原子力発電所廃棄物の一括減容処理

遊佐 英夫*, 菊池 恂*, 堀内 進**, 林 勝**

(1982年7月31日 受 理)

Centralized Volume Reduction System for Nuclear Power Plant Radioactive Wastes

By Hideo YUSA, Makoto KIKUCHI,
Susumu HORIUCHI and Masaru HAYASHI

New volume reduction systems, which treat most of nuclear power plant radioactive wastes including liquids and sludges, have been developed and they are ready for commercial use. The main feature of the system is that mixed wastes having different chemical and physical characteristics can be treated by one unit. This report describes the outline of the system, mathematical simulation models to estimate the operational characteristics of the key components, on-line computer control system using these models, and packaging technique for the long term storage of the wastes.

KEYWORDS: volume reduction system, thin film dryer, pelletizer, packaging, solidification, radioactive wastes, mixtures, radioactive waste processing, on-line control system

I. はじめに

原子力プラントから発生する放射性廃棄物はドラム缶詰めされて発電所内貯蔵庫に保管されているが、運転年数とともに貯蔵スペースが増大し、その対策として大幅な廃棄物の減容が望まれる。このようなニーズに対応していくつかの減容固化処理装置の開発が進められており、代表的な3例を以下に紹介する。

(1) 流動層炉を用いて、濃縮廃液、可燃性雑固体、使用済イオン交換樹脂、廃油などを焼却もしくは仮焼する方式⁽¹⁾。回収した焼却灰、仮焼生成物はバインダ添加後、打錠機でペレット化して保管する。

(2) 遠心薄膜乾燥機を用いて、濃縮廃液、使用済イオン交換樹脂、フィルタスラッジなどを乾燥粉末化した後、熱硬化性樹脂と均一混合してドラム缶内に充填固化する⁽²⁾。

(3) (2)と同様の方法で乾燥粉末化した後、造粒機によりペレット化して保管する。さらに、最終処分に対応してドラム缶内にペレットを充填し固形化材を注入して固化することも可能である^{(3)~(6)}。

上記いずれの方式においても、多種多様の廃棄物を単一の装置を用いて一括処理する方法をとっており、これにより装置のコンパクト化と運転の信頼性向上を

図っている。本報では、上記(3)の方式を1例としてとり上げ、一括減容処理技術について述べる。

II. 一括減容処理システムの概要

Fig. 1 にシステムの概略図を示す⁽⁴⁾⁽⁶⁾。Na₂SO₄ 主成分の濃縮廃液、使用済イオン交換樹脂、フィルタスラッジ、洗濯廃液、焼却灰などの各種廃棄物は貯蔵タンクの

Fig. 1 Schematic diagram of centralized volume reduction system

* (株)日立製作所エネルギー研究所(Energy Res. Lab., Hitachi Ltd.)

** (株)日立製作所日立工場(Hitachi Works, Hitachi Ltd.)

** 東京電力(株)原子力開発研究所(At. Power Res. Develop. Inst., Tokyo Elec. Power Co., Inc.)

中で必要に応じて放射能減衰をはかった後、供給タンクで混合して遠心薄膜乾燥機に供給する。乾燥機において固形分を乾燥粉末化し、一方蒸発蒸気は凝縮後再使用する。乾燥粉末は造粒機によりアーモンド状のペレット(寸法 $30 \times 20 \times 10 \text{ mm}$)に圧縮成形される。このペレットは中間生成物として適当な容器内に保管することも可能であるし、図のようにドラム缶内に充填した後、空隙に固化材を注入して固化することもできる。

本システムの特長としては次の3点が挙げられる⁽⁴⁾。

- (1) 減容比が大きく従来のセメント固化法に比較してドラム缶発生量を約 $1/7$ にすることができる。
- (2) ペレットとして中間貯蔵することにより、将来の最終処分に柔軟に対応できる。
- (3) 単一の装置を用いて多種多様の廃棄物を一括混合処理することにより、装置をコンパクト化し、運転操作の信頼性を向上させることができる。

特に(3)の目的を達成するためには、計算機によるオンライン制御技術の開発が重要になる。とりわけ、主要構成機器の乾燥機と造粒機の操作特性を予測できる評価モデルを開発してこれを計算機に組み込み、運転条件の変動に追従できるような制御技術が重要である。次章にこの点についての要点を述べる。

Ⅲ. 主要構成機器の操作特性の評価モデル

本システムに適用した乾燥機と造粒機の概略構造をFig. 2に示す⁽⁴⁾。一般化学工業の分野では、図に示した機種以外にもいくつかの乾燥機、造粒機と呼ばれるものが使用されているが、原子力用に適用するにあつ

ては、特に密閉性がよく、温水による洗浄が容易な構造であることを重視して選定した⁽⁵⁾。

1. 粉末化の評価モデル

Fig. 2(a)に示した縦型の遠心薄膜乾燥機の機能について述べる。円筒形の伝熱面は外部より蒸気加熱されており、可動式のブレードが遠心力によって伝熱面と接触しながら回転している。廃棄物は上部より供給されブレードにより伝熱面に押しつけられながら効率的な熱交換が行われ、降下するに従って濃縮され最終的に乾燥粉末化して下部より取り出される。

乾燥機の粉末化が可能な領域を実験的に求めると、Fig. 3のようになる。実験装置として実規模大のパイロットプラントを用いた。また、模擬廃棄物としてス

Fig. 3 Powder production region of dryer

Fig. 2 Schematic diagram of dryer and pelletizer

ラリー中の Na_2SO_4 とイオン交換樹脂濃度が各10%のものについて求めた結果である¹⁰⁾。ブレード回転数一定の条件で処理流量を増やしてゆくと乾燥粉末が生成できなくなる点が存在し、さらに流量が増加するとスラリーとなる。このようにして求めたのが図の実験値である。図中の実線は後述の評価モデルによる計算結果であるが、実験値とよく一致している。

粉末化のプロセスとしては、Fig. 4 に示すような概念を考えることにする。この概念は可視実験装置による現象観察から得られたものである¹⁰⁾。すなわち、回転するブレードの前面に流動する孤立液膜が形成され、ブレードと伝熱面との間隙から乾燥粉末が後方に噴出するものとする。

Fig. 4 Concept of powdering process

Fig. 5 は、この概念をもとに乾燥機の粉末化特性を計算するために作成した評価モデルである¹⁰⁾。孤立液膜中の固形分濃度を増加させる要因は伝熱面からの熱流入による濃縮であり、一方低下させる因子は粉末生成である。両者の差分を乾燥機の軸方向に沿って積分する。最下端において流下する液膜が存在する場合(図で $V \neq 0$)はスラリーに、また液膜の動粘性係数が異常に増大し流動性が失われた場合(図で $\nu > 1$)は湿った塊状の生成物となる。このようにして計算した結果がFig. 3 の実線である。

Fig. 5 の評価モデルにおいて、廃棄物の種類、性状に著しく依存する物性値が動粘性係数である。Fig. 6 に Na_2SO_4 とイオン交換樹脂の例を示す。廃棄物ごとにこのような ν 値を測定しておき、混合廃棄物については組成比の荷重平均をとって求める。その値をFig. 5 の評価モデルの中で用いることにする。

2. ベレット化の評価モデル

Fig. 2 (b) に示した造粒機の機能について述べる。ホッパー中の乾燥粉末はスクリーフィードにより圧密化されてロールのみぞの中に押し込まれ、ここで強力に

V: Liquid Falling Rate on Heated Surface
H: Latent Heat

Fig. 5 Powdering model

Fig. 6 Kinematic viscosity of wastes

圧縮されてアーモンド状の強固なベレットが成形される。

ロールの圧縮成形圧力と成形されたベレットの密度および圧潰強度との関係を求めるとFig. 7 のようになる¹⁰⁾。密度、強度ともに飽和値が存在し、飽和値が得られるように圧縮圧力を設定するのが望ましい。図中の実線は後述の評価モデルによる計算値である。圧縮圧

力の小さい所で実験値が計算値より下回るが、全般的にはよく一致している。

Fig. 7 Effect of compacting pressure on pellet properties

粉末の圧縮成形モデルを Fig. 8 に示す⁽⁹⁾。圧縮の初期段階では粉末粒子の再配置が起り、さらに圧縮圧力を増加させると粒子が塑性変形して粒子間の接触面積が増加する。図には圧縮圧力 P が与えられたときのペレット密度 Dr および強度 S を計算するための手順とその要点を示す⁽⁹⁾。計算式の中で特長的な点は、粒子間の接触荷重 F が接触面積 πr^2 に比例すると考えたことである。比例定数 K_1 は廃棄物の種類、性状に依存する重要な値である。理論的、実験的検討の結果、この

Fig. 8 Powder compaction model

K_1 は粉末物性の一つである剛性率と1次的な関係にあることがわかった⁽⁹⁾。結果を Fig. 9 に示す。混合廃棄物については、前述の乾燥機の場合の ν の取扱いと同様、組成比の荷重平均をとって求め、その値を Fig. 8 の評価モデルの中で用いることにした。

Fig. 9 Relationships between K_1 and shear modulus

IV. 計算機制御

前述の乾燥機および造粒機の運転特性を予測する評価モデル (Fig. 5, 8) を計算機に組み込み、オンライン制御する技術を開発した⁽⁹⁾。制御方式の要点を Fig. 10 に示す。制御システムは粉末化やペレット化などのプロセス・サブコントローラと、設備全体の監視と統括制御をする制御コンソールとからなり、階層分散化計算機制御方式をとることにより信頼性向上を図っている。すなわち、処理すべき廃棄物の組成、濃度などを検出してサブコントローラに入力すると、その情報を制御コンソールに伝送し、評価モデルにより乾燥機と造粒機の最適運転条件を計算する。その結果を再びサブコントローラに伝えて装置を自動制御する。このような制御方式の信頼性を確認するため、実規模大のバイロットプラントを用いて実証試験を行なった⁽⁹⁾。

V. パッケージ固化技術

造粒機によって成形したペレットはそのまま中間貯蔵することも可能であるが、Fig. 11 に示すように、ドラム缶の中に内カゴを設け、その中にペレットを充填した状態で熱硬化性樹脂と重合反応を促進させる触媒

Fig. 10 Software configuration of control system

を注入して固化することもできる⁽³⁾。ドラム缶内面と内カゴとの間の約10mmの間隙には固化材のみの層が形成されるので、放射能保持性、耐水性が改善され、パッケージ固化体の安定性、耐久性が向上する。

Fig. 11 Packaging of pellets

日本原子力研究所における200 l規模高水圧実験(500 kg/cm², 2°C)の結果、放射能浸出率はセメント固化体に比して1/100以下であった。固化材としては熱硬化性樹脂のほかアスファルト、無機系固化材なども用いることができる。

Ⅶ. あとがき

多種多様の放射性廃棄物を単一の装置を用いて一括減容処理する技術の開発が各所で進められ実用化されようとしている。本報では、その中の1例として、廃棄物を乾燥粉末化した後ペレット化する方式を取り上げ、一括混合処理する上での技術開発の要点を述べた。

物理的、化学的性状の異なる多種廃棄物を同時混合処理するためにはシステムのオンライン制御が必要であり、そのための技術的なポイントは主要構成機器の操作特性を予測できる評価モデルを開発することである。

このような評価モデルの開発例として粉末化およびペレット化のモデルを取り上げ、モデルの基本的な概念、機器操作特性の具体的な計算方法などについて概説した。特に混合廃棄物を扱う上で着目すべき重要な物性値は、粉末化についてはスラリーの動粘性係数、ペレット化については粉末粒子の剛性率であり、単独廃棄物の値の組成比荷重平均値を用いることにより、混合廃棄物処理時の操作特性が予測可能なことを示した。

— 参 考 文 献 —

- (1) 鬼沢秀夫: 火力原子力発電, 33[3], 233 (1982).
- (2) 入江弘光: 原子力誌, 23[12], 886 (1981).
- (3) KIKUCHI, M., et al.: Proc. Symp. on Waste Management '81, Tucson, 547 (1981).
- (4) KIKUCHI, M., et al.: Proc. Symp. on Waste Management '82, Tucson, 601 (1982).
- (5) 堀内 進, 他: 日立評論, 62[9], 53 (1982).
- (6) 雨宮 滋, 他: 同上, 64[8], 27 (1982).
- (7) KUDO, K., et al.: Trans. Am. Nucl. Soc., 39, 164 (1981).
- (8) 千野耕一, 他: 粉体および粉末冶金, 29[6], 195 (1982).
- (9) 千野耕一, 他: 同上, 29[6], 201.
- (10) 伊藤哲男, 他: 原子力学会昭和56分科会予稿集, G17~22, (1981).

正 誤 表 (Errata)

Vol. 24, No. 9 (1982)

誤

正

p. 725

左段下から5行目(22)式

圧力項: $-FP=A_s(P_0-P_\infty)$ を 圧力項: $-FP=A_s(P_2-P_\infty)$