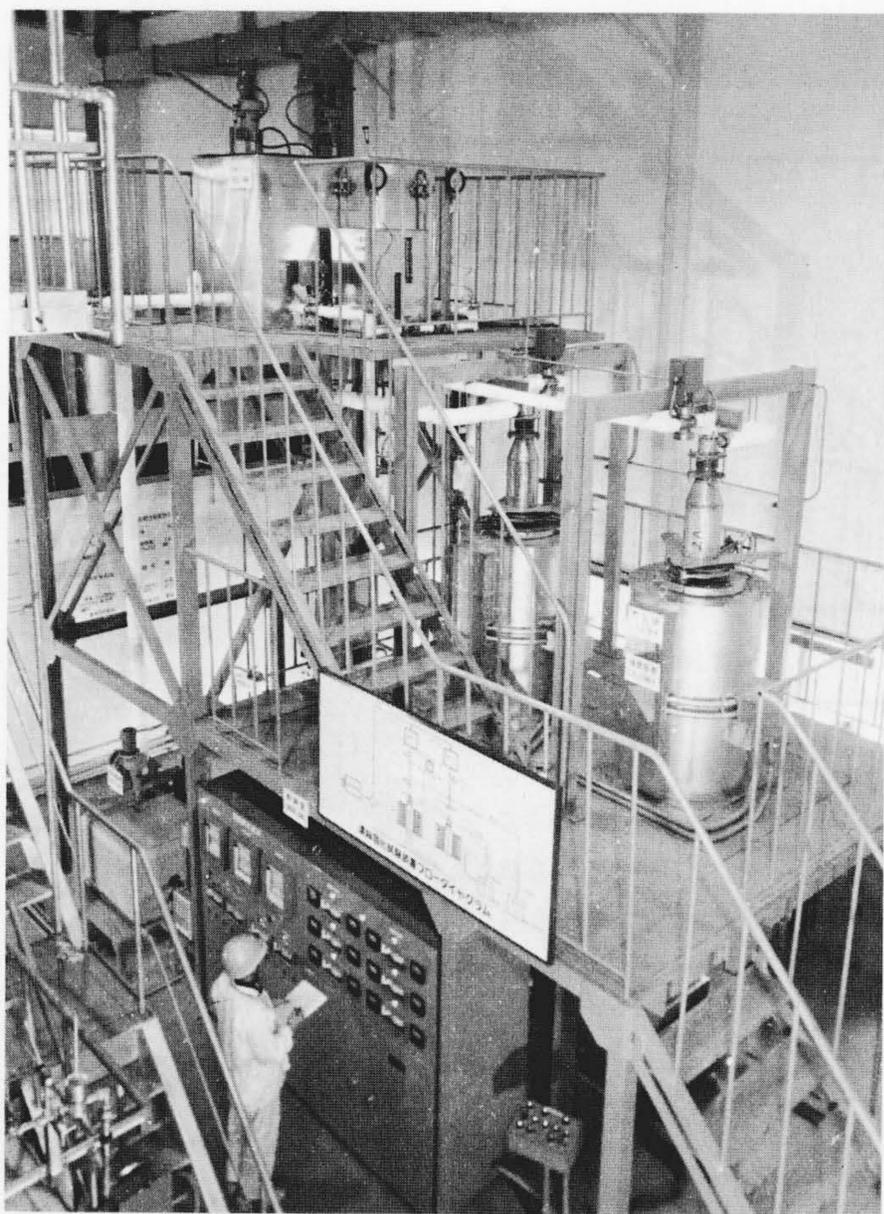


図2 実用規模仮焼固化試験装置 日立製作所で試験中の仮焼固化試験装置の全景を示す。

Fig. 2 Pilot Plant of Pot Calcination

器、電気炉があり、また蒸気を凝縮する系統として蒸気管、凝縮器、凝縮液タンクなどがある。その他これらの機器を自動操作するため、電極式液面制御装置が仮焼容器中に取り付けられ、また仮焼容器は走行式テーブルリフタにより遠隔操作で搬入、搬出される。

### 2.5 試験結果と実用性能

実用規模試験装置による確性試験の結果の一例は、図3に示すとおりである。同図は仮焼固化の経時変化を示すものである。水の蒸発速度は廃液が沸騰を開始してから時間とともに上昇し、ある時間で最大となる。その後は仮焼容器内壁に形成される固化物層の熱抵抗が増大するため、時間とともに減少する。本試験で硫酸ソーダ濃縮廃液が仮焼による減容比は約 $\frac{1}{8}$ であることが判明した。なお、除染係数は経過時間及び仮焼速度に無関係に $4 \times 10^4$ と一定であった。この結果を実用性の観点から見ると、容積200 lのドラムかん約3本の濃縮廃液が容積86 lの仮焼容器1本に減容でき、また除染係数についても従来の濃縮器と同程度の値が期待でき、本装置の実用化は可能である。

## 3 スラッジ焼却装置

### 3.1 概要

本装置はイオン交換樹脂、フィルタスラッジなどを焼却減容するもので、焼却炉には流動床形、排ガス処理系には完全乾式法を採用した<sup>(3)</sup>。

### 3.2 目標性能と設備容量

目標減容比は、イオン交換樹脂に対して $\frac{1}{20}$ 、フィルタスラ

ッジに対して $\frac{1}{100}$ 、目標除染係数は $10^6$ 以上である。これに対する設備容量を示すと、焼却能力としてイオン交換樹脂20kg/h、フィルタスラッジ100kg/h、運転圧力は焼却炉内で $-20\text{mmAq}$ 、運転温度は焼却炉内で $1,000^\circ\text{C}$ 以下、排ガス系で $500^\circ\text{C}$ 以下、流動床内充填物は特殊硬質微粒子、必要空気量は一次空気として二次空気の約 $\frac{1}{2}$ 、冷却空気として $450\text{Nm}^3/\text{h}$ である。

### 3.3 実用試験項目と内容

実用試験項目と内容を表2のスラッジ焼却装置の項目に示す。

### 3.4 主要系統構成機器

装置全体のフローシートは図4に、全景は、図5に示すとおりである。各系統の主な機器は、投入ホッパ、スクリーコンベヤより成る投入系統、流動床焼却炉助燃用ポンプ、空気供給ブロウ、防爆弁などより成る焼却系統、冷却用空気ブロウ、煙風道から成る排ガス処理系統及び灰処理系統から構成される。

焼却炉はスラッジの燃焼特性、ダスト粒径及び排ガスによる機器の腐食などについての検討の結果、特殊硬質無機物微粒子を用いた流動床焼却炉とし、また排ガス処理系には完全乾式法を採用した。

### 3.5 試験結果と実用性能

実用規模試験装置による確性試験結果の一例は、図6に示すとおりである。同図は樹脂の焼却による減容比に及ぼす流動床温度、流動化速度及び空気過剰率の影響について示すものである。流動床温度を上げると減容比は大きくなるが、多孔板の耐熱性により制限される。流動化速度をある値以上に大きくすると、流動床上での未燃炭素の滞留時間が短くなり減容比は小さくなる。空気過剰率を変化させると、ある値で最大減容比を得る。これ以下では空気量の不足のため、またこれ以上では流動床が冷却されるため、減容比が低下する。最適焼却条件においてイオン交換樹脂の減容比は $\frac{1}{24}$ と目標減容比の $\frac{1}{20}$ を十分に満足するものである。フィルタスラッジについても減容比 $\frac{1}{100}$ を十分に満足していることを確認している。また本装置の総合除染係数は、 $10^6$ 以上が確認されており、実用装置として十分な機能を有している。

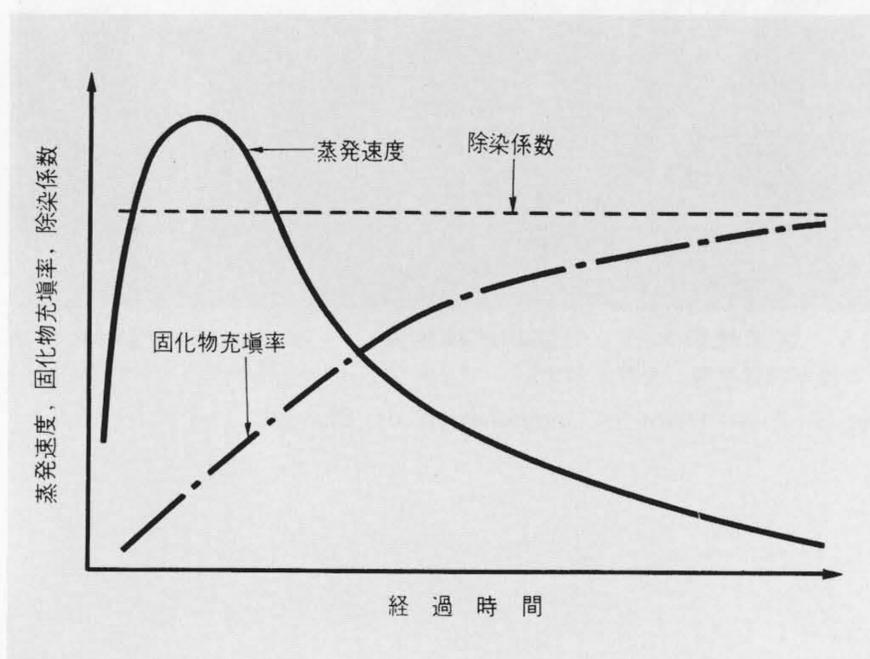


図3 仮焼固化装置の代表的な運転特性 本図は40時間回分運転時の蒸発速度、除染係数、固化物充填率の経時変化を示すものである。

Fig. 3 Typical Operational Characteristics of Pot Calcination System

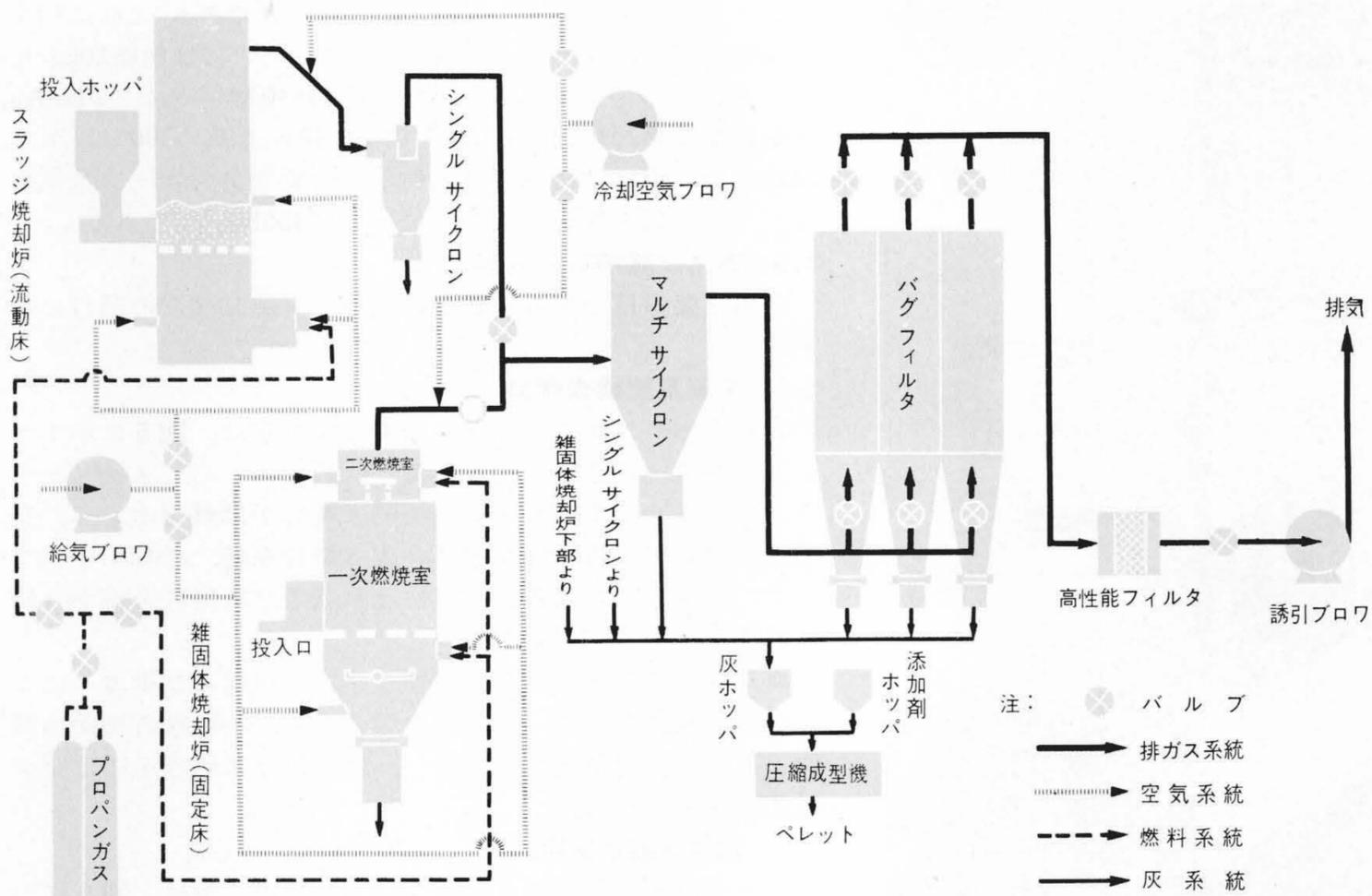


図4 焼却装置フローシート スラッジ焼却炉及び雑固体焼却炉より排出される排ガスは、完全乾式法の排ガス処理系に導かれ除塵される。  
Fig. 4 Flow Sheet of Pilot Plant of Incineration

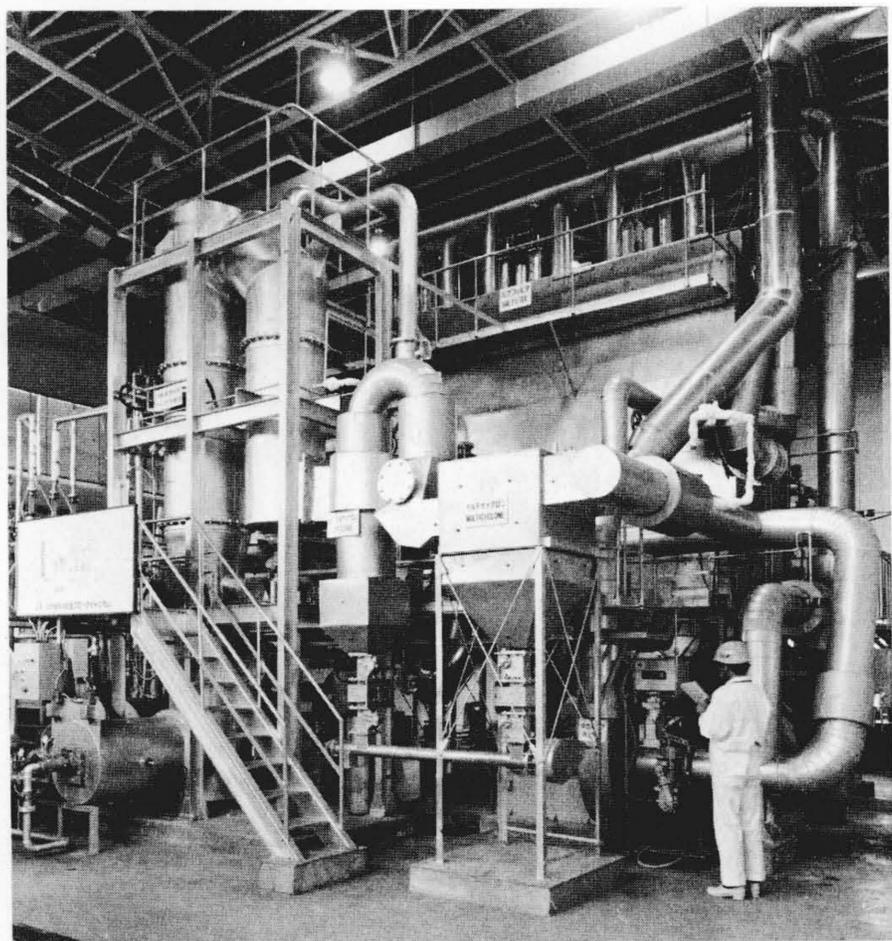


図5 実用規模スラッジ焼却試験装置 日立製作所で試験中のスラッジ焼却試験装置の全景を示す。

Fig. 5 Pilot Plant of Incineration of Sludges

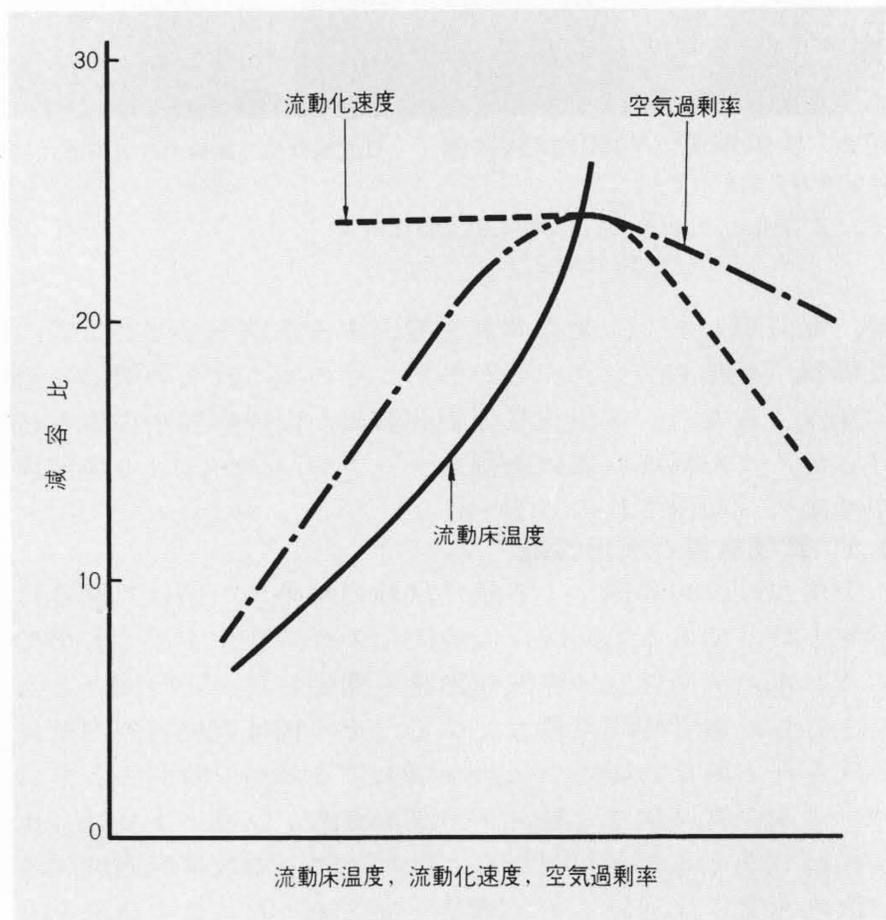


図6 樹脂の減容比に及ぼす主要焼却条件の影響 本図は主要焼却条件についてパラメータサーベイを行なった結果を整理したもので、二つの因子が最適条件下にあるときの他の一つの因子の影響について示している。  
Fig. 6 Effect of Main Incineration Conditions on the Volume Reduction Ratio of Resin

4 雑固体焼却装置<sup>(1)</sup>

4.1 概 要

本装置は低レベルの可燃性雑固体廃棄物を焼却減容することを目的とし、焼却物の完全燃焼が期待できる炉構造を採用

したことから、乾式による排ガス処理を行なうことを特徴とする。排ガス処理系は、スラッジ焼却装置の排ガス処理系とシングルサイクロンを除き共用している。

4.2 目標性能と設備容量

目標性能は、雑固体に対する減容比 $\geq 1/5$ 以上、除染係数は $10^6$

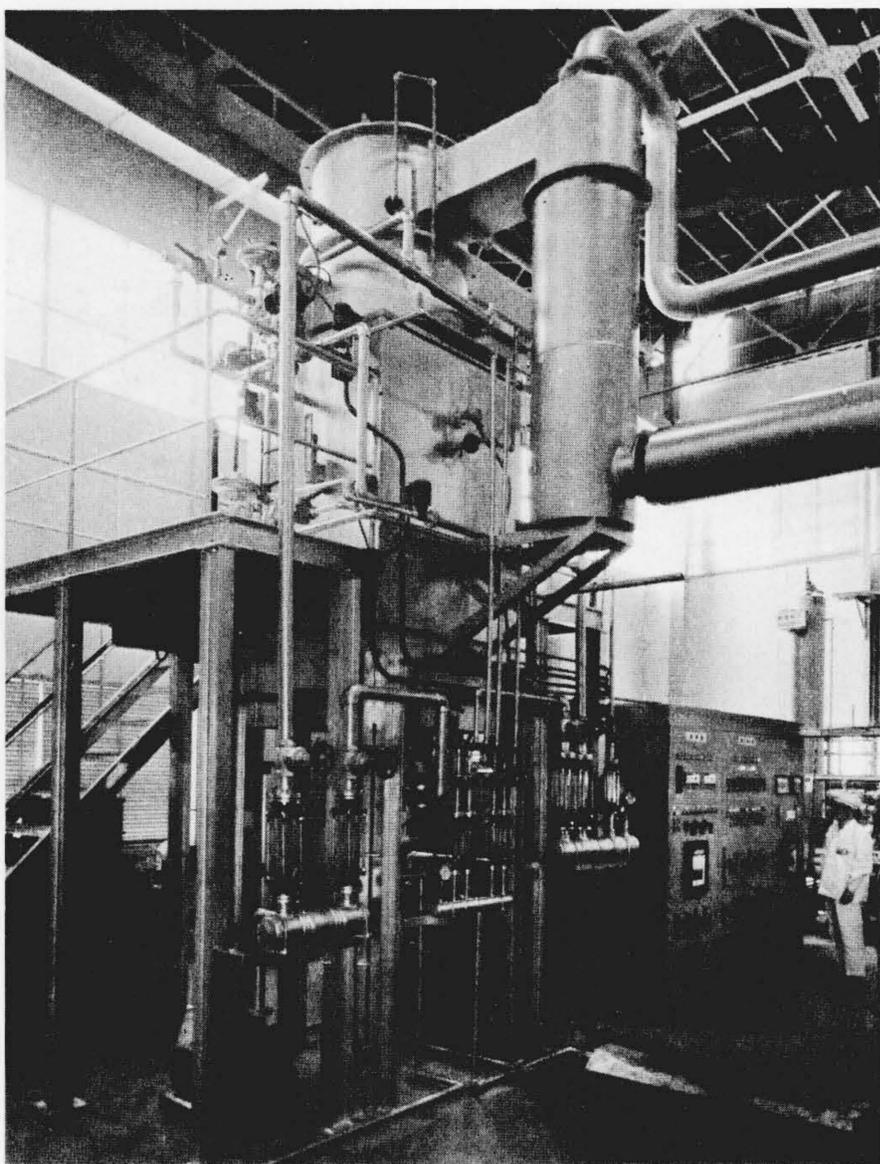


図7 実用規模雑固体焼却試験装置 日立製作所にて試験中の雑固体焼却試験装置の全景を示す。

Fig. 7 Pilot Plant of Incineration of Miscellaneous Solid Wastes

以上である。設備容量は焼却能力10kg/h、運転圧力は焼却炉内で-20mmAq、運転温度は焼却炉内で1,000°C以下、排ガス系で500°C以下、冷却用空気として800Nm<sup>3</sup>/hである。

#### 4.3 実用試験項目と内容

実用試験項目と内容を表2の雑固体焼却装置の項目に示す。

#### 4.4 主要系統構成機器

装置のフローシートは、図4に、全景は図7に示すとおりである。

主な機器は気密ダンパ、投入用油圧シリンダ、気密ゲートより成る投入系統と固定床式立て形焼却炉、回転ロストル、LPGボンベ、空気供給ブロウ、防爆弁などより成る焼却系統及び排ガス冷却塔、冷却用空気供給ブロウ、マルチサイクロン、バグフィルタ、高性能フィルタ、誘引ブロウ、煙風道より成る排ガス処理系統並びに灰処理系から構成される。

固定床焼却炉は一次燃焼室と二次燃焼室に分けられ、不完全燃焼成分を完全燃焼させる構造を採用した。

#### 4.5 試験結果と実用性能

実用規模試作装置による確性試験の代表例は図8、9に示すとおりである。

図8は二次燃焼室の温度効果を示し、運転温度に対する完全燃焼度を燃焼排ガス中の一酸化炭素濃度とダスト濃度で表わしたものである。ある温度を境に両濃度の急激な減少があり、完全燃焼に移行することが分かった。

図9は、本装置排ガス処理系の各機器によるダスト捕集性

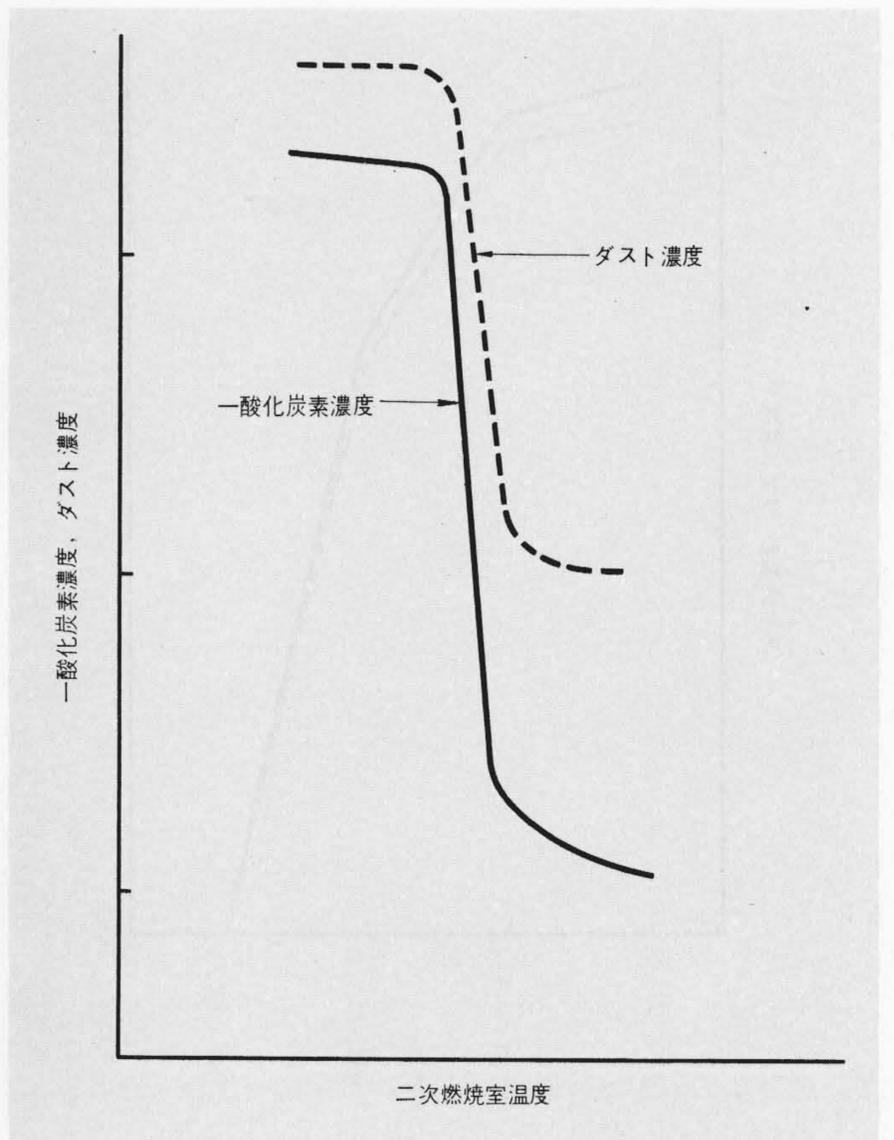


図8 二次燃焼室温度の焼却炉出口における一酸化炭素及びダスト濃度に及ぼす影響 二次燃焼室の効果を示したもので、ある温度を境に、一酸化炭素及びダスト濃度の急激な減少が見られる。

Fig. 8 Effect of Temperature of Secondary Combustion Chamber on CO and Dust Concentration at the Outlet of Incinerator

能と除染係数を示したもので、破線は非放射性試験の結果を、実線は放射性試験の結果を示したものである。同図より放射性物質はダストとほぼ同一の挙動をすることが分かる。

その他、本装置排ガス処理系の除染係数は $5 \times 10^5$ で、焼却炉を含めた除染係数は $10^6$ 以上が確認されている。その他、減容比1/50以上、電源喪失時の安全性、系統負圧運転の安定性など実用上の諸機能が実証確認されている。本装置の採用により従来600本のドラムかん(120m<sup>3</sup>)を必要とした放射性雑固体は、わずか24本のドラムかん(灰の実容量2.4m<sup>3</sup>)で貯蔵可能となる。

## 5 灰処理装置

### 5.1 概要

本装置は、焼却炉及び除塵器より排出される焼却残渣(灰)を安全に処理するため、焼却装置の開発と並行して独自に開発したもので、灰に添加剤を加え、圧縮成型機によりペレット状とし、灰の飛散防止と減容を目的とした装置である。

### 5.2 目標性能と設備容量

目標性能はペレットの圧縮破壊強度100kg/cm<sup>2</sup>以上、減容比5である。これに対する設備容量を示すと、ペレット成型速度は900個/h、混合機容積は40l、供給ホッパ容積40l、灰及び添加剤ホッパ容積は20lである。

### 5.3 実用試験項目と内容

実用試験項目と内容を表2の灰処理装置の項目に示す。

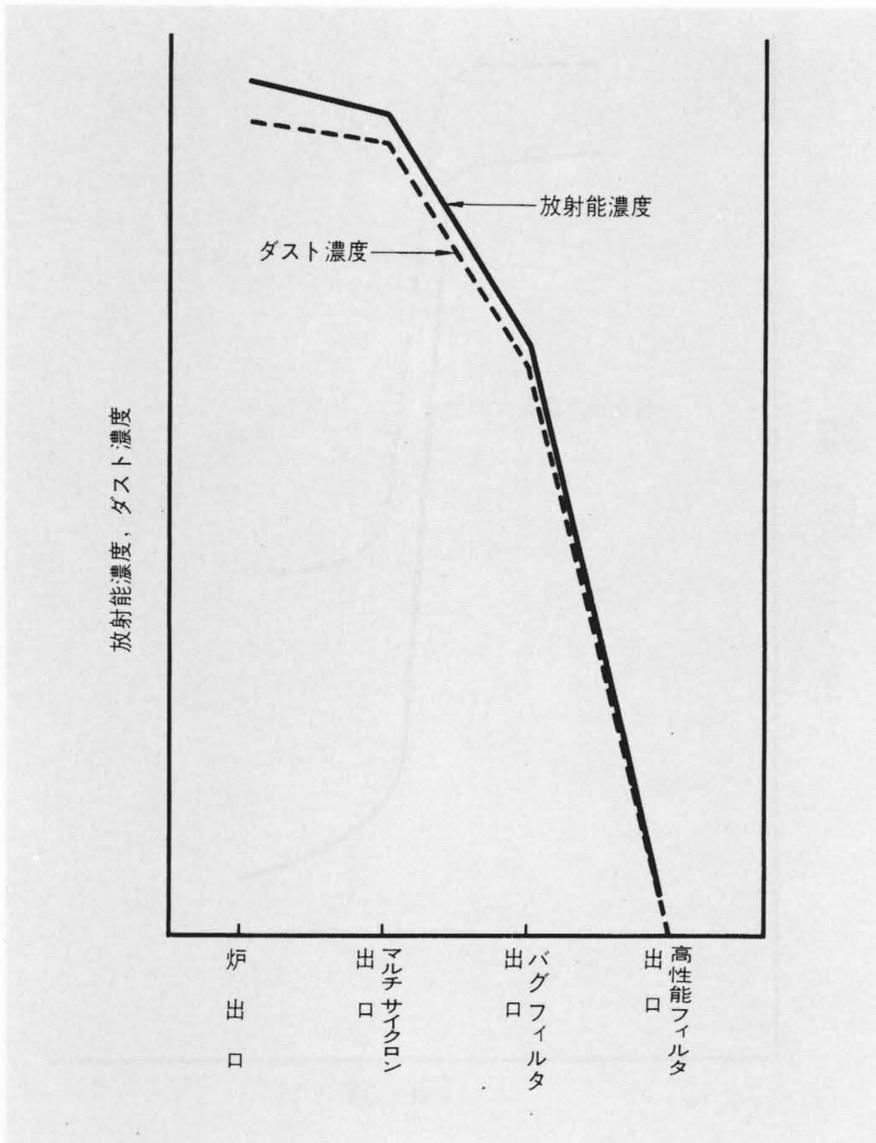


図9 各機器出口の放射能及びダスト濃度 除染係数について、非放射性試験と放射性試験の結果が誤差範囲で一致していることを示す。

Fig. 9 Radioactivity and Dust Concentration at the Outlet of Each Component

#### 5.4 主要系統構成機器

装置のフローシートは図4に、全景は図10に示すとおりである。主な系統構成機器は、灰ホッパ、添加剤ホッパ、混合機、供給ホッパ、圧縮成型機である。

圧縮成型機は油圧駆動され、可動パンチと固定パンチにより添加剤の混合体をペレット状に成型する。

#### 5.5 試験結果と実用性能

試験結果の一例は図11に示すとおりである。本図は灰の成型性に及ぼす(添加剤)混合率と成型圧力の影響を示したもので、成型圧力と添加剤との混合率を調整することにより、ペレットの成型不良率をゼロにできることが分かった。本装置による減容比は約 $\frac{1}{5}$ であり、本装置と雑固体焼却装置を組み合わせれば、総括減容比は $\frac{1}{100}$ 以上になることが明らかになり、その実用上の効果は大きい。

### 6 結 言

日立製作所において開発研究を行なった沸騰水型原子力発電所用放射性固体廃棄物減容処理装置は、下記に示すように十分実用に供し得ることが明らかとなった。

- (1) 濃縮廃液仮焼固化装置では、電気出力30kWで25wt%の硫酸ソーダ濃縮液を20時間で550l処理できる。その減容比は約 $\frac{1}{5}$ 、除染係数は $10^4$ である。
- (2) スラッジ焼却装置では、イオン交換樹脂20kg/h、フィルタスラッジ100kg/hの焼却処理速度において、減容比はそれぞれ約 $\frac{1}{20}$ 、約 $\frac{1}{100}$ であり、除染係数は $10^6$ 以上である。

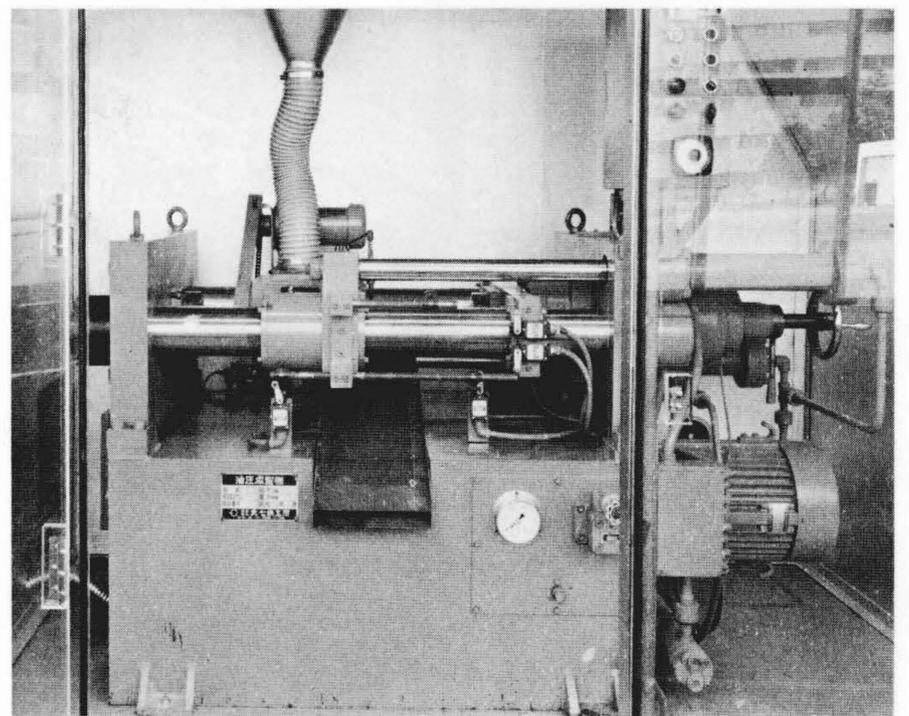


図10 実用規模灰処理試験装置 日立製作所にて試験中の灰処理試験装置の全景を示す。

Fig. 10 Pilot Plant of Ash Treatment

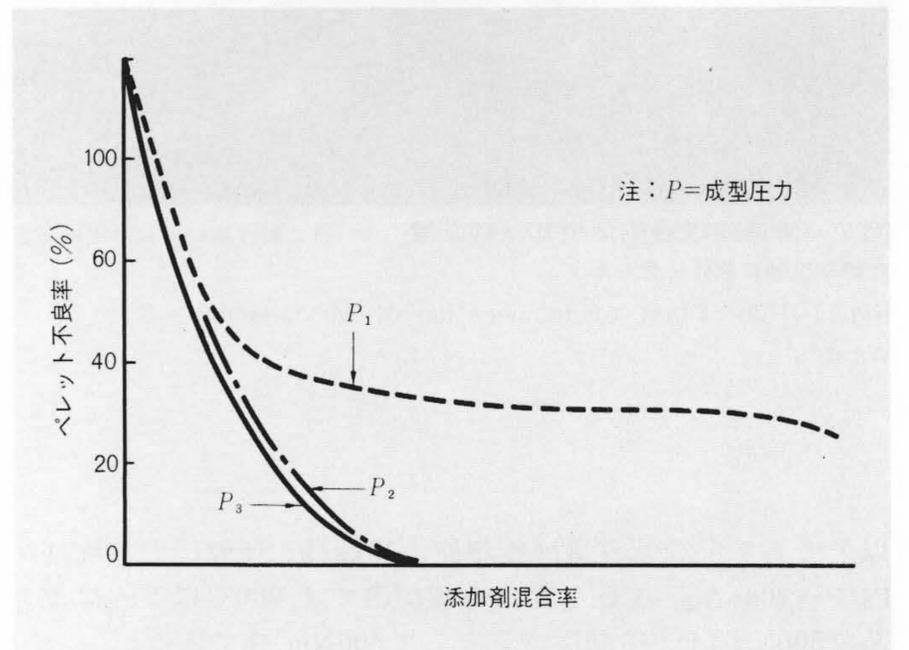


図11 灰成型性に及ぼす添加剤の量と圧力の影響 成型圧力と添加剤の混合率を調整することにより、ペレットの成型不良率をゼロにすることが可能である。

Fig. 11 Effect of Amount of Additive and Pressure on Performance of Molding Press Pellet

- (3) 雑固体焼却装置では、焼却処理速度10kg/hにおいて減容比は $\frac{1}{50}$ 、除染係数は $10^6$ 以上である。

終わりに臨み、本稿に東京電力株式会社との共同研究の成果の一部を使用させていただいたことを深謝するとともに、本開発研究に当たって終始御指導いただいた関係各位に対し、併せて深く謝意を表わす次第である。

#### 参考文献

- (1) 「Practices in the Treatment of Low and Intermediate Level Radioactive Wastes」IAEA (1966)
- (2) 村田ほか「仮焼法による放射性濃縮廃液の固化」昭和44年原子力学界年会 E-15
- (3) 村田、遊佐ほか「放射性スラッジ焼却装置の開発」昭和48年原子力学界年会 G-43