

日本原子力発電株式会社敦賀発電所納め

放射性廃棄物処理設備の増強

Radioactive Waste Treatment System for Tsuruga Nuclear Power Station

我が国での沸騰水型原子力発電所の先駆である日本原子力発電株式会社敦賀発電所で、昭和48年から放射性廃棄物処理設備の増強が計画され、日立製作所は昭和52年6月にこの設備を完成した。増強設備の目的は、廃棄物貯蔵能力の拡大と既設設備の運転経験を反映した新設備による処理能力の拡大とにある。設備の全面的な増強自体が我が国でも初めてであることに加え、画期的な真空強制循環型濃縮器、固体廃棄物専用貯蔵プールなど、新技術に基づく製品が含まれている。

設備設計に際しては、長距離スラリー輸送や材料腐食などの技術検討が要求されたので、スラリー輸送パイロットプラントテスト、あるいは長時間腐食テストを実施し、設計条件の確認を図った。

本報では、廃液濃縮器、長距離樹脂輸送設備、高放射能固体廃棄物貯蔵設備の3テーマを中心に、テストと実機設計及び試運転結果について報告する。

谷口 堯*
Taniguchi Takashi

竹島正毅*
Takeshima Masaki

斉藤 徹*
Saitô Tôru

吉川涼三*
Kikkawa Ryôzô

1 緒 言

日本原子力発電株式会社敦賀発電所(以下、敦賀発電所と略す)は、我が国最初の沸騰水型原子力発電所として、昭和45年に運転を開始したが、放射性廃棄物設備の運転経験から、液体及び固体廃棄物処理貯蔵能力の改善・拡大の必要が生じ、昭和48年ごろから設備増強の計画が具体化された。この敦賀発電所での放射性廃棄物処理設備増強計画の設備内容は、表1及び図1に示すように廃棄物処理設備全般にわたっている¹⁾。この設備で、日立製作所が納入した製品のうち特に技術的検討を要した次の三つのテーマに関し、設計に際して実施したテストや実機設計などについて詳述する。

- (1) 廃液濃縮器
- (2) 長距離樹脂輸送
- (3) 高放射性固体廃棄物貯蔵設備(サイトバンカ設備)

2 廃液濃縮器

敦賀発電所に限らず国内外の沸騰水型原子力発電所廃棄物

設備では、共通して廃液濃縮器の伝熱管閉塞防止や構造材への腐食などの悪影響防止に対する向上策が望まれている。廃液濃縮器で処理する廃液は、発電所の水浄化系で使用されているイオン交換樹脂の再生廃液及び床ドレンが主である。これらの廃液中には、種々の不純物(SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 CrO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} など)が含まれており、濃度の過程で、 Na_2SO_4 、 CaSO_4 、 MgSO_4 などのスケール物質の析出による伝熱管閉塞や、高温での Cl^- 、 CrO_4^{2-} の相乗効果による構造材への腐食などの悪影響の可能性を減少し、廃液濃縮器の信頼性を更に高める必要がある。

2.1 廃液濃縮器確証テストと概念設計

廃液濃縮器の設計に当たっては、上述の処理対象廃液水質による影響防止を目的として、材料腐食及びスケーリングについて表2に例挙する確証テストを実施し、水質的環境、材料、加工法、運用方法などに関して種々の知見を得た。これらテストの結果、既設廃液濃縮器の運転経験、海水濃縮など関連技術、文献調査^{2)~6)}などによって総合的に検討し、高信頼性の新型廃液濃縮装置の概念を確立した。その特色は表3

表1 廃棄物処理設備増強内容 既設廃棄物設備の問題点と増強設備での対応策を示す。

既 設 廃 棄 物 処 理 設 備 の 問 題 点		対 策		備 考
項 目	内 容	設 備 増 強 方 針	具 体 的 計 画	
固体廃棄物 貯蔵能力	フィルタスラッジ・廃樹脂のタンク内貯蔵 (最終処分方法の未確立)	貯蔵設備の増設	350m ³ 長期貯蔵タンク	○
	原子炉からの発生廃棄物の燃料プール内蓄積		サイドバンカ設備	○
	床ドレン濃縮によるドラム缶発生量の増大		ドラム貯蔵庫	—
	雑固体廃棄物の処理	廃棄物の減容	アスファルト固化	—
	廃棄物処理系フィルタスラッジ発生量の増大	廃棄物発生量の低減	非助材型濾過器	—
液体廃棄物 処理能力	床ドレン濃縮による廃液濃縮器への負担増加	濃縮器処理容量増加	真空強制循環型濃縮器	○
	廃液濃縮器の { 伝熱管閉塞防止 構造材への影響防止 } の向上対策	濃縮器信頼性向上		

注：備考欄中の○印は日立製作所納入範囲の設備、機器を示す。

* 日立製作所日立工場

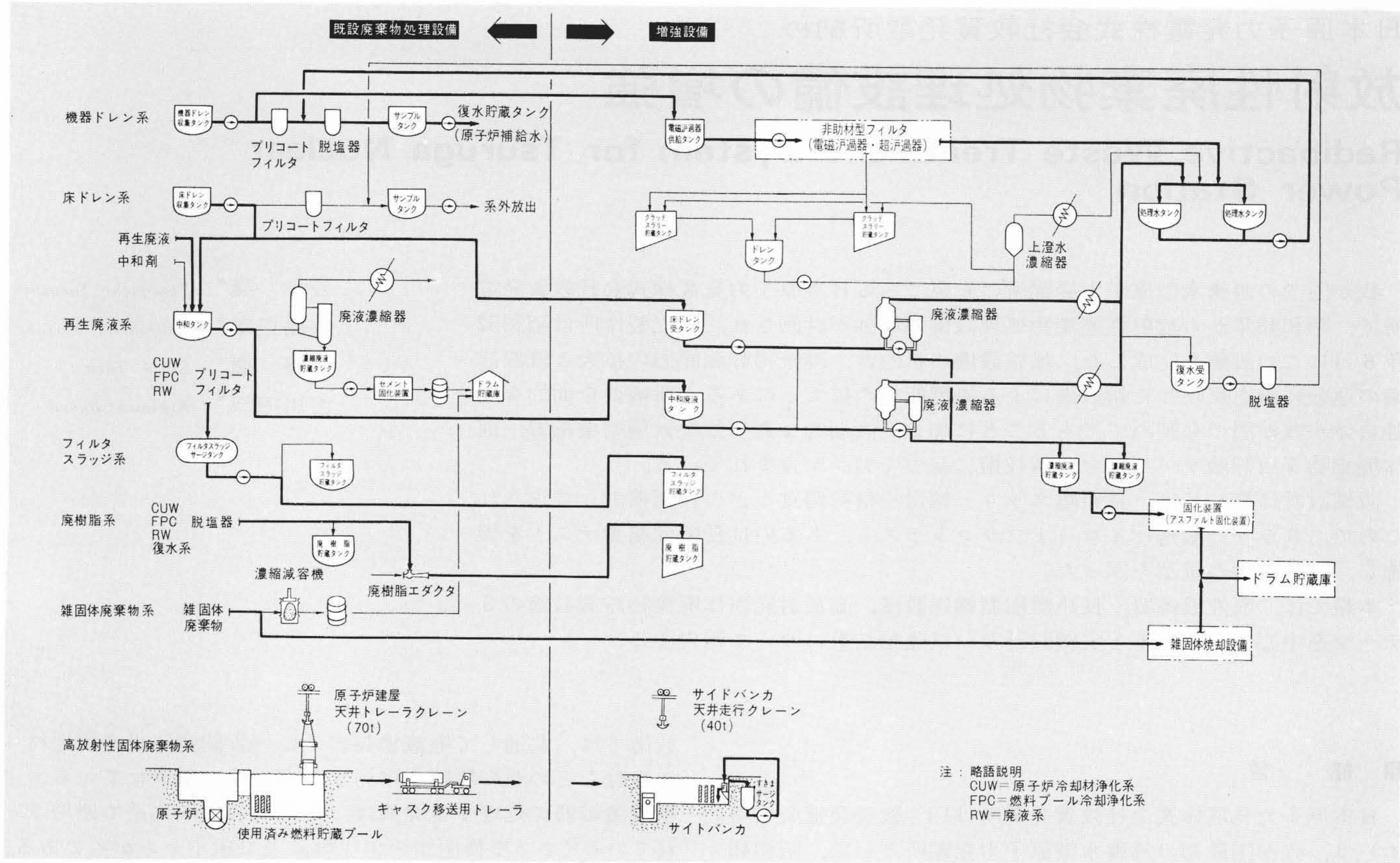


図1 廃棄物処理設備増強の概要 ほとんど全系統にわたる増強である。図中二点鎖線囲み内は日立製作所納入外製品である。

に示す6点である。

2.2 廃液濃縮器の設計

上記の概念に基づいて設計した廃液濃縮器システムを図2に示す。廃液濃縮器本体は蒸発缶と加熱缶から成り(図3)、廃液は加熱缶で蒸気により加熱され、蒸発缶で蒸発濃縮される。発生蒸気は凝縮器に導かれ、水冷によって復水し清澄な処理済み水として回収される。一方、濃縮された廃液は、濃縮廃液タンクに移送し貯蔵される。

図2に示すこの廃液濃縮器の特徴を次に説明する。

(1) 強制循環

蒸発缶と加熱缶の間に循環ポンプを設置し、下記のように強制循環効果確保とともに、機器の信頼性を十分配慮して設計した。

- (a) 循環流量は、処理流量の200倍以上確保
- (b) 循環配管熱膨張吸収のための、スライドベース採用

- (c) ポンプシール部のすきま腐食、異物侵入防止のためのダブルメカニカルシール及び清浄温水注水の採用

(2) 真空運転

凝縮器から不凝縮性ガスを吸引して、系内を真空に保つ真空装置を設置した。この装置は下記のように機器信頼性に配慮し、低温運転による構造材への影響軽減効果を保持できるように設計した。

- (a) 0.255ataの真空度(65℃の低温)維持
- (b) 真空機器には静止機器のエダクタを採用
- (c) 回転機器のエダクタ駆動源循環水ポンプの二系列化

(3) 構造材自体の耐食性改善

- (a) 廃液濃縮器回り接液部(蒸発缶、加熱缶、循環ポンプ、循環配管など)の全SUS316L化
- (b) 濃縮器回り接液部内面の#300バフ仕上げ
- (c) 濃縮廃液タンクへの樹脂ライニングの採用

表2 廃液濃縮器の確証テスト 濃縮器の信頼性向上のため、材料耐性改善・伝熱管閉塞防止を目的として実施したテスト例である。

No.	テスト名称	調査目的					テスト結果
		腐食環境	材料	加工法	インヒビタ効果	スケール	
1	腐食原因究明テスト	◎	○	—	—	—	(1) Cl ⁻ 、CrO ₄ ⁻ 共存下で腐食が著しい。→再生廃液・床ドレンの分離 (2) 低pHで腐食が著しい。→ { pH調整管理の重要性 pH緩衝剤の有用性
2	表面仕上テスト	—	—	◎	—	—	(1) 表面が粗雑なほど腐食が著しい。→内面仕上げの必要性
3	材料比較テスト	○	◎	○	○	—	(1) SUS316LがSUS304より耐食性に優れている。
4	伝熱管閉塞テスト	—	—	—	—	◎	(1) 伝熱管内に沸騰液面があると閉塞→ { 伝熱管を常時液中に浸す必要性 局部的過濃縮防止の必要性
5	インヒビタテスト	—	—	—	◎	◎	(1) リン酸塩の防食効果確認 (2) リン酸塩の硬質スケール阻止性確認

注：◎＝主要目的，○＝付随目的

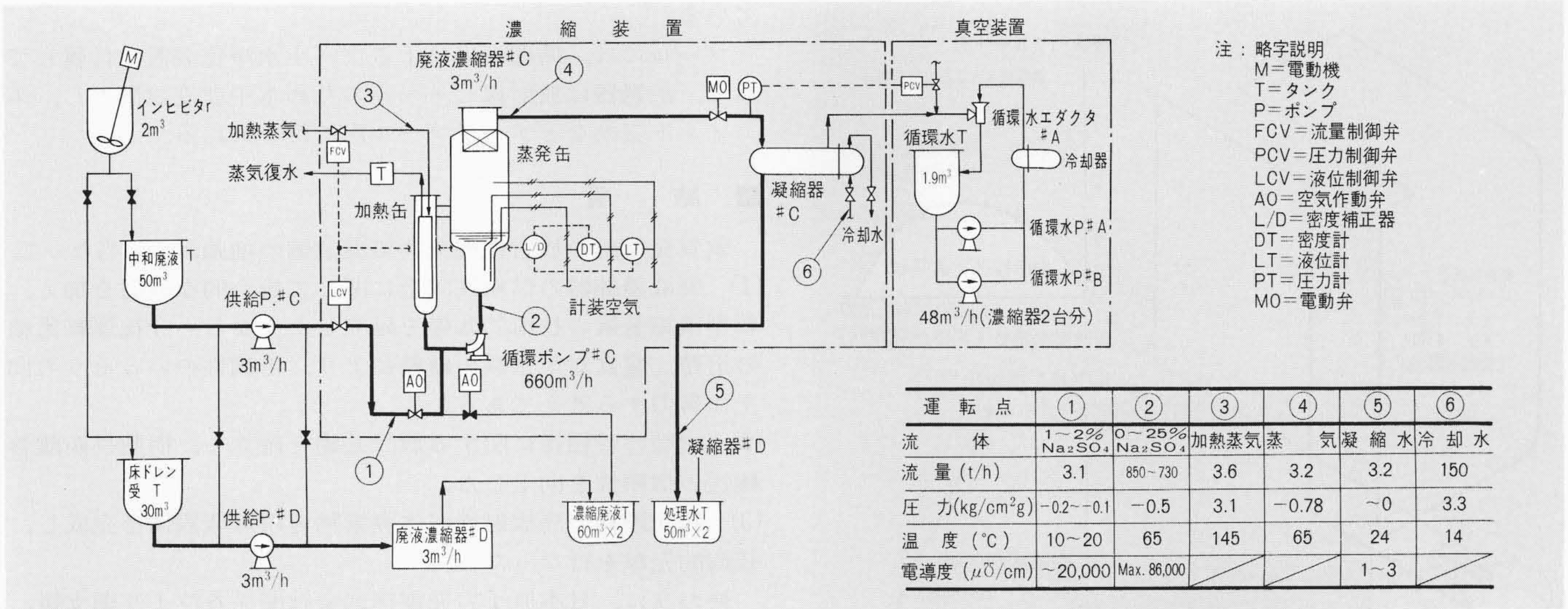


図2 廃液濃縮器システムと運転データ 濃縮器の全体フローシートを示すもので、代表点の試運転データを併記した。

- (4) 運用方法
- 構造材への影響を運転面から軽減するように配慮した。
- (a) 再生廃液・床ドレンの完全分離
 - (b) インヒビタとして、リン酸塩（第一リン酸ソーダ、第二リン酸ソーダの混合物）の採用

2.3 試運転結果

廃液濃縮器試運転の結果は、次に示すように良好な成果を得ることができた。

- (1) 運転制御性は、起動時、通常時共に良好であった。
- (2) 真空度立上りは、計画値以内の約1.5時間で良好であった。
- (3) 廃液濃縮器での処理性能は、図2の運転データに示すように処理容量、性能及び強制循環流量についていずれも満足できる結果であった。

3 長距離樹脂輸送

水浄化系脱塩器のイオン交換樹脂は、再生・廃棄時にスラリー状で水と空気ですりつぶされて管路上を輸送されている。処理用樹脂は高放射性であるため、管路閉塞が生じない工夫が必要であるのに加えて、この設備では従来実績の約2倍（最長250m）の長距離輸送が必要である。そこで、輸送中に管路閉塞を起こさない高信頼性の樹脂輸送技術が要求された。

表3 新型廃液濃縮器の特色と効果 新型廃液濃縮器は、真空運転と強制循環を最大の特色とし、このほか材料面、加工面、運用面などの対策を総合して、廃液濃縮器の信頼性向上を目的とするものである。

No.	特 色	効 果		
		構造材保護	伝熱管閉塞防止	内 容
1	真 空 運 転	◎	○	(1)低温沸騰により、塩素の影響低下 (2)低温沸騰により、管壁温度降下
2	強 制 循 環	○	◎	(1)伝熱管内ボイド率低下と管壁温度降下 (2)液の滞留の除去
3	耐食性材料	◎	—	(1)耐孔食性の改善
4	内表面研磨	◎	—	(1)表面のきず・欠陥除去による局部腐食抑制
5	インヒビタ添加	◎	○	(1)塩素アタックの緩和 (2)pH緩衝 (3)硬質スケール生成防止
6	処理液分離	◎	—	(1)Cl ⁻ 、CrO ₄ ²⁻ 共存防止による腐食環境緩和

注：◎＝主要効果，○＝付随効果

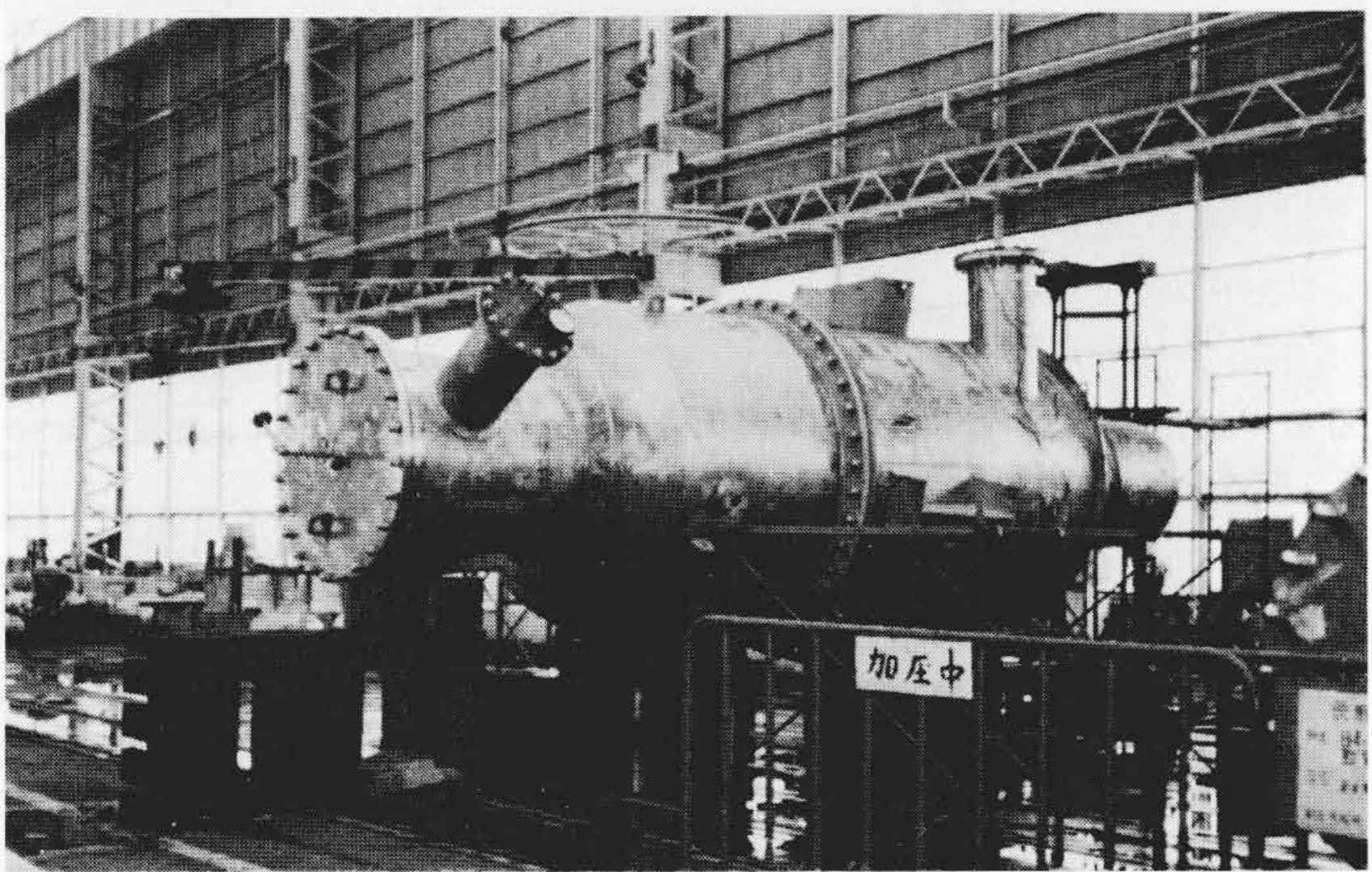


図3 加圧試験中の廃液濃縮器蒸発缶 工場での耐圧試験風景を示す。蒸発缶の寸法は概略φ2,000×H7,500である。

離輸送が必要である。そこで、輸送中に管路閉塞を起こさない高信頼性の樹脂輸送技術が要求された。

3.1 樹脂輸送パイロット・プラント・テスト

上記背景の下に、樹脂輸送設計に際して図4に示すパイロット・プラントによる輸送テストを実施し、樹脂閉塞条件となる臨界析出速度（樹脂が配管底に堆積せずに流れる最小流速）、樹脂スラリー輸送圧損などの設計基礎データの集積を図った^{7),8)}。

3.2 樹脂輸送系統の設計

系統設計に当たっては、既設備の制約条件より、脱塩器から新設貯蔵タンクまでの直送方式に限定されているので、必要流速、輸送圧力を確保するため、輸送管路途中に水エダクタを設けて吸引・昇圧輸送する方法を採り、テスト結果に基づいてエダクタ仕様などを決定した。

3.3 試運転結果

樹脂輸送試運転の結果、通常輸送時及び脱塩塔からの空気吸込、エダクタ駆動水喪失などの異常時でも安全に樹脂輸送が可能なことを確認した。

4 サイトバンカ設備

原子力発電所の長期運転に伴って、原子炉からは制御棒、チャンネルボックス、中性子モニタなどが高放射化廃棄物として発生する。従来これらは、使用済み燃料プール内に貯蔵保

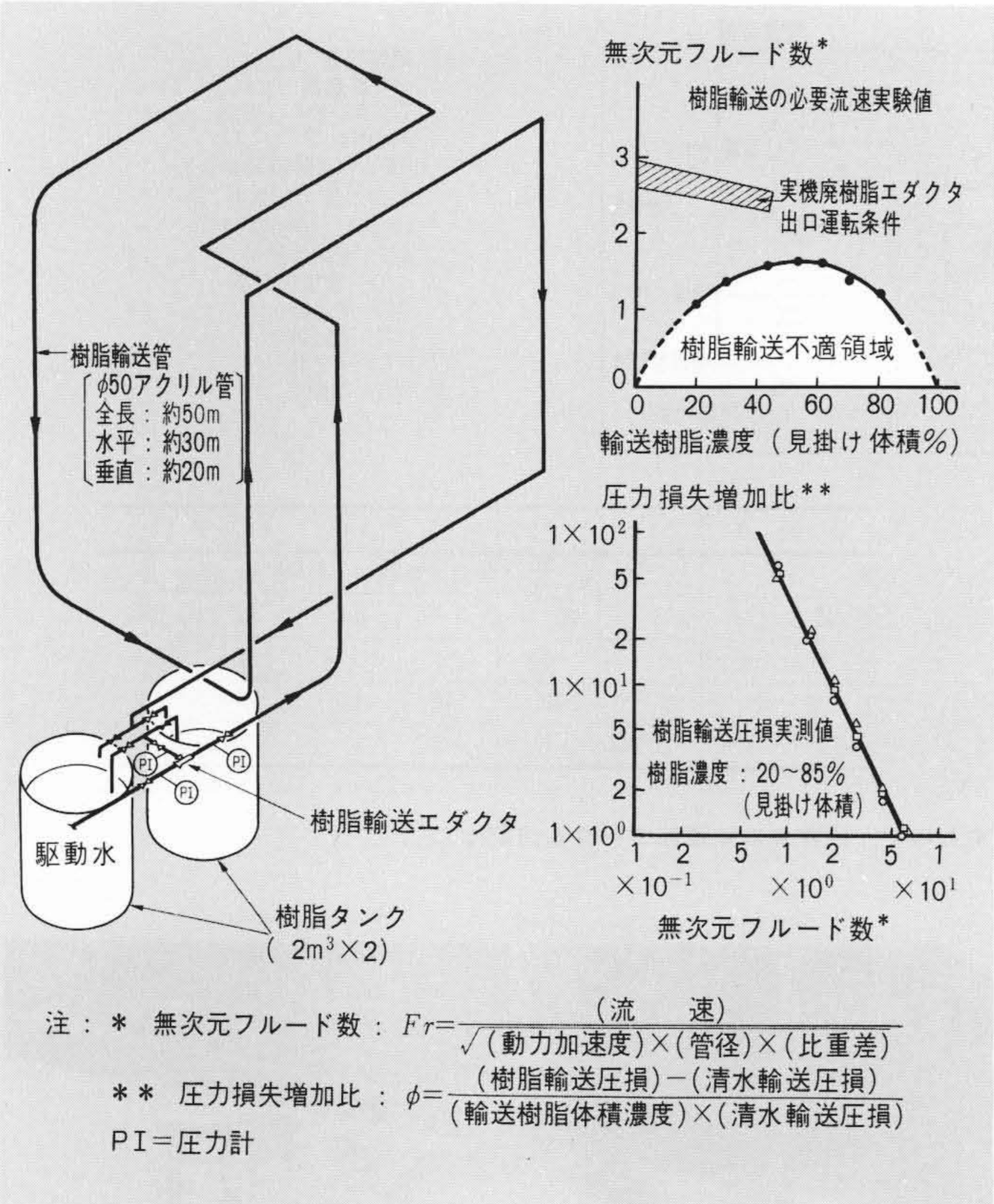


図4 樹脂輸送パイロット プラント テスト 本テスト装置によって、図の樹脂輸送必要流速条件及び樹脂輸送圧力損失を求めた。

管されてきたが、将来、本来の燃料貯蔵に対する制約要因となり、廃棄物専用貯蔵のためのサイトバンカ設備（本誌第59巻1号p.11で紹介）の必要性が生じた。

このサイトバンカ設備は、廃棄物を水中に貯蔵し水をしゃへい材とする湿式プール方式であり、図5に示すように貯蔵プールのほか、作業用台車、天井クレーン、プール水浄化装置、キャスク除染装置などにより構成される。

プールは鉄筋コンクリートSUS304板内張製で、10年分の廃棄物貯蔵容量をもち、ラックなどを備えて効率貯蔵を図っ

ている。
プールには、循環汚過によるプール水浄化装置が附属しており、汚過器は放射線しゃへいのため水中埋没設置とし、エレメント交換などすべてプール内で行なわれる。

5 結 言

- 敦賀発電所の放射性廃棄物処理設備の増強計画に当たって、
- (1) 廃液濃縮器の信頼性向上に関して総合的な検討を加え、新型濃縮装置の技術的基礎を確立した。なお、今後運転実績の追跡、腐食対策試験の継続により、信頼性のいっそうの向上に努力する考えである。
 - (2) 樹脂の管輸送に関する設計基礎を確立し、樹脂長距離管輸送の信頼性を向上した。
 - (3) 我が国初の高放射性固体廃棄物専用貯蔵設備を完成し、技術的先駆を行なった。

終わりに、日本原子力発電株式会社関係各位より御支援、御鞭達をいただき、この設備が完成に至ったことを深謝する次第である。

参考文献

- 1) 栗原，小林：敦賀発電所廃棄物処理増強設備，火力原子力発電，28，4，355～363（1977-4）
- 2) 梶野：ステンレス鋼の孔食と隙間腐食，防蝕技術，18，6，241～249（1969-6）
- 3) 小泉：発泡・液滴現象に伴う腐食について，化学装置，16，7，11～19（1974-7）
- 4) Seigo Máluda, H. H. Uhlig：Effect of pH, Sulfates, and Chlorides on Behavior of Sodium Chromate and Nitrite as Passivators for Steel, J. Electrochemical S., 111, 2, 156～161（Feb. 1964）
- 5) 宮内，守山：蒸発装置における硬石膏スケールの付着速度，化学工業，25，7，531～537（1961-7）
- 6) E. J. Kelly：High-Vacuum Concentration Its Realm in the Chemical Industry, Chemical Eng. Progress, 48, 12, 589～593（Dec. 1952）
- 7) 坂本：固形物混相液の輸送とその問題点，化学工学，30，3，200～204（1966-3）
- 8) 長瀬，村田（編）：固・気，固・液混相の管内輸送，化学工学，37，7，649～675（1973-7）

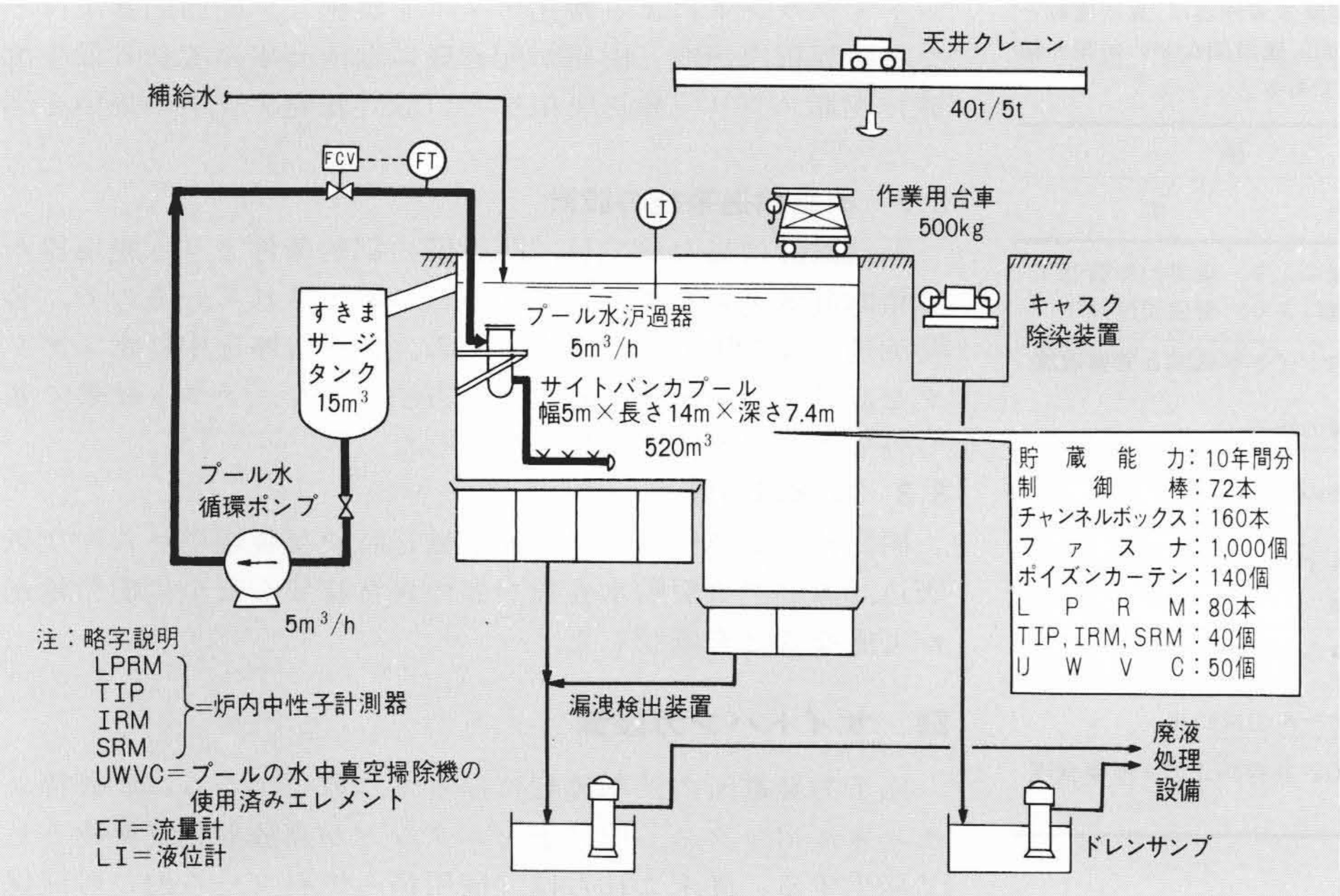


図5 サイトバンカ設備全体構成
10年分の廃棄物水中貯蔵能力をもつプールを中心に、作業用台車、プール水浄化装置、天井クレーン、キャスク除染装置などで構成され、全体が鉄筋コンクリート建屋内に収納されている。