

中国語対比訳文  
日本語版

Japanese Version

## 不保証及び責任範囲

この報告は 進緑化工程公司（以下略称 進公司）執行或いは共同執行の業務であり、行政院原子能委員会核能研究所（以下略称核研所）により作ったものである。核研所、核研所のすべてのスタッフ、進公司、すべての提携先、或いはすべての関係者らは下記のようなことに関して保証をしない：

- 一、 いかなる明確或いは暗黙の保証と陳述、いかなる資料、設備機器、方法、過程、或いは報告書の中の類似していること、販売可能性及び適用性を含む。個人の持つ権利を侵害しない或いは妨害しないこと、いかなる方面の知的所有権を含む。この報告書はいかなる使用者の状況に適用する。
- 二、 いかなるこの報告書、すべての資料、設備機器、方法、過程或いは報告書の中の類似しているものから起きた損害の責任或いは他の責任（いかなる間接的な損害を含み、核研所、他の核研所の代表らはこの損害の可能性が知らせたことも含む）を負う。

## 有効微生物複合発酵法を用いる放射性廃棄物処理実験

黄芬遠 洪鷺華 連清宏 郭明朝 林立夫  
林恒徳 蕭耀宗 湯樹才  
高嶋康豪 富田広信 井村忠義

### 摘 要

近年、生物化学技術は企業廃水後期処理に広く使われ、しかも処理された廃水は排水基準をクリアできる。今年の初め頃、進緑化工程会社が来所した時に、日本の高嶋情報工学総合研究所が成熟した微生物複合発酵特殊技術を持っていると紹介した。この技術は日本の企業廃水処理に応用され、成功していると言う。本所に放射性廃棄物の処理実験に協力してほしいとの要望があった。過去、本所と清華大学と共同で微生物により放射性物質の濃縮分離実験をしたことがあると言うことで、もし濃縮効果のより良い微生物を見つけたら、環境実験区域から発生した所内に貯蔵している大量の汚染された汚泥の処理には役に立つだろう。双方は今年の3月に共同開発契約を結び、この会社を通して、日本の高嶋情報工学総合研究所の微生物技術を導入し、本所で放射性廃液処理実験測定を行った。高嶋研究所の持つ微生物技術を利用する実験を通じて、放射活性度降下能力あること及び核を吸収濃縮分離する効果を期待する。

高嶋所長は実験プラントの中の発酵は発酵、発酵合成(fermentation synthesis)、合成融合(synthetically fused)と言う三つの部分を含み、所謂好気性微生物と嫌気性微生物の複合発酵であると述べた。複合発酵の中で、乳酸菌、酵母類と言った好気性発酵微生物はアミノ酸、糖類、ビタミン、ミネラルなど所謂微生物にとって必要な生理活性物質を造り出し、大腸菌、糸状菌、及び雑菌類などの好気性有害菌を浄菌、抑制する。そして、乳酸菌と酵母が通性嫌気性乳酸菌と変身し、抗菌性物質を発生させ、細菌、病原菌、ウイルス、リケッチャーなどの嫌気性有害菌を浄菌する。上述した二つの浄菌作用が連動すると、窒素固定菌と根瘤菌が働きだす。発酵微生物と合成型微生物の窒素固定菌、根瘤菌との強力連動によって、複合発酵が発生する、そして、微生物融合と酵素

結合結晶を生じる。装置の中で乳酸菌、酵母、放線菌、酪酸菌、根瘤菌のような好気性、嫌気性微生物を含まれている。第一発酵槽には食品工業研究所による分離特定した結果、(1) 好気、嫌気どちらでも成長し、グラム氏染色は陽性の桿菌、(2) 好気で成長、嫌気で不成長、触媒反応、酸化反応両方とも陽性、グラム氏染色は陰性の桿菌、(3) 好気で成長、嫌気で不成長、触媒反応は陰性、酸化反応は陽性、グラム氏染色は陰性の桿菌が見つかった。

この実験施設は本所廃棄物処理場で作られた透明の部屋に置かれた。本所から提供した比活性度  $155\text{Bq/ml}$  の  $\text{Cs-137}$  低放射性廃液  $4500\text{kg}$  を、日本の技術者と本所の技術者のチームワークによって、二段階に分けて、テストをする。第一段階：低放射能廃液を連続投入し、処理後の廃水を一時的に室内の廃水貯留槽に貯めておく。第二段階：廃液の投入を停止し、実験設備の中の廃水を内部循環させる。第一段階のテストは4月10日から5月21日まで、毎日の廃水の注入量は平均  $100\text{Kg}$ 、空気でも不連続的に攪拌をしていた。と同時に、SS、DO、固形物質の沈下スピード、色、臭い及び泡などの状態により、栄養液を不定期的に投入し、微生物の活動を維持していた。この段階の実験の結果は廃液中の  $\text{Cs-137}$  の比活性度は投入時の  $736.2545\text{MBq}$  から  $627.543\text{MBq}$  まで低下した。減少率は  $14.22\%$  であった。第二段階のテストは6月15日から10月8日まで、実験は廃水内部循環方式と第一系統の操作方式が違うだけに、その他の操作は第一段階の操作と同じである。この段階の測定結果は廃液の  $\text{Cs-137}$  比活性度は投入時の  $627.435\text{MBq}$  から  $330.6962\text{MBq}$  まで低下した。減少率は  $35.62\%$  であり、毎週平均減少  $2.3\%$  になる。放射性廃液は二段階合計 160 日をかかった複合発酵処理によって、廃液  $\text{Cs-137}$  の比活性度の減少率は  $49.84\%$  になり、毎週平均  $2.2\%$  が減少した。上述した結果は初段階のものに過ぎないし、データの代表性をまた厳密の方式で数回の実験を通し、再確認する必要があるのではないかと思う。廃液濃度の減少のメカニズムについては、また研究する必要がある。実験中に沈殿した汚泥に吸収された  $\text{Cs-137}$  を分析した結果、吸収された比活性度の変化は  $728.7\text{Bq/g} \sim 6390.9\text{Bq/g}$  であり、固形物、液

の活性度比は 55.63~173.5 である。研究によると、*R.erythroplis* 菌は Cs-137 廃水に対する 72 時間におけるもとも良い吸収率は 76.44% であり、世界各国の文献を参照すると、実験条件は違うが、最良吸収率は類似している。

# 目 録

	頁 次
摘要	i
目録	iv
図目録	vi
表目録	vii
1・序文	1-1
2・微生物複合発酵技術	2-1
2.1. 微生物複合発酵技術概略	2-1
2.2. 設備中の廃液の比活性度変化モデル	2-3
3・実験手順及び装置	3-1
3.1. 実験装置の配置	3-1
3.2. 実験処理手順の概略	3-1
3.3. 実験施設	3-2
4・サンプリングと分析	4-1
4.1. 第一段階のサンプリングと分析	4-1
4.2. 第二段階のサンプリングと分析	4-1
4.3. 分析方法の研究	4-1
5・験操作手順	5-1
5.1. 第一段階における連続方式の試材の出し入れ手順	5-1
5.2. 第二段階密封循環実験操作手順	5-3
6・実験結果と分析	6-1
6.1. 第一段階の実験結果と分析	6-1
6.1.1. 実験施設中廃水の $C_s - 137$ 比活性度の変化	6-1
6.1.2. 実験用廃水に入っている $C_s - 137$ 総活性度の変化	6-1
6.1.3. 実験結果としての進出料(試材の出し入れ)変化値の計算	6-2

6.1.4.	進料槽と排出槽の核活性度及びイオン濃度の変化	6-3
6.1.5.	実験施設中の廃水の溶存酸素量及び固形物含量の変化	6-5
6.2.	第二段階の実験結果及び議論	6-5
6.2.1.	実験施設における廃水のC s-137の比活性度変化	6-5
6.2.2.	実験系統廃水C s-137の総活性度変化	6-6
6.2.3.	実験結果に関する進出料差異計算	6-9
6.2.4.	実験施設の廃水溶存酸素含有量及び固形物含有量の変化	6-11
6.3.	第一、第二段階実験結果の比較及び分析	6-12
6.4.	固形物含有量比活性度研究	6-13
6.5.	微生物種類の鑑定結果	6-13
7.	結論と提案	7-1
	感謝	A-1
	付図	B-1
	府表	C-1
	付属文書一：バイオ液の調合手順	D-1
	付属文書二：廃水槽の調合手順	D-2
	付属文書三：系統の各混合槽及び曝気槽の菌床の育成手順	D-3

## 目 録

	頁 次
図 1. 有効微生物処理による放射性廃液の暫定計算表	B-1
図 2. 実験施設の位置及び設備の寸法図	B-2
図 3. システムフロー図	B-3
図 4. 第一段階実験フロー図	B-4
図 5. 第二段階実験フロー図	B-5
図 6. 第一段階実験における各槽の Cs-137 比活性度の時間変化図	B-6
図 7. 第一段階実験における上澄水進出活性度差異パーセンテージ変化図	B-7
図 8. 第一段階実験における進出料の各槽の活性度変化図	B8, B-9
図 9. 廃液中のイオン濃度実験結果	B-10～B-13
図 10. 第二段階実験における中継槽の Cs-137 比活性度変化曲線図	B-14
図 11. 第二段階ステージ 1 における第一槽の SV と MLSS との相関図	B-15
図 12. 第二段階ステージ 1 における第一槽の DO と MLSS との相関図	B-16
図 13. 第二段階ステージ 1 における第一槽の SV と DO との相関図	B-17
図 14. 第二段階ステージ 2 における第一槽の SV と MLSS との相関図	B-18
図 15. 第二段階ステージ 2 における第一槽の DO と MLSS との相関図	B-19
図 16. 第二段階ステージ 2 における第一槽の SV と DO との相関図	B-20
図 17. 第二段階ステージ 3 における第一槽の SV と MLSS との相関図	B-21
図 18. 第二段階ステージ 3 における第一槽の DO と MLSS との相関図	B-22
図 19. 第二段階ステージ 3 における第一槽の SV と DO との相関図	B-23
図 20. 第二段階ステージ 3 における第一槽の SV と MLSS との相関図	B-24



## 表 目 録

## 頁 次

表 1. 実験現象変化と操作及び調整原則	C-1
表 2. 設備の数量及び規格表	C-2
表 3. 実験サンプルの分析項目、サンプリングした頻度及び数量	C-3
表 4. 第一段階実験における上澄水の Cs-137 比活性度分析データ表	C-4
表 5. 第一段階実験におけるイオン濃度分析データ表	C-5
表 6. 5月21日第一段階実験終了後の体積及びCs-137 総活性度計算表	C-9
表 7. 第一段階実験における廃水進出料量およびCs-137 総活性度計算値表	C-10
表 8. 第一段階実験における上澄水 Cs-137 進出活性度平均計算表	C-11
表 9. 第二段階実験における混合液の Cs-137 比活性度分析データ表	C-12
表 10. 第二段階実験における系統の容積及びCs-137 総活性度の測定値計算表	C-13
表 11. 10月12日処理系統の総容積及びCs-137 総活性度の変化と計算値表	C-14
表 12. 第二段階実験における混合液の進出総活性度変化率のデータ表	C-15
表 13. 洗浄液の Cs-137 総活性度遺失量の計算表	C-16
表 14. サンプリングの Cs-137 総活性度遺失量野計算表	C-17
表 15. 曝気の Cs-137 総活性度計算表	C-17
表 16. 槽壁付着 Cs-137 総活性度遺失量計算表	C-18
表 17. 第一段階実験における Cs-137 総活性度進出平衡計算表	C-19
表 18. 第二段階実験における Cs-137 活性度進出平衡計算表	C-20
表 19. 固液活性度測定表	C-21

## 1. 序文

核能研究所化学班は85年から89年まで、環境実験区のCs-137汚染土壌を浄化する研究をしていた。熱処理法、電解法、化学清洗法及び生物法（植物と微生物法も含む）などの処理法を検討した。中の化学清洗法はCs-137に対して、行政院原子能委員会管理局の86年6月28日に公表された「放射性の持つ固形廃棄物及び金属廃棄物に対する行政管理規範」の基準300Bq/kg以下まで浄化できる、が、処理コストが高い。生物法に関しては、以前本所は清華大学原子能科学センターの周鳳英教授に依頼して、特選菌種で吸収実験をしてもらい、Cs-137に対する最良吸収率は76.44%に至った。本所は環境実験区に大量の汚染土壌が発生することを考量して、生物処理は経済的かつ有効な方法の一つだと思う。

ちょうどこの時期に進緑化工程公司（以下略称 進公司）が日本高嶋情報工学総合研究所（以下略称高嶋所）で開発された微生物水処理技術を紹介した。本所と高嶋康豪所長と打ち合わせをし、微生物複合発酵技術は日本において既に有機、無機化学薬品、染色業、動物植物油脂、漬物工場の高濃度塩分等の分解消失に成功し、且つ実績を持っていることが分かった。現在、PCBの分解施設を造っている。新技術開発及び本所の環境実験区で発生した汚染土壌を処理する可能性の研究に基づき、2001年3月15日に進公司与契約し、高嶋所が開発した微生物複合発酵工法（Effective Micro-organisms Brewing Cycle、以下略称 EMBC）で本所低放射性廃液を処理する実験を共同で行う。高嶋所が設備と技術を提供し、本所が場所と分析装置を提供、そして実験の手助けをする。契約後、本所直ちに実験場の整理と施設造りなどの作業を行なった。全実験テスト作業は二段階に分けられる、第一段階：低放射能廃液を連続投入し、処理後の廃水を一時的に室内の廃水貯留槽に貯めておく。第二段階：廃液の投入を停止し、実験設備の中の廃水を内部循環させる。第一段階また二期に分けられた、第一期は90年3月31日から4月9日までの間で準備作業を行ない、10日間で主に菌を培養した。第二期は90年4月10日から5月21日までの期間においてEMBC技術で実験運転していた。42日間を費やした。第二段階の実験は90年6月15日から10月8日まで、118日間で実験をしていた。実験後2001

年 10 月 8 日から 10 月 12 日までの 4 日間で施設内の廃液の放射性比活性度を計量した。二段階の実験時間を合わせて 164 日間を及んだ。本報告書は微生物複合発酵工法技術、実験手順、処理施設、サンプリング、分析、作業手順等を紹介すると同時に、二段階の実験結果についても分析と議論を行なう。

## 2. 微生物複合発酵技術

### 2.1 微生物複合発酵技術概略

本実験で用いられている微生物技術は日本高嶋所のノーハウである。高嶋所長は廃水処理実験槽の中で好気性微生物と嫌気性微生物によって複合発酵が起こっていると述べた。実験施設の中の発酵は発酵、発酵合成、合成融合 (synthetically fused) と言う三つの発酵作用を含む。複合発酵の中で、好気性発酵微生物 (乳酸菌、酵母菌類) をまず働かせる。これらの微生物はアミノ酸、糖類、ビタミン、ミネラルなど所謂微生物にとって必要な生理活性物質を造り出し、大腸菌、糸状菌、及び雑菌類などの好気性有害菌を浄菌、抑制する。そして、乳酸菌と酵母が通性嫌気性乳酸菌と変身し、抗菌性物質を発生させ、細菌、病原菌、ウイルス、リケッチャー (rickettisia virus) などの嫌気性有害菌を浄菌する。上述した二つの浄菌作用が連動すると、窒素固定菌 (azotobacter) と根瘤菌が働きだす。発酵微生物と合成型微生物の窒素固定菌、根瘤菌との強力連動によって、複合発酵が発生する、そして、微生物融合と酵素結合結晶を生じ、廃水処理を行なう。

状況によって、系統中に栄養剤を入れる。例えば、糖蜜、鶏糞、豆腐渣、Enzyme-X (柿の葉などの植物類放射性物質吸収剤)、Enzyme-Y (動物類放射性物質吸収剤)、Enzyme-Z (SiO<sub>2</sub> 等の鉱物類放射性物質吸収剤)、EMBC バイオ液などを入れ、微生物をバイオする。間断的に曝気をし、微生物の生存、成長を保つ。好気性微生物は乳酸菌、酵母等を含み、嫌気性微生物は放線菌、酪酸菌、根瘤菌等を含むと高嶋康豪博士が言う。微生物は生物反応槽の中で誘導され、発酵期、増殖期、呼吸期、分解期及び合成期を経て、放射性廃水に作用する。

実験施設の操作は曝気強度、曝気時間、バイオ液加入量、廃水循環量などの調整である。放射性濃度の変化は勿論、混合液中の固形浮遊物 (Mixed Liquor Suspended Solid, 略 MLSS)、溶存酸素 (Dissolved Oxygen, 略 DO)、

沈殿速度、色具合、臭い、泡なども考慮に入れ、微生物の最良状態を維持する。操作及び調整原則は表 1 を参照。

## 2.2 設備中の廃液の比活性度変化モデル

微生物で放射性廃液を処理する過程の中で、各槽の廃液比活性度変化は、比活性度平衡性質により、進、出試材の総活性度差異の変化率で表す、数学符号で表示すると：

### 式 1

廃液中の任意一種核は設備の各ユニット（図 1 のように設備番号は 1～28）における比活性度変化、下記の数式で表す

### 式 2

式中の符号の意味は：

$y'$ ：各設備廃液比活性度、 $Bq/kg$

$y$ ：比活性度の時間に対する一次微分

$V$ ：各槽容積、 $L$

$\alpha$ ：体積流量率、 $L/時間$

$\alpha_r$ ：体積回流率、 $L/時間$

$V_{buffer}$ ：体積増加量、 $L$



### 3. 実験手順及び装置

#### 3. 1 実験装置の配置

複合発酵実験処理装置は本所化工組廃棄物処理場015F館と060館の間に設置され、位置とサイズは図2を参照。実験のために造られたスチールフレーム透明ハウスは長さ24メートル、幅7.8メートル、前後壁の高さ3.8メートルと3.5メートルである。放射性廃液が漏れて、地面を汚染し、汚染が拡散することを防ぐためにセメント地面に樹脂を敷き、地面の周囲に堤を造った。堤の幅x高さは7cm x 10cmである。そして室内排気扇と空気濾過装置（移動式HEPAシステム、抽出馬力は2HP）を取り付けた。実験設備の内外環境の空気を随時測定し、輻射防止にたいして、安全を確保した。

#### 3. 2 実験処理手順の概略

実験処理手順は試材を入れる前の準備と正式に試材を注入する二部分に成る。

##### (一) 試材を入れる前の準備部分：

- (1) バイオ液の調合と本土菌種を導入（添付書類一参照）：  
40度の温水に糖蜜、増殖液、鶏糞、豆腐渣などを入れ、上下攪拌をし、目的は本土の微生物をバイオする。完成後、各混合槽と曝気槽の添加物として置いておく。
- (2) 原水液の調合及び放射性廃液の対抗菌をバイオする（添付書類二参照）：廃水に糖蜜、バイオ液、Enzyme-X、トマトの葉、枇杷葉など、最後に空気攪拌で完成する。
- (3) 各混合槽と曝気槽の複合微生物菌床の育成（添付書類三参照）：  
菌床MLSS育成手順は混合槽と曝気槽少なくとも空気攪拌を4時間停止し、そして各槽から適量の上層水を抽出し、等量の水道水を入れ、MLSSの濃度によって、適量のバイオ液を入れる、最後また



空気攪拌する。上述の手順でMLSS濃度が設定値に到達するまで繰り返す。すべて完了後、次に本番の廃液処理に移す。

- (二) 実験処理の試材投入は、ステージ1 (第一系統)、ステージ2 (第二系統)、ステージ3 (第三系統) に分けられる、処理手順は図3を参照、図の中に廃水を三つのステージで処理していることを表している。第一段階においては試材の進出は連続方式で、廃水流量を100Lで実験をする。ステージ1では試材の出し入れは連続方式を取り、ステージ2では試材の進出は段階的な連続方式を取り、ステージ3では試材の出し入れは連続方式を取る。処理後の廃水は貯めておく。第二段階は孤立循環をさせ、毎日一回焼く140Lの廃水を加入する。ステージ1とステージ2の試材進出は段階的な連続方式を取り、ステージ3の試材進出は連続方式を取る、処理後の廃水をステージ1に戻す。詳細的な操作手順や操作条件の説明は第5節の操作手順と第一段階の実験配管流れ図(図4)及び第二段階実験配管流れ図(図5)を参照せよ。

### 3.3 実験施設

実験システムの各設備の状況は第一、二段階の配管流れ図—図4、図5で表している。表2は規格及び数量を表示している。各系統の主な設備を以下のように説明する：

1. ステージ1は5個容積1000Lの混合槽及び1000Lの沈殿槽を含む。
2. ステージ2は5個ステージ1と同じような混合槽と500Lの圧力槽を含む。
3. ステージ3は4個容積500Lの曝気槽、1000Lの沈殿槽、1000Lのバイオ触媒槽、500LのSILICA触媒槽、2個活性炭触媒槽、麦飯石触媒槽、濾過器1式を含む。

## 4. サンプリングと分析

### 4.1 第一段階のサンプリングと分析

本組と日本側の技術者との討論した結果、本段階において分析項目は

#### 1. 放射性部分：

- (1)  $\gamma$ 類放射活性度：Cs-134、Cs-137 など
- (2)  $\beta$ 類放射活性度：Sr-89、Sr-90、H-3 など
- (3) Gross  $\alpha$  / Gross  $\beta$  分析

#### 2. 非放射性部分：

- (1) プラスイオン： $\text{Ca}^{+2}$ 、 $\text{Na}^{+1}$  など
- (2) マイナスイオン： $\text{SO}_4^{-2}$ 、 $\text{NO}_3^{-1}$ 、 $\text{Cl}^{-1}$  など
- (3) ABS 濃度
- (4) TS (Total Solid)

双方はサンプリング位置と頻度を決定して、測定人員操作と調整の参考にし、測定結果を計算した。サンプル分析項目、サンプリング頻度及び数量は図3を参照。第一段階において、398個実験サンプルを採った。

#### 3. 菌種の特定

16SrDNA 部分序列 (約 500bp) 定序対比、生理生化テスト及び脂肪酸成分の特定を利用し、放射性廃液を微生物で処理する本複合発酵三種類の主な菌種を分析する。

### 4.2 第二段階のサンプリングと分析

本段階のサンプリング位置、頻度及び分析項目は第一段階の分析とほぼ同じであり、ただ $\gamma$ 類放射活性度の分析はCs-137分析に絞った。最後の放射性活性度を測定する時に、本組が1メートル四方、約1.5トン容積の測定槽を造って、毎回の容積を測定し、攪拌後サンプルを採る。本段階では948個の廃水サンプルを取り、両段階が合わせてサンプリング数は合計1346個であった。

### 4.3 分析方法の研究

## 1. サンプル分析用の分析器具

- (1) Cs-134、Cs-137 などの  $\gamma$  活性度の分析：メーカーは CANBERRA、センサーは GC4020/7500SL-S を使用、ソフトは Genie-2000 を使用した。
- (2) Gross  $\alpha$ 、Gross  $\beta$  の分析：INTERTECHNIQUE Nu20 を用いた。
- (3) Sr-89、Sr-90、H-3 などの  $\beta$  活性度：液体点滅計数器 (LSA) は CANBERRA CA-2250
- (4)  $\text{SO}_4^{-2}$ 、 $\text{NO}_3^{-1}$ 、 $\text{Cl}^{-1}$  などのマイナスイオン濃度の分析：イオン分析器 (IC) は DIONEX DX-500。
- (5)  $\text{Ca}^{+2}$ 、 $\text{Na}^{+1}$  などのプラスイオン分析：感応カップリング式原子発光スペクトル測定器 (ICP) JOBINYVON JY-38S。
- (6) ABS 濃度分析：紫外線スペクトル測定器 (UV)、SHIMADZU UV-240。
- (7) MLSS 測定：(株) 科学、MLSS 測定計、ML-52
- (8) DO 測定：電気化学計器 (株)、DO 測定計、HDO-110。

以上の各測定器の測定限度 (Detection Limit) はサンプルの容積、濃度及び測定時間によって自動的に修正される。

## 2. $\gamma$ 活性度の分析方法：

- (1) 空白測定 (Blank Test)：サンプル用の容器と同じな 100ml プラスチック瓶に蒸留水を入れ、測定する。(毎回サンプリングの時に行なう)
- (2) 効率曲線の矯正：サンプル用の容器と同じな 100ml プラスチック瓶 (一定の形、距離、材質の物を取る) Eu-152 標準溶液を入れ、各スペクトルのエネルギー効率曲線を矯正する。(本所放射性化学分析規範により、毎年一回矯正する)
- (3) 定量分析：まず、前述された方式で標準曲線を作る。サンプルの活性度を同一スペクトルエネルギーの効率曲線の値で割れば、サンプルの活性度が得られる。

## 4. 微生物菌種の特定分析

微生物菌種は本開発技術の鍵を握っている、菌種特定する前、放射

能が測定器を汚染するのを防止するため、清華大学の原子科学院の周鳳英教授に依頼して、菌種の前期バイオと分離をしてもらった、分離後菌体数多い三種類の菌を選択し、食品工業発展研究所に特定しに行った。先方の研究所は約3か月を費やした

- (1) 平面の菌落を分離純化する。分離純化後、3株の分離株を得た。
- (2) 16SrDNA 部分序列 (約 500bp) 定序対比で特定する、と同時に、生理生化テスト及び脂肪酸成分の分析も利用する。

## 5. 実験操作手順

### 5.1 第一段階における連続方式の試材の出し入れ手順（第一段階の実験配管流れ図を参照せよ）

操作期間：42日間（2001年4月10日～5月21日）

参加者：高嶋所2人；核能研究所2人。

ステージ1の操作手順：

1. 毎日廃水槽から100Lの廃液を受入槽に注入し、そして1kgのEMBC-Xを入れ、連続的に中レベルで空気攪拌をする。
2. 定量ポンプで受入槽から、4.2L/時間のスピードで混合槽1に注入する、それから上澄みを流し、混合槽2～5及び沈殿槽1に流入させる。
3. 沈殿槽1の底に降下した放射能発酵菌の量によって、不定時的にポンプで、毎回10～15Lの沈殿物を混合槽1へ返送する。
4. 沈殿槽1から上澄みを中継槽1に流す。

ステージ2の操作手順：

1. 混合槽6～10を、段階的に空気攪拌する、加圧槽においては、連続24時間で加圧と攪拌する。圧力を約2大気圧にする。
2. 混合槽6～10の空気攪拌は、AM3:00～AM9:00開、AM9:00～PM15:00閉、PM15:00～PM21:00開、PM21:00～AM3:00閉。
3. 毎日の15:00ごろに、それぞれ加圧槽と混合槽6～10から上澄み100Lを抽出する。
  - (1) 最初に加圧槽からの100Lを中継槽2に注入。
  - (2) 次に混合槽10の上澄み100Lを加圧槽に注入し、1kgのEMBC-Yを入れた後、攪拌開始させると同時に、2Kg/cm<sup>2</sup>まで圧力をかける。温度を38℃に保たせ、混合槽10から上澄みを抽出後、空気攪拌を開始する。
  - (3) 混合槽9から約100Lの上澄みを混合槽10に注入した

後、混合槽 9 の空気攪拌を開始する。

- (4) 混合槽 8 の上澄みを混合槽 9 に注入、混合槽 7 の上澄みを混合槽 8 に注入、混合槽 6 の上澄みを混合槽 7 に注入。
- (5) 第一系統の中継槽 1 に少量の EMBC-Z 及び EMBC バイオ液を入れた後、100L の液を出し、混合槽 6 に注入。

ステージ 3 の操作手順：

1. 定量ポンプで第二系統の中継槽 2 から、4.2L/時間のスピードで曝気槽 1 に注入する、それから上澄みを流し、曝気槽 2～4 及び沈殿槽 2 に流入させる。
2. 沈殿槽 2 の底に降下した放射能発酵菌の量によって、不定時的にポンプで、毎回 10～15L の沈殿物を曝気槽 1 へ返送する。
3. 沈殿槽 2 の上澄みをバイオ触媒槽に流し、バイオ触媒槽の上澄みを中継槽 3 に流す。
4. 定量ポンプで中継槽 3 から、4.2L/時間のスピードで SILICA 触媒槽に注入する、そして、活性炭触媒槽、麦飯石触媒槽、及び中継槽 4 に流して行く。定量ポンプで中継槽 4 から、4.2L/時間のスピードで精密濾過器に注入処理後、処理水槽に流す。

5. 2 第二段階密封循環実験操作手順（第二段階の実験配管流れ図を参照せよ）

操作期間：155日（2001年6月15日～10月8日）。

参加者：高嶋所1～2人、進緑化工程公司1人、核能研究所1人。

ステージ1の操作手順：

1. 6月15日から6月20日まで、毎日1500Lの処理水槽から500Lの処理水を増設された1000Lの長方形受入槽に注入する。
2. 定量ポンプで受入槽から、12.6L/時間（毎日約300L処理水）のスピードで混合槽1に注入し、そして上澄みを混合槽2～5及び沈殿槽1に流す。（6月14日に140Lの原水水槽の汚泥を混合槽1に加入したところ、第一段階の発酵系統の混合槽1と混合槽2の上澄み用の配管がよく詰まるようになり、上澄みが流れなくなった、高圧空気管を使って、Air Purge方式でスラリを推進しようとしたものの、やむを得ず、6月21日に、第一段階の仕組みを第二段階の発酵合成系統と同じようにした）。
3. 沈殿槽1の底に降下した放射能発酵菌の量によって、不定時的にポンプで、毎回10～15Lの沈殿物を混合槽1へ返送する。
4. 沈殿槽1から上澄みを中継槽1に流す。

ステージ1とステージ2の合併操作手順（6月21日から、合併方式を取った）：

1. 混合槽1～10を、段階的に空気攪拌する、加圧槽においては、連続24時間で加圧と攪拌する。温度を38℃に保たせ、圧力を約2大気圧にする。
2. 混合槽1～10の空気攪拌はAM10:00～PM17:00閉、PM17:00～AM10:00開（タイマーで）
3. 毎日15:00ごろに、両系統の空気攪拌用のタイマーを消した後、加圧槽、混合槽1～10、中継槽1の上澄みを1回（約100～180L）抽出する、以下のように操作する：

- (1) 最初、加圧槽から一回（100～180L）の上澄みを中継槽 2 に注入。
- (2) 次に混合槽 10 の上澄み 100～180 L を加圧槽に注入し、少量の EMBC-Y を入れた後、十分に攪拌をして、 $2\text{Kg}/\text{cm}^2$ まで圧力をかける。
- (3) 混合槽 9 から、ポンプで 1 回約 100～180L の上澄みを混合槽 10 に注入。
- (4) 混合槽 8 の上澄みを混合槽 9 に注入、混合槽 7 の上澄みを混合槽 8 に注入、混合槽 6 の上澄みを混合槽 7 に注入。
- (5) STAGE 1 の中継槽 1 から、ポンプで 1 回約 100～180L の液を混合槽 6 に注入。
- (6) 混合槽 5 から、ポンプで 1 回約 100～180L の上澄みを 臨時増設中継槽（約 200L）に注入、そして定量ポンプで中継槽から、1 時間約 7.5L の廃水を沈殿槽 1 に注入、最後に、沈殿槽 1 の上澄みを中継槽 1 に流す。
- (7) 混合槽 4 から、ポンプで 1 回約 100～180L の上澄みを混合槽 5 に注入。
- (8) 混合槽 3 の上澄みを混合槽 4 に注入、混合槽 2 の上澄みを混合槽 3 に注入、混合槽 1 の上澄みを混合槽 2 に注入。
- (9) 7 月 4 日以後、定量ポンプで中継槽 3 から、1 時間 4.2～7.5L の廃水を混合槽 1 に注入。
- (10) 7 月 16 日以後には、処理水槽 S12 の約 3000L の処理水から、ポンプで 100～180L の液を混合槽 1 に入れることに切り替える。
- (11) 空気攪拌タイマー作動させる。
- (12) 微生物が含有している各槽の微生物の状態（例え



ば：MLSS、DO、SV、色、におい、泡及び上水の透明度などの状態) に応じて、バイオ液と酵素を適量に加入し、と同時に、空気攪拌の強弱、処理水循環量及び曝気の時間段などの操作条件を調整する。

ステージ3 の操作手順：

1. 定量ポンプで STAGE2 の中継槽 2 から、1 時間 4.2~7.5L のスピードで曝気槽 1 に注入する、それから上澄みを流し、曝気槽 2~4 及び沈殿槽 2 に流入させる。
2. 沈殿槽 2 の底に降下した発酵菌の量によって、不定時的にポンプで、毎回 10~15L の沈殿物を曝気槽 1 へ返送する。
3. 沈殿槽 2 の上澄みをバイオ触媒槽に流し、バイオ触媒槽の上澄みを中継槽 3 に流す。
4. 7 月 4 日以後、定量ポンプで中継槽 3 から、4.2~7.5L/時間の廃水を直接混合槽 1 に注入；中継槽 3 上澄み水の比活性度は 0.8Bq/cc に達したので、もし放射性廃液を SILICA 触媒槽に注入し、そして、活性炭触媒槽、麦飯石触媒槽などでまた濾過して行くと、触媒槽に吸収される総活性度は計算し難くなる。
5. 7 月 16 日以後には、やり方を変え、中継槽 3 から、定量ポンプで 1 時間 4.2~7.5L の量を精密濾過機に注入し、処理後、処理槽 (S12) に流す、それからポンプで 1 回約 100~180L の液体を第一段系統の混合槽 1 に流し、そして第二段と第三段につなげる、第二段階の実験を密封循環実験系統にする。

## 6. 実験結果と分析

### 6. 1 第一段階の実験結果と分析

#### 6. 1. 1 実験施設中廃水の Cs-137 比活性度の変化

第一段階実験の上澄み液の比活性度分析及びイオン濃度分析のデータはそれぞれ表 4 と表 5 で示している；上澄み液の比活性度の変化は図 6 で示している、図の中では、系統中各槽の廃水は連続試材を入れるため、各槽の廃水活性度は時間とともに増加していることを表している。試材を入れた槽の活性度は 150～160Bq/ml の間に保たれている。しかし 30 日後、サンプルが多少汚泥固形物を含むため、廃液進料処の活性度の測定値が少々不安定の変化が現れた。混合槽 1 においては 1 日目から活性度が持続的に増え、13 日目 (4/23 日) と 32 日目 (5/12 日) に活性度が減った現象が見られた。活性度は持続増えるはずと言うことで、検討した結果、一回目は進料系統が詰まって、進料の量が減少したことが原因だろうと。二回目の原因はまた不明である。この図は、第一段階実験が終わって、第二及び第三系統施設の中の廃水は放射性活性度の測定値がまた出てないことも示している。この段階においては、微生物はまたバイオ中であり、数が少ないので、サンプリングをする時に微生物を取られ、微生物が影響を受けることを回避するため、サンプリングは各槽の上澄み液しか取らないことにした。従って、比活性度の測定値は菌床吸着分が含まれていない。結論としては、図 6 のデータの変化は実際の処理状況を反映することができないだろう。この時点では、図 7 の中の連続式微生物処理模擬活性度変化と実際に測定したデータと比べると、実際のデータの方が低いことが分かる。従って、第二段階において、微生物処理効果を試すときに、すべての槽に入っている混合液の比活性度を測定すべきだと実感した。

#### 6. 1. 2 実験用廃水に入っている Cs-137 総活性度の変化

5 月 21 日に、実験が終わった後、測定或いは計算した容積と総活性度のデータは、表 4 で表している。

系統総活性度 = (各槽廃水体積 × 各槽比活性度) の合計  
活性度進出平衡に基づく計算したデータは図 6 で示している。その

中、

進料総活性度 = (毎日廃水進料量 x 廃水比活性度) の合計

進出料総活性度の変化 = 進料総活性度 - 出料総活性度

進出料変化率 = 進出料総活性度の変化 / 進料総活性度 x 100%

4/10日～5/15日の期間においては、稼働はまた間もないとのことで、系統内の廃水活性度の流れはステージ1からステージ2、ステージ3に流れていくことサンプル分析のことなどを考量して、毎日の大半のサンプリングはステージ1混合槽1～3の上澄みを取り、5/21日(第一段階実験の終わる日)と6/15日(第二段階実験開始)にトータル的にサンプリングした。この段階においては、各槽から大抵上澄み取っていたので、表7には総活性度計算値は不規則的な変化が現れている、表8の上澄み液の進出活性度変化率も不規則的な変動が見られる。

第一段階実験は5/21日に終わったとき、廃水進料総活性度は698.5945MBqであり、処理系統の総活性度は572.837MBqであった。第二段階実験6/15日開始する前に、進水槽から140Lの底汚泥(比活性度は269Bq/cc)を抽出し、第一系統攪拌槽に入れ、進料総活性度を736.2545MBqになった。サンプルを分析、計算した結果、処理系統の総活性度は627.435MBqである。表7を参照。汚泥を入れる前後の進料と処理系統の総活性度変化値を比較すると、進料総活性度の増加値は37.66MBqであり、処理系統の総活性度増加値は54.598MBqであった。両者間の差は16.938MBqである。結果としては、比活性度の高い汚泥を希釈後、総活性度の測定値は増加になった。希釈後の総活性度は減少するではないかとの疑問を解けた。

#### 6.1.3 実験結果としての進出料(試料の出し入れ)変化値の計算

第一段階の実験結果の評価計算は、6/15日に廃水槽へ入れた最後の140L沈殿汚泥のデータですべきである。廃水進料総量は4379.9L、廃水進料総活性度は736.2545MBq、処理系統の総活性度は627.435MBq、サンプルの総活性度は4.1013MBqである。上述した活性度の平衡公式により：

進出料総活性度変化 = 進料総活性度 - (設備内総活性度 + 洗

$$\begin{aligned}
& \text{剤総活性度} + \text{サンプル総活性度} + \text{曝気} \\
& \text{ガス総活性度} + \text{桶壁付着総活性度} + \text{配} \\
& \text{管付着総活性度} \\
& = 736.2545 \text{ MBq} - (627.435 \text{ MBq} + 4.1013 \\
& \quad \text{MBq}) \\
& = 104.7182 \text{ MBq}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{進出変化率} &= 104.7182 \text{ MBq} / 736.2545 \text{ MBq} \times 100\% \\
&= 14.22\%
\end{aligned}$$

表 8 を参照。もし第一段階実験期間は平均 6 週で計算したら、毎週 2.3% の活性度が減少している、従って、処理実験は 50% の活性度減量を達成するために、約 22 週間の実験が必要になると推定できる。これは第二段階実験の根拠になり、同時に、差額パーセンテージは操作時間立つにつれ、増加すると分かった。

#### 6.1.4 進料槽と排出槽の核活性度及びイオン濃度の変化

第一段階実験分析結果の変化範囲は

##### (1) 進料槽：

Gross $\alpha$ :	0.006-0.008 Bq/mL
Gross $\beta$ :	100-200 Bq/mL
Sr-90 :	0-120 Bq/mL
H-3 :	10-15 Bq/mL
Na <sup>+1</sup> :	880-1000 ppm
Ca <sup>+2</sup> :	0-270 ppm
Cl <sup>-1</sup> :	200-300 ppm
NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> :	0-90 ppm
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> :	400-1500 ppm
TS :	0-13000 ppm

##### (2) 排出槽：

Gross $\alpha$ :	ND
Gross $\beta$ :	0-0.07 Bq/mL
Sr-90 :	ND
H-3 :	ND
Na <sup>+1</sup> :	0-9 ppm
Ca <sup>+2</sup> :	0-30 ppm

$\text{Cl}^{-1}$ :	0-6 ppm
$\text{NO}_3^{-1}$ :	0-2 ppm
$\text{SO}_4^{-2}$ :	0-40 ppm
TS:	ND

槽内に多種類の微生物が含まれる。微生物が有機体として、繁殖、成長と死亡と言う周期があり、核及びイオンに対してそれぞれの吸収 (uptake) と吸着 (adsorption) 能力を持っている。周期毎に、核とイオンに違う作用が見える。その他、栄養剤 (動物、植物、鉱物) もイオン濃度と核の活性度の変化を引き起こせる。濃度から考えると、ppm というレベルは微生物にとっては微量と言える。微生物と栄養剤の生物化学的な作用により、部分的に固体と液体の中のイオン濃度と核活性度における変化は予測ができる。可能な影響要素を以下のように分析する：

- (1) 微生物による吸収と吸着：微生物らは成長期において、廃液の中の核物質とイオンに対して、多少吸収と吸着という濃縮効果がある。前述した本所と清華大学との共同実験の例からいうと、最高 76% に達した。しかし、ある種の微生物が死亡すると、他の微生物に分解され、また核とイオンを溶液に放出する。
- (2) 栄養剤の吸着：文献によると、マイナス電気を帯び (O、S、N 官能基) 有機物は核物質とイオンを吸着する特性がある。もとの栄養剤にせよ微生物に分解された有機物にせよ核物質とイオンを吸着する可能性がある。
- (3) 栄養剤に含まれるイオン：栄養剤自身のなかに濃度が違うマイナスイオンが含まれ、微生物に分解されたあと、溶液に放出し、またも微生物と有機物に吸収及び吸着される。
- (4) 微生物の消化作用：例えば、硝化菌や多くの微生物は硝酸イオンに対して多少の吸収と消化作用があり、発生した窒素と窒化物ガスを体外に排出する。硫化菌は硫酸イオンを吸収と消化し、発生した硫黄と硫化物ガスを体外に放出する。
- (5) 微生物の成長と死亡：微生物自身が周期性に成長と死

亡という現象が表れる（約数日から数週）、微生物の数量が時間立つにつれ違ってくる。実験の過程、実験条件（通気量、通気時間など）および環境条件（気温など）の変動が微生物の成長と数量に影響する。また、栄養剤の加入によって、実験初期に微生物の数が増加する現象が表れた。

- (6) 通気の影響：通気量、通気時間の違いにより（微生物の成長状況に応じる）、前面で述べたように、微生物の成長と数量に影響する。また、通気量の大小はサンプルの固体／液体比にも影響が出る、同時に、イオン濃度と核の活性度の変化にも影響を及ぼす。もう一つ、投入した栄養剤（或いは微生物）は大抵進料槽の底に沈むことにより、ステージ1後期採ったサンプルのなかの固体／液体比は増加したはずであり、イオン濃度と核活性度の変化に影響を及ぼす。
- (7) 放流槽：放流槽のなかにおいては系統中の溢れた液体のみで、固形物はほとんどないため、受入槽の中のイオン濃度と核活性度変化の影響を受けるのみ。また、放流槽では曝気しないため、通気の影響を受けない。

とにかく、イオン濃度と核物質活性度の変化は上述した各要素の総合作用によって、影響を受け、非常に複雑である。且つ ppm 級のイオンと ppt 級の核濃度は大量の微生物にとって、微量とはいえ、イオン濃度と核活性度の変化は実験系統にとってあまり影響がないと言えるだろう。もし各段階においてのイオン濃度と核物質活性度の変化原因及びメカニズムを探究しようとするれば、より詳細の実験が必要である。

#### 6.1.5. 実験施設中の廃水の溶存酸素量及び固形物含量の変化

ステージ1の実験系統における混合槽及び曝気槽の微生物状況変化を測定する。各槽の MLSS 濃度、DO（溶存酸素）、SV（沈殿物体積）、色、臭い、泡及び上澄み液の透明度などの変化状況を測定する。

### 6.2 ステージ2の実験結果及び議論

#### 6.2.1 実験施設における廃水の Cs-137 の比活性度変化

第一段階実験においては、大抵澄み液のサンプルしか採ってなく、系統

実際の総活性度の値は計算できないので、第二段階実験では混合液のサンプルを採るようにし、サンプル採る方法を二通りにした：

- (1) 毎日サンプリングポイントを固定する方式：各ステージ端末の中継槽及び処理槽において四つのポイントでサンプルを採る。各槽の比活性度の変化は図6で示している。
- (2) 隔週各槽からサンプルを採る：6/15日から7/24日の間、2週間隔ですべての槽からサンプルを採る。7/24日から10/8日の間において毎週一回サンプルを採る。各槽混合液の比活性度分析データは表9を参照。

10/12日に系統各槽の上澄みをトータル的にサンプリングし、比活性度の範囲は6.5Bq/ccから10Bq/ccまでの間にあった。表11を参照。微生物動態系統で放射性廃水を最終的に処理した後、最低限に到達できる比活性度を表わしている。予測では6.5Bq/ccぐらいしか達されない。処理後の廃水は放流基準（比活性度0.05Bq/cc）をクリアできるかどうかはまた再度実験しなければならない。もし、低比活性度の放射性廃液を減量処理するときに、処理に最適の比活性度値はいくらかについても再実験で確立することが必要である。もし微生物で処理効果が放流基準をクリアできなければ、化学処理と併用することが必要になる。低比活性度の放射性廃液を化学処理方法で濃縮分離し、基準をクリアした分を放流し、高比活性度の放射性液に濃縮された液を微生物動態系に戻し、微生物処理で比較的到低い比活性度の廃液にし、また化学処理工程に移送し、濃縮、分離させる。二者の結合方法はまた実験、研究、開発する必要がある。もし、処理後放射性廃液が消え、同時に微生物動態系の処理効率低いことを克服できれば、将来この処理法は価値と応用性があると言えよう。

#### 6.2.2 実験系統廃水 Cs-137 の総活性度変化

系統の容積及び総活性度などの測定値と計算値は表10で示している。

10月12日処理系統の総容積と総活性度の変化と計算値は表11で表わす。

混合液の出入り活性度の差異変化率は図7を参照。

混合液の出入り活性度差異変化率曲線は図7で示している。6/15日から7/13日まで、実験期間は4週間があり、活性度の変化率はわずか2.3%である。平均毎週約0.57%の減量効果がある。系統は処理減量効果無い状態にある、原因は二つある：(一)第二段階の実験が開始した時に、ステージ3の曝気槽において、微生物が死滅現象を生じ、臭いが発生した。

(二)6/15日に原水槽汚泥140Lをステージ1の混合槽1に投入したことにより、混合槽1と混合槽2のMLSS濃度が40,000ppmを超過させ、そして溶存酸素も減少し、微生物が死滅した現象が生じた、臭いが発生した。

7/13日から8/14日までの4週間では、進出変化率は17.78%に達した。平均毎週4.4%の活性度減少効果が見せた。第一段階における週平均減量2.3%の2倍の効果になり、系統は効果を発揮していることを示している。その原因は三つある：(一)ステージ1の操作手順をステージ2の段階式操作手順に同じくしたため(5.2第二段階の操作手順を参照)。(二)混合槽1から一部分の液体を抽出し、少量且つ段階毎という方式で処理対象物を入れ、と同時に各槽のMLSS濃度を調整した。(三)各槽へ入れるバイオ液の量を増加した。上述した微生物育成プロセスにより、微生物育成状況は以下のような変化があった(付属書類三を参照)：(1)混合槽1と混合槽2菌床のMLSS濃度が降下した；(2)溶存酸素濃度が増加；(3)臭いが消失；(4)上澄みの透明度がアップ；(5)菌床の沈下が速くなった。微生物生態系全体が活発になり、処理減量働きの発揮した。系統の処理機能が微生物の育成状況によって変わり、同等の変化でもない。したがって、微生物を最良の状態及び系統の最善の操作方式に持っていくことが実験にとってはもともと重要である。

出入り混合液の総活性度変化率のデータ(表12を参照)から、サンプルをとる方式によって、値が変わると分かる。以下でサンプルをとる方法について説明する：

(1)6/15日から9/13日の期間中のサンプリング方式(11回全体的に



サンプルを採った) :

各槽において、中レベルのエアレーションで攪拌した、サンプルの均一性がない可能性があるが、毎回同じ条件でサンプリングをするため、得たデータがまた計算と評価する時に使える。

(2) 9/20日のサンプリング方式 :

沈殿槽以外、各槽を強レベルの空気攪拌をし、そしてポンプ攪拌と人力攪拌を加えた後、サンプルを採った。各槽の比活性度と液体の体積データで計算した。9/20日に出入変化率は48.8%であり、9/13日の50.97%に比較すると、増加なしに2%減少した。また一週間の実験を続け、4%の差異がある。微生物を含まれている固体と液体の混合液のサンプリング方式で、必ず完全に混合攪拌をし、そして初めて均一性の持つ代表性のあるサンプルを採れることを示している。したがって、これからの攪拌方式は、上述した通りにすべきである。

(3) 9/30日及び10/8日のサンプリング方式 :

第二段階の実験は9/30日に終わる予定である。当日に循環進料を停止し、全面的なサンプリングを行った(各槽で二つサンプルをとる)。しかし測定用の測量槽は未完成だったため、10/3日にまた循環進料実験を始めた。結局、10/8日に正式に第二段階の実験を結束し、全面サンプリング(各槽から一つのサンプルを採る)を行った。この二回のサンプリングは、9/20日の攪拌混合方式を採用した。9/30日のサンプル1の進出総活性度変化率は50.33%であった。サンプル2のそれは49.94%である。二者の間の差は0.39%である。この結果は全面的にサンプルを採るときに、サンプリング方式は分析データに影響が小さいことを示している。

(4) 10/8日から10/12日までの総測定期間のサンプリング方式 :

- a. 各槽からポンプで体積刻みのある圧力測定槽に送入。
- b. 液面が静止したときに体積を測定する。
- c. 攪拌機で十分均一混合させた後、サンプル二つを採った。

変化率を計算し、変化率は55.08%であり、10/8日の53.66%と

比較して、1.42%が増加した。各槽の底に少量の微生物を含む汚泥が残っているのも、もし汚泥と洗剤の作用を差し引いたら、総活性度は相当近い。したがって、将来の測定方法としては、微生物の処理系統内で行う方式を使用してよいとこのことを分かった。各槽で強力な攪拌をしたら、均一性の持つサンプルを採れる。系統の体積は各槽の液面高さを量れば計算することができ、誤差はわずかしかない。

活性度平衡計算の時：

$$\begin{aligned} \text{進料総活性度} &= \text{出料総活性度} \\ &= (\text{設備内総活性度} + \text{洗浄液総活性度} + \text{サンプル総活性度} \\ &\quad + \\ &\quad \text{曝気遺失総活性度} + \text{槽壁付着総活性度} + \text{配管付着総活} \\ &\quad \text{性度}) + \text{進出料総活性度差異} \end{aligned}$$

洗剤液、サンプリング、曝気、槽壁による総活性度の遺失量の計算データはそれぞれ、表 13、14、15、16 で表している。活性度の平衡計算データは表 17 及び表 18 で示している。

### 6.2.3 実験結果に関する進出料差異計算

上の式で出料の総活性度は

$$\begin{aligned} \text{出料総活性度} &= (330.6962\text{MBq} + 31.34268\text{MBq} + 7.25031\text{MBq} + \\ &\quad 0.021574\text{MBq}) + \text{進出料総活性度差異} \\ &= (369.310764\text{MBq}) + \text{進出料総活性度差異} \end{aligned}$$

式の中：

- a. 出料総活性度：10/12 日総測定するときの各槽サンプルの比活性度及び液体の体積などによって計算し、処理系統の総活性度は 330.6962MBq である。  
表 11 を参照。
- b. 洗浄液の総活性度：洗剤液のサンプル分析で得た比活性度と洗剤の体積などによって計算し、洗浄液の総活性度は 31.34268MBq である。表 13 を参照。
- c. サンプル総活性度：サンプルの比活性度とサンプル体積データな

どによって計算し、サンプル総活性度は 7.25031MBq である。表 17 を参照。

- d. 曝気総活性度：曝気サンプル活性度分析及び毎日排出気体の活性度などのデータによって、計算した曝気総活性度は 0.021574MBq である。各槽排気活性度の大部分測定値は背景値である。数値は小さい。表 15 を参照。
- e. 槽壁付着総活性度：槽壁サンプル分析から得た平均活性度及び槽の総面積などによって、表 16 のように、上澄み平均活性度は 15Bq/cc の時に、PE 層 15 日間吸着実験で、吸着平均活性度は 0.48Bq/cc である。鉄層 15 日の吸着実験をして見たら、吸着平均活性度は 1.69Bq/cc である。槽壁の付着総活性度は約 0.15MBq ではあるが、数値は大きくない。最後に総測定の際に槽壁の青苔と微生物を除去されるので、清掃した各槽の測定値は背景値であり、洗濯液を洗浄液に入れて活性度を計算することにした、したがって、槽壁付着総活性度計算を外す。
- f. 配管を外して洗浄し、復元する。洗浄液、バイオ触媒槽濾過の分の総活性度を洗浄液の総活性度に入れる。

進出試料総活性度差異の計算を表 17 で示している。

$$\begin{aligned} \text{進出試料総活性度差異} &= \text{進料総活性度} - \text{出料総活性度} \\ &= 736.2545\text{MBq} - 369.310764\text{MBq} \\ &= 366.943736\text{MBq} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{進出試料活性度変化率} &= 366.943736\text{MBq} / 736.2545\text{MBq} \\ &= 49.84\% \end{aligned}$$

上述した進料総活性度の計算は測定時の毎日累計進料量 4379L を基準にした。廃水槽の直径と高さで計算すると、廃水総量は 3696L (測定時 4500L に増量する)。廃水分析で比活性度は 189 Bq/cc で、廃水進料総活性度は 698.544MBq である。両者間の進料総活性度の差は 5% である。もし処理対象物を入れる時の進料総活性度で計算すると、進出料変化率は 47% である。表 18 で示している。

#### 6.2.4 実験施設の廃水溶存酸素含量及び固形物含有量の変化

第二段階の実験システムの混合槽と曝気槽などにおける微生物の状況を測定し、変化を観測する。例えば、各槽の MLSS 濃度、DO (溶存酸素)、SV (沈殿物体積) (図 12 から図 20 までを参照)、色、臭い、泡及び上澄み液の透明度などの変化状況を測定する。一般的に言えば、微生物にとって最適な生長条件は、DO 約 5.0 ppm~8.0 ppm、SV 約 10%~60%、MLSS は 3000 ppm ぐらいである。実際観察と実験データの比較で、各槽微生物の比較的な良い状況は以下である：

- (1) 図 11 (第二段階ステージ 1 における第一槽の SV と MLSS との相関図) : SV ; 20%~60%、MLSS ; 1500 ppm~3000 ppm。
- (2) 図 12 (第二段階ステージ 1 における第一槽の DO と MLSS との相関図) : DO ; 5 ppm~8 ppm、MLSS ; 1500 ppm~3000 ppm。
- (3) 図 13 (第二段階ステージ 1 における第一槽の SV と DO との相関図) : SV ; 20%~60%、DO ; 5 ppm~8 ppm。
- (4) 図 14 (第二段階ステージ 2 における第一槽の SV と MLSS との相関図) : SV ; 10%~20%、MLSS ; 3000 ppm~5000 ppm。
- (5) 図 15 (第二段階ステージ 2 における第一槽の DO と MLSS との相関図) : DO ; 5 ppm~8 ppm、MLSS ; 3000 ppm~5500 ppm。
- (6) 図 16 (第二段階ステージ 2 における第一槽の SV と DO との相関図) : SV ; 10%~20%、DO ; 5 ppm~8 ppm。
- (7) 図 17 (第二段階ステージ 3 における第一槽の SV と MLSS との相関図) : SV ; 10%~20%、MLSS ; 3000 ppm~6000 ppm。
- (8) 図 18 (第二段階ステージ 3 における第一槽の DO と MLSS との相関図) : DO ; 5 ppm~8 ppm、MLSS ; 3000 ppm~6000 ppm。
- (9) 図 19 (第二段階ステージ 3 における第一槽の SV と DO との相関図) : SV ; 10%~20%、DO ; 5 ppm~8 ppm。

### 6.3 第一、第二段階実験結果の比較及び分析

- (1) 第一段階実験における進出料総活性度変化率は14.22%である。第二段階実験終わった後進出試料総活性度変化率は49.84%である。二者の差35.62%は第二段階実験進出料総活性度変化率である。もし第二段階実験期間は平均的に16週で計算すれば、毎週約2.2%の活性度減量効果がある。そして進出変化率は操作する時間とともに増加することが分かる。第一段階実験における毎週約2.3%の活性度減量効果と比べると、二段階の間の減量効果が近い。
- (2) 6/15日処理系統の総活性度は627.435MBqであり、系統中の液体総体積は約18600L、平均比活性度は34Bq/ccである。仮に微生物動態系においては放射性廃液を処理する時に活性度減量がないとすると、連続式反応器の動態プログラムで濃度希釈模擬計算を行うと、一定の実験期間を過ぎたら、各槽の比活性度は平均濃度値(34Bq/cc)に近づくはずである。しかし中継槽の比活性度の変化曲線図が示している結果(図10)は、10/8日に各槽の比活性度値の範囲は6.6Bq/cc~17Bq/ccであり、全部34Bq/ccより小さいことである。10/8日の処理系統総活性度は341.152MBq、系統中液体の総体積は18922L、各槽平均比活性度値は約18Bq/ccである。第二段階実験における各槽の平均比活性度減量は約47%である。上述したデータは微生物動態系が放射性物質を処理できること及び活性度減量効果をもつことを示している。
- (3) 両段階の実験結果は進出差異率変化を示し、稼動時間をたつに連れ、増加していることを表している。系統各槽の平均比活性度値変化も時間とともに減少していく。しかし差異率変化は微生物の生息状況によって変化し、否等量的な変化を生じている。この現象はまた数回の実験で確認する必要がある、そして微生物動態系の働きメカニズムを研究する。最後に複合微生物自身の生化反応を解析及び成分分析をし、活性度減量現象の理論的な根拠を探求する。

#### 6.4 固形物含量比活性度研究

本実験では微生物反応槽中の固形物を採り、固形物の比活性度を測定する。正味重量で計算し、固形物の比活性度は 728.7Bq/g~6390.9Bq/g である。固/液活性度比は 55.63~173.5 である（表 19 を参照）。

#### 6.5 微生物種類の鑑定結果

本実験の菌種を鑑定するのに、16SrDNA 部分序列（約 500bp）定序対比で特定し、と同時に、生理生化テスト及び脂肪酸成分分析も利用し、分析結果は以下である：

1. *Bacillus cereus*: グラム氏陽性桿菌、運動性を持ち、触媒及び酸化媒反応は共に陽性であり、内孢子を発生し、好気と嫌気両方の条件において生長は可能である。
2. *Pseudomonas*: グラム氏陰性桿菌、運動性を持ち、触媒及び酸化媒反応は共に陽性であり、好気で生長、嫌気では不生長である。
3. *Hydrogenophaga*: グラム氏陰性桿菌、運動性を持ち、触媒反応は陰性、酸化媒反応は陽性である。好気で生長、嫌気では不生長である。

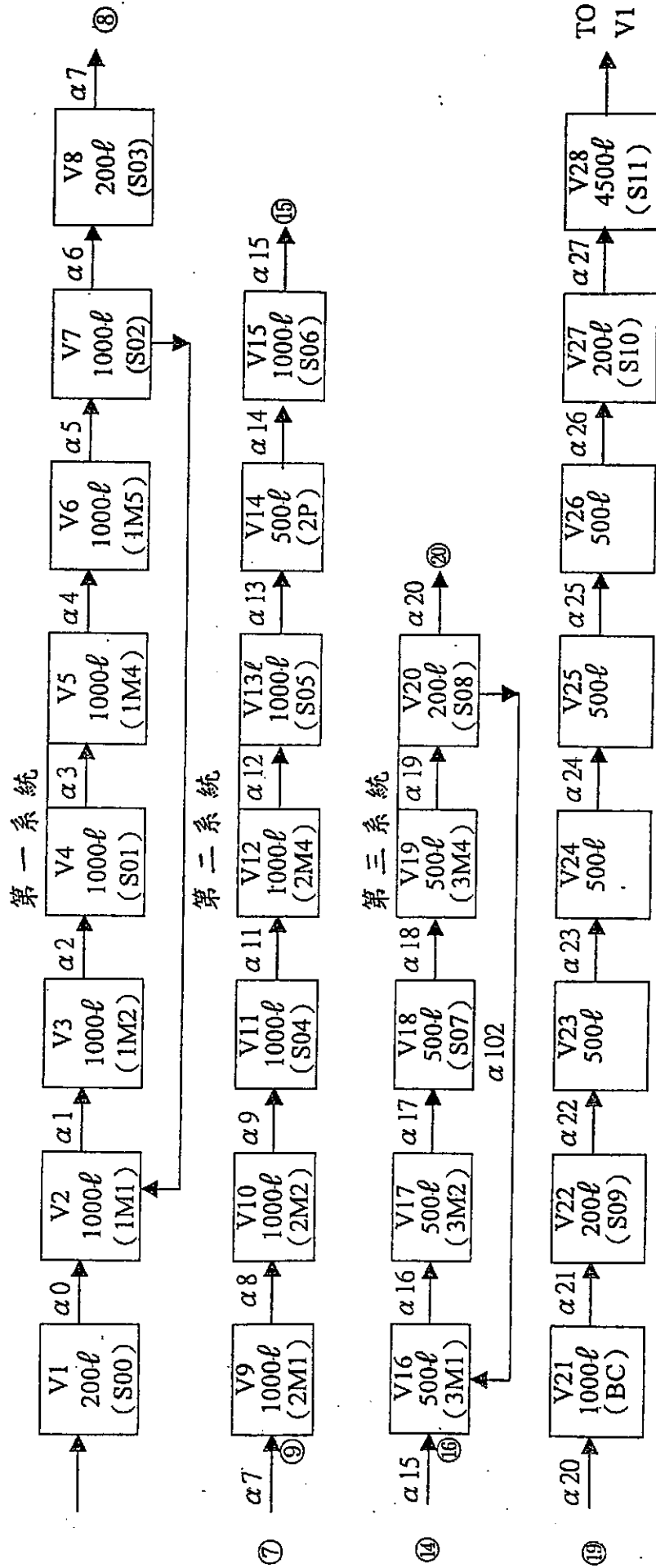
## 7. 結論と提案

1. 複合微生物動態系を用いて放射性廃液を処理する実験は、二段階に渡って行われた。実験は22週間がかかった。最後のトータルの測定及び計算の結果：実際に入出入のCs-137総活性度の減量は366.943736MBqであった。進出試料総活性度減少率は50%に達し、毎週約2.3%活性度減量効果を見せ、本実験においては放射性物質活性度減量現象が証明された。これは初歩的な測定結果であり、微生物が放射性核物質Cs-137の活性度を降下する能力あることを証明するため、将来、さらに数回の実験を重ねる必要があると思う。
2. 本実験においては微生物反応槽内の固形物比活性度は728.7Bq/g～6390.9Bq/g、固/液活性度比は55.63～173.5である。微生物はCs-137に対して良好な吸着と分離効果があることを示している。
3. 複合微生物動態系を用いて放射性廃液を処理することに当って、設備改良、測定機器の増設、最適操作条件を獲得及びコントロール、系統で処理できる適切な核物質と活性度範囲を究明、処理効率の向上、現存の廃液処理技術との組み合わせ、コストを降下させ、これらのことはこのプロジェクトを完成させるのに関係者の方々の努力方向である。

## 感 謝

「有効微生物発酵循環法を用いて放射性廃料を処理する実験」というプロジェクトは 進緑化工程公司スタッフの協力、日本国の高嶋情報開発工学総合研究所のご指導と測定などのバックアップを頂きました。本所においては、分析グループの全力分析支援、本チームの洪聡民副チーム長、李文成さん、方正賢さん、頼延鎮さん、鍾兆龍さん、液体処理場のスタッフらの参加と努力によって、プロジェクトが順調に進みました。本当に有難うございます。行政院原子能委員会の胡錦標主任委員、本所の王時俊所長、遊前所の景熊所長及び役人の方々のご支援とご協力も頂きました。台電公司の林明雄処長、水資源処の陳茲国顧問もこのプロジェクトに関心を持って、ご協力を頂きました、ここで改めて感謝を致します。





( )內文字為試驗取樣編號

圖 1 有效微生物處理放射性廢液程式模擬計算方塊流程圖

064 館：新液體處理廠

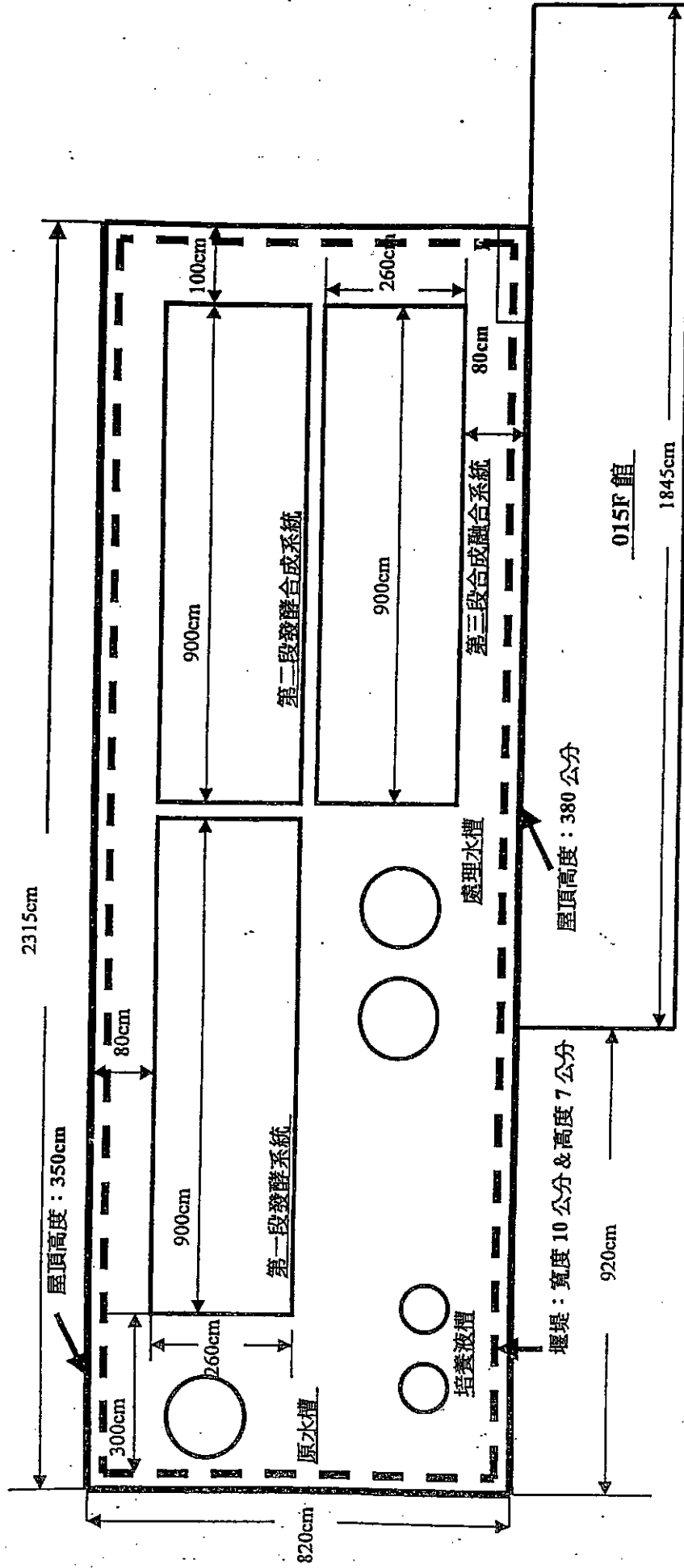


圖 2 試驗設施位置及設備佈置尺寸示意圖

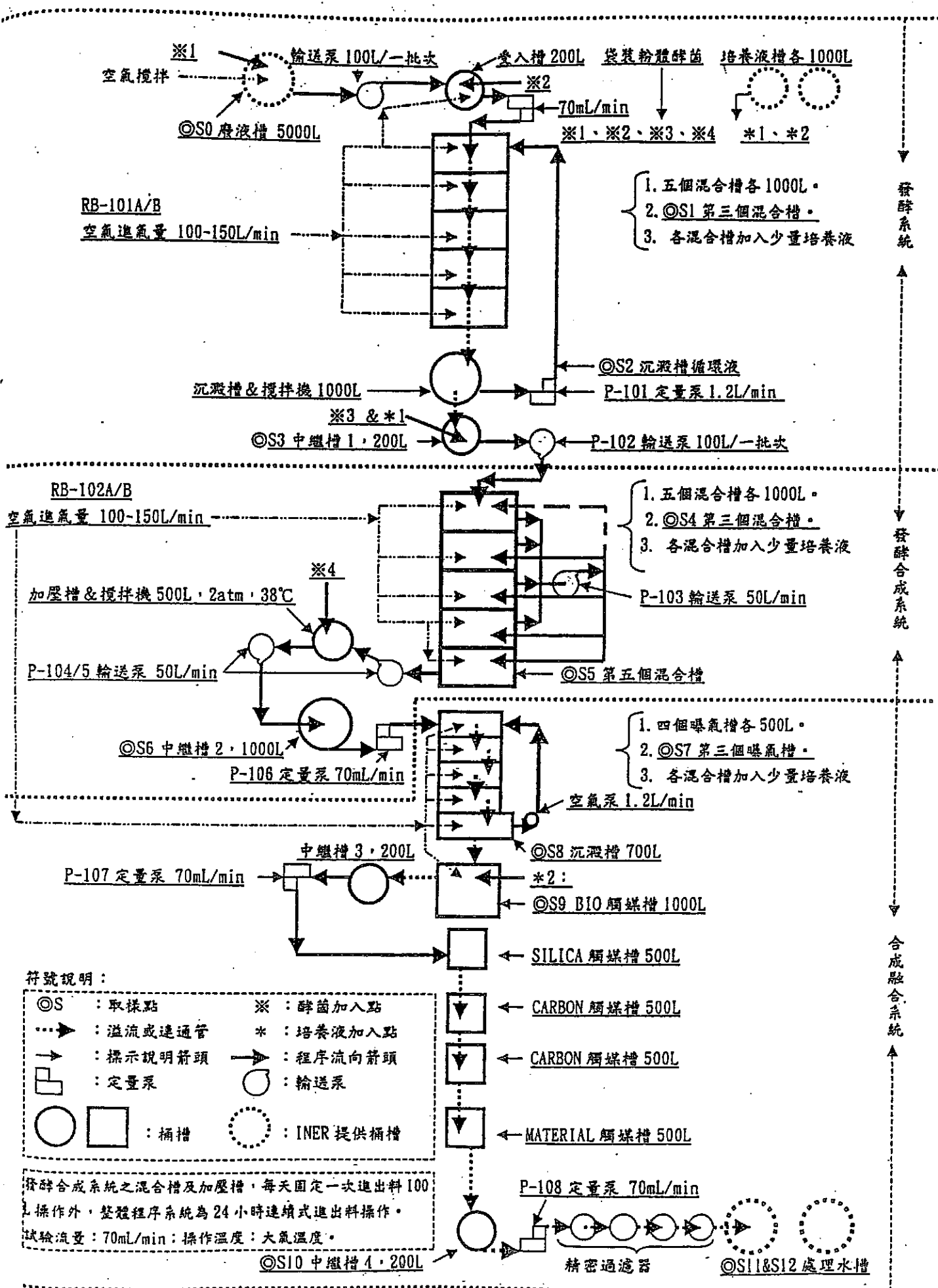


圖 3 程序流程圖



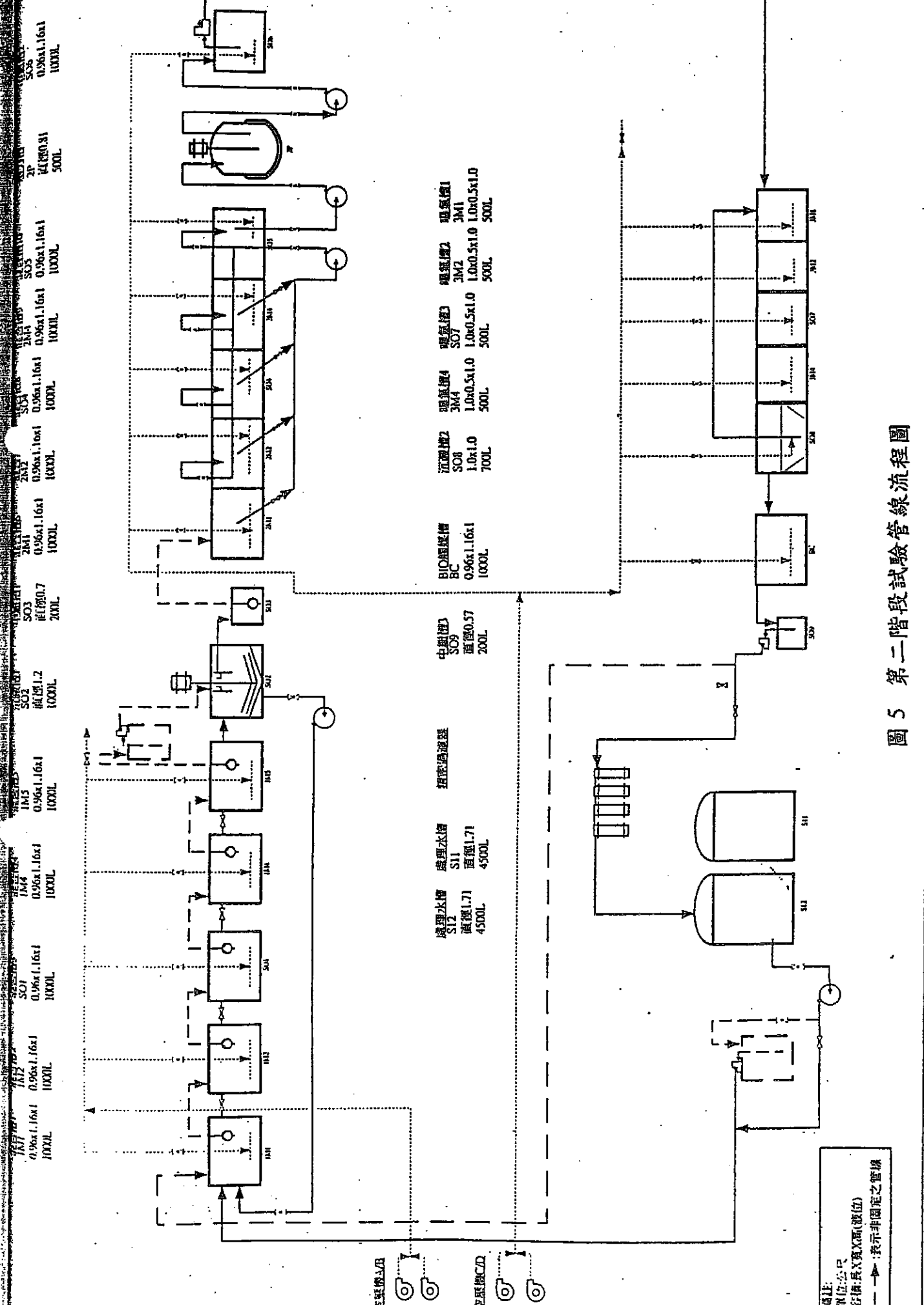


圖 5 第二階段試驗管線流程圖

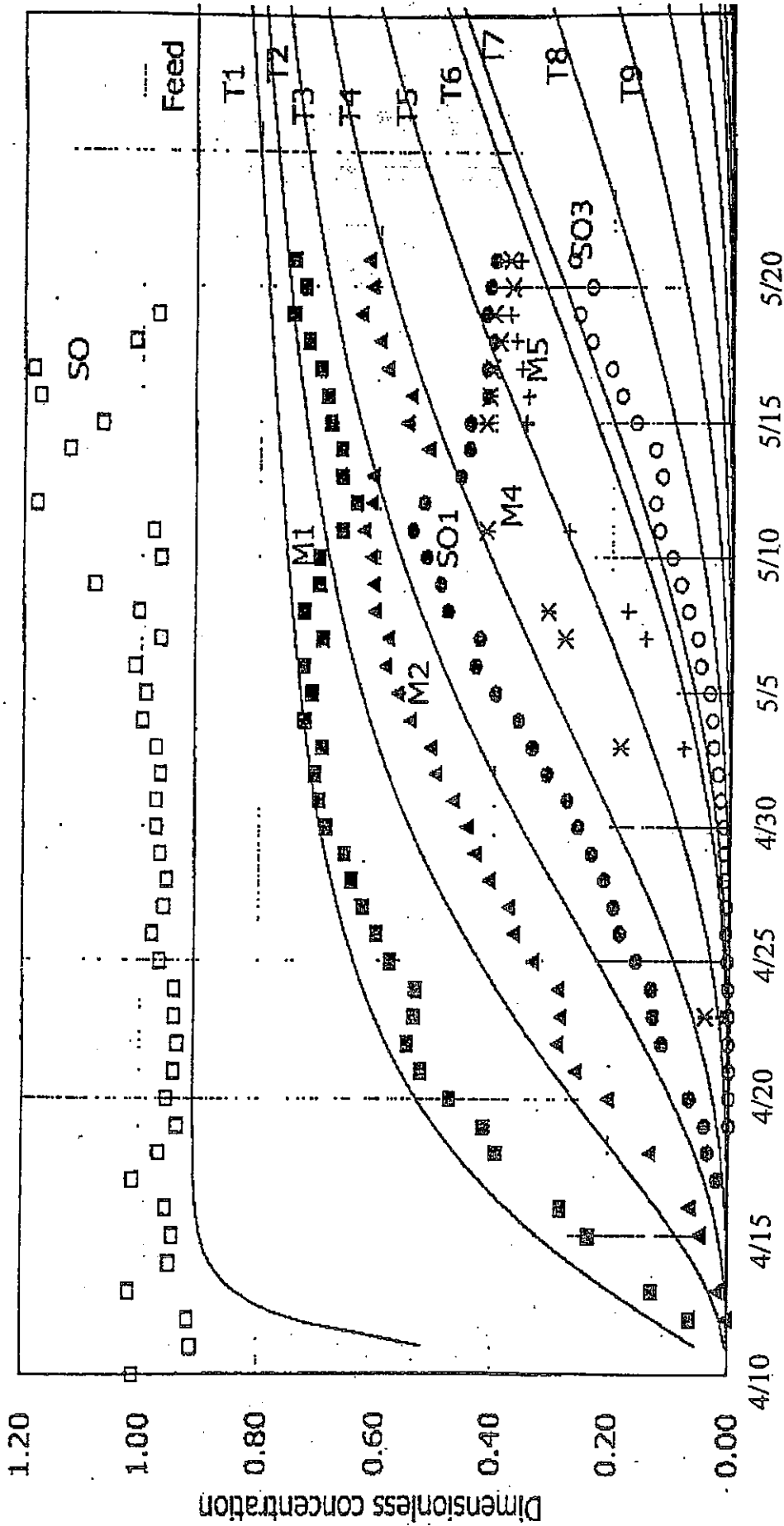


圖 6 第一階段試驗設施廢液 Cs-137 比活度隨時間變化圖

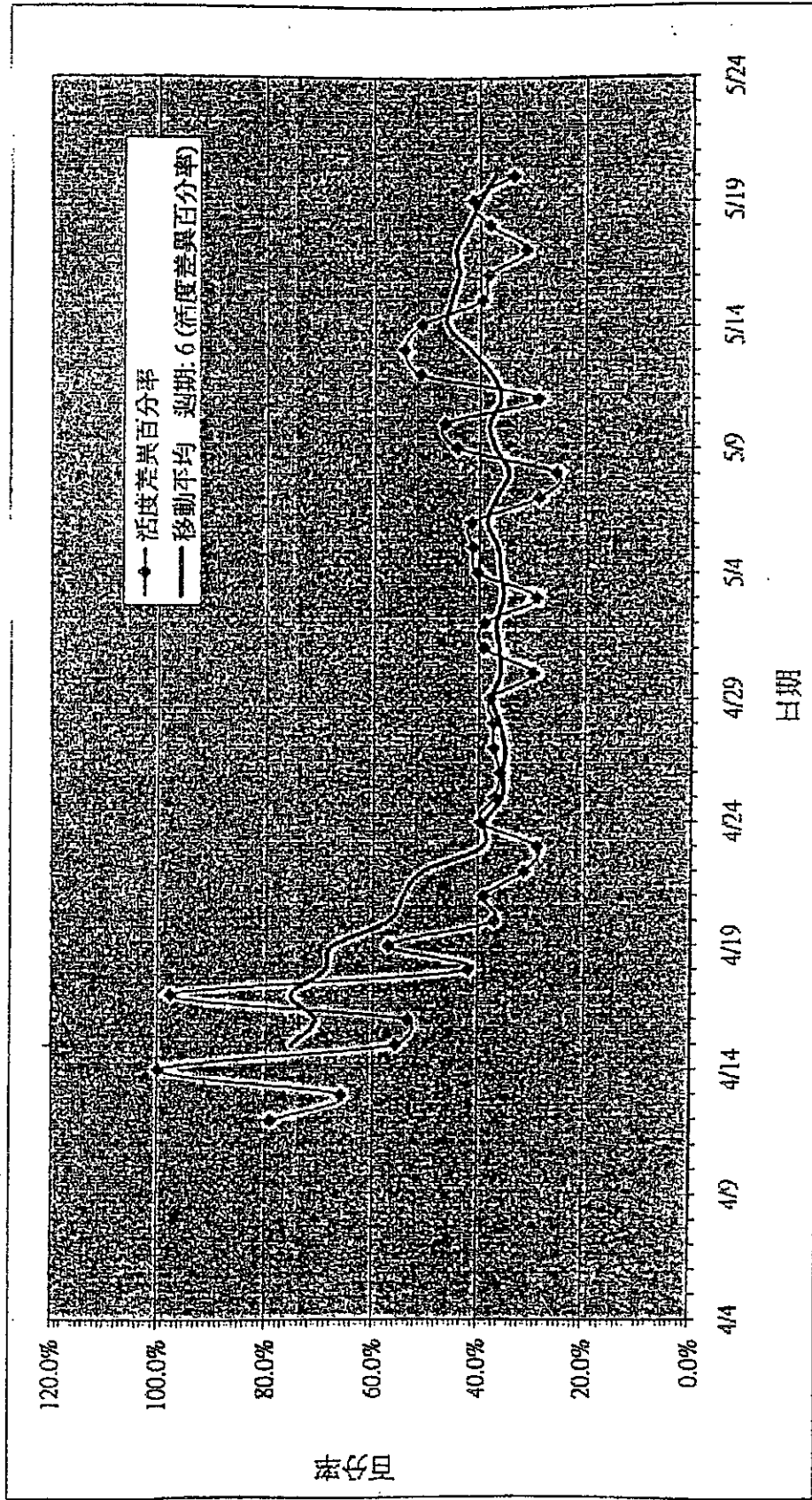
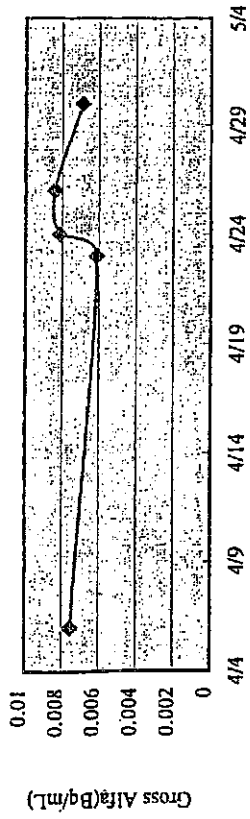
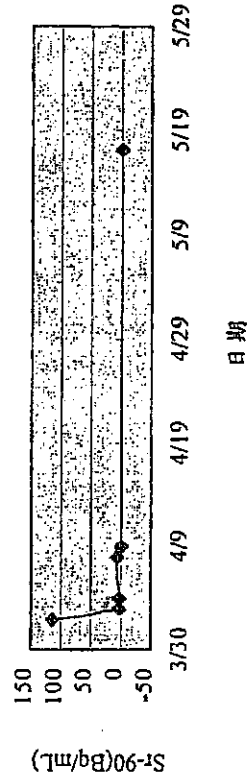


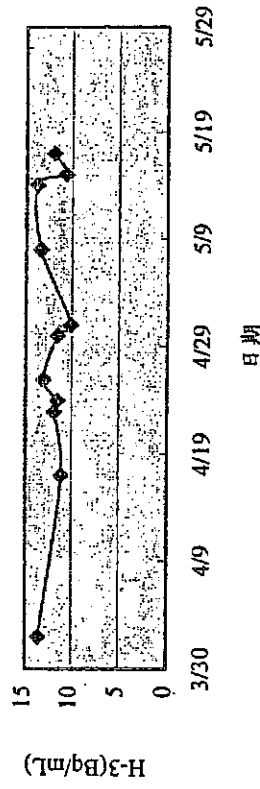
圖 7 第一階段試驗澄清液進出活度差異百分率變化圖



8(a) 進料桶Gross Alfa 變化圖



8(b) 進料桶Sr-90變化圖



8(c) 進料桶H-3變化圖

圖 8 第一階段進出料桶核種活度變化圖



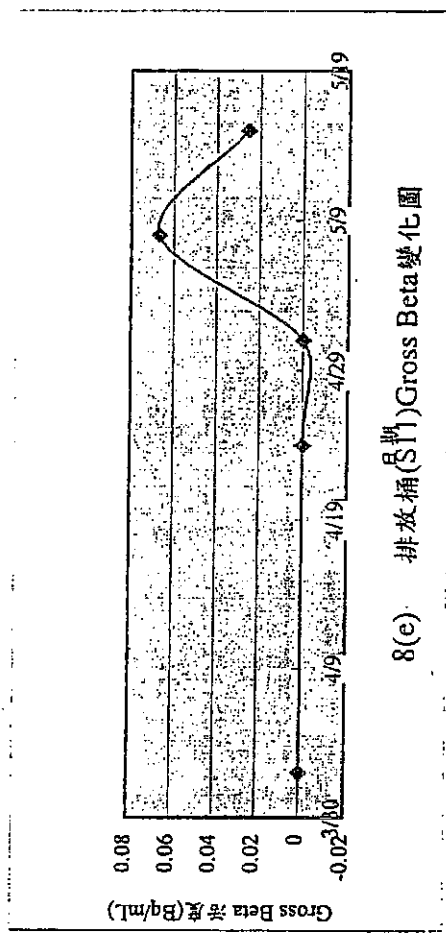
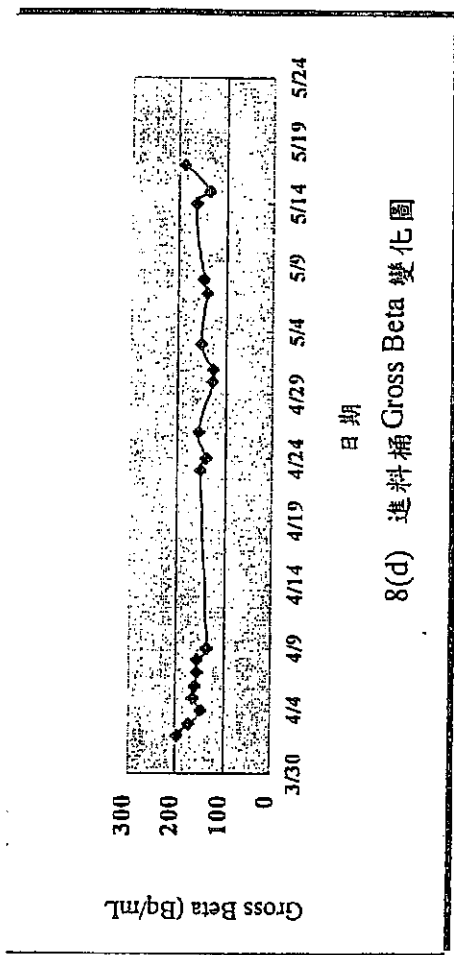
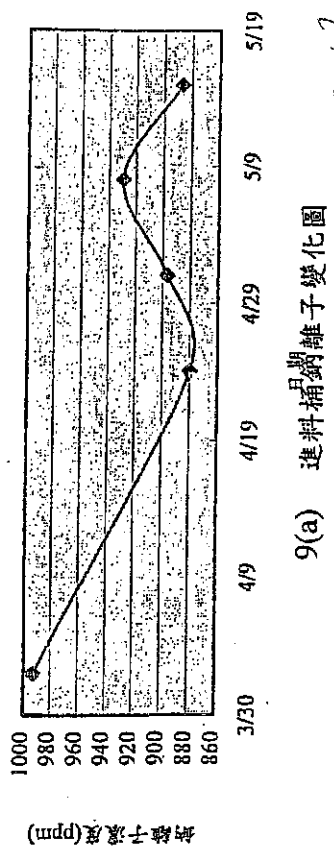
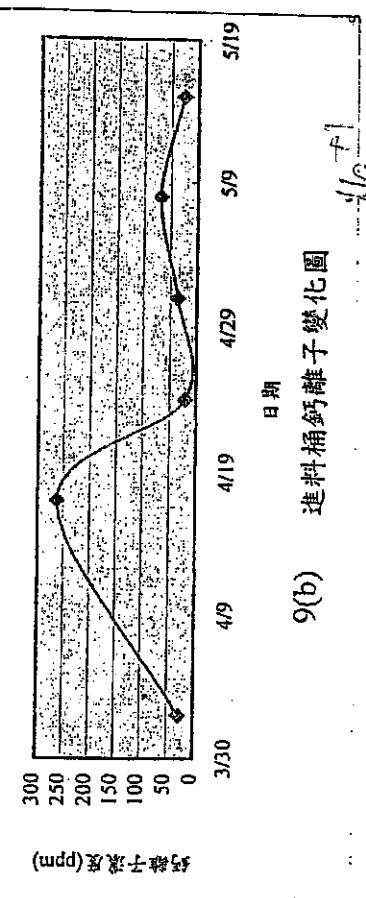


圖 8 第一階段進出料桶核種活度變化圖(續)



Ca<sup>2+</sup> 2



Ca<sup>2+</sup> 3

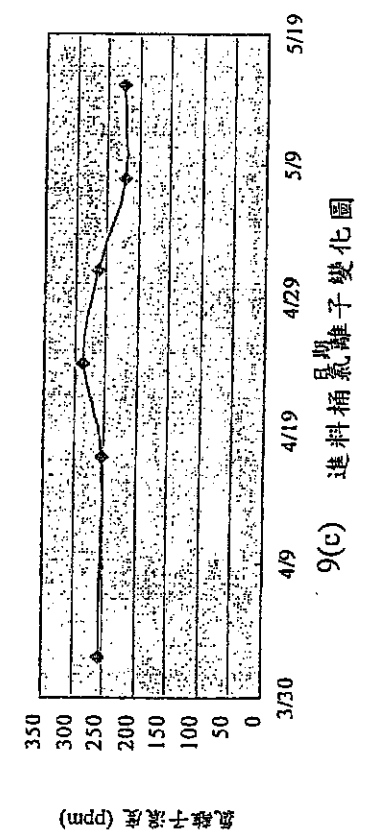
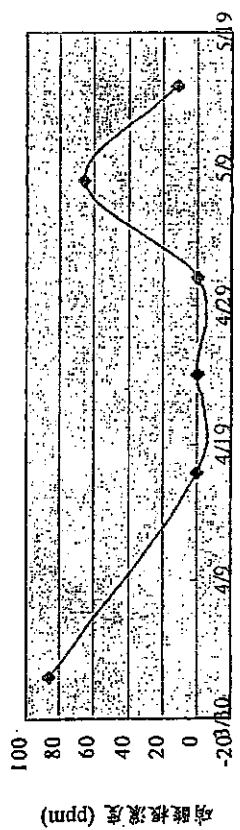
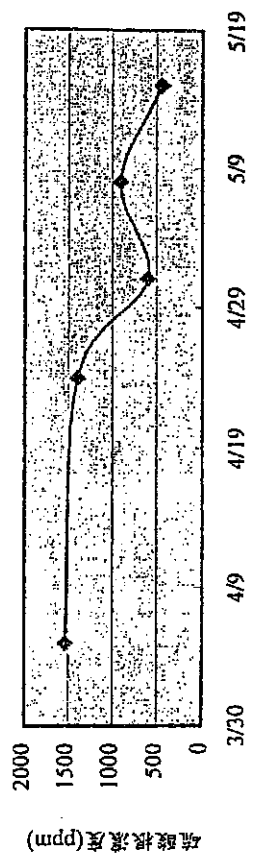


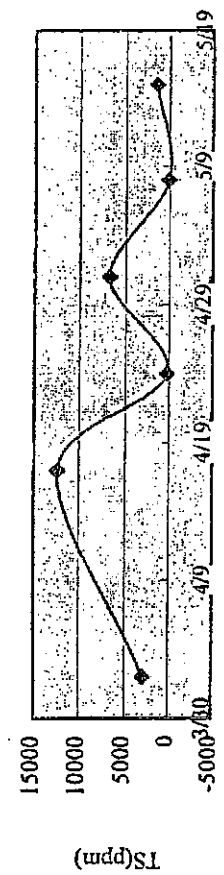
圖 9 廢液離子濃度試驗結果



9(d) 進料桶硝酸根變化圖  $NO_3^-$

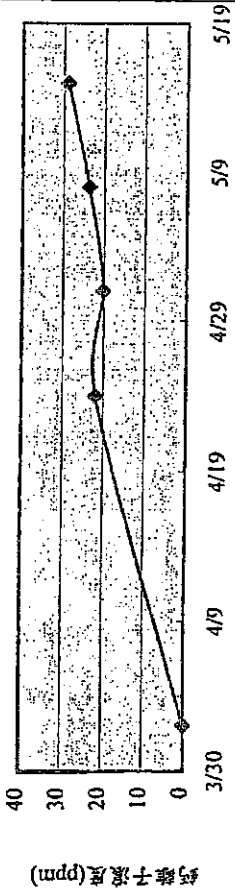


9(e) 進料桶硫酸根變化圖  $SO_4$

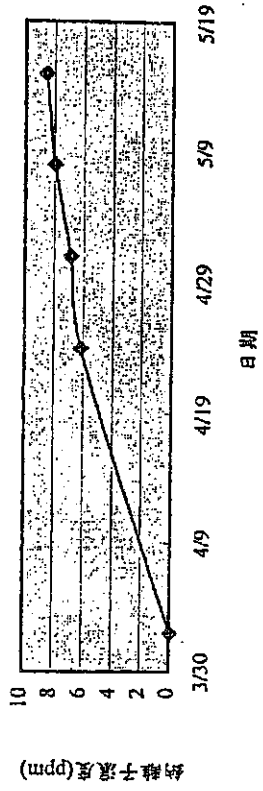


9(f) 進料桶TS(總固形物)變化圖

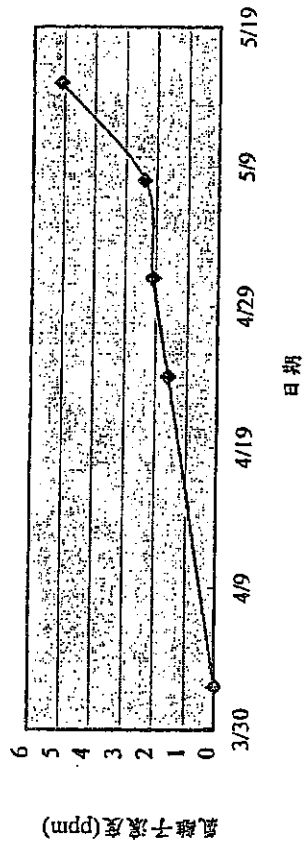
圖 9 廢液離子濃度試驗結果(續)



9(g) 排放桶(S11)鈣離子變化圖

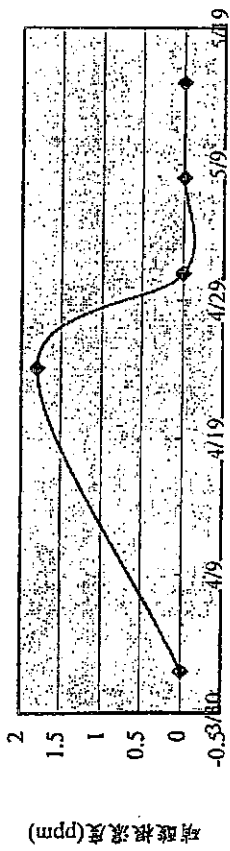


9(h) 排放桶(S11)鈉離子變化圖

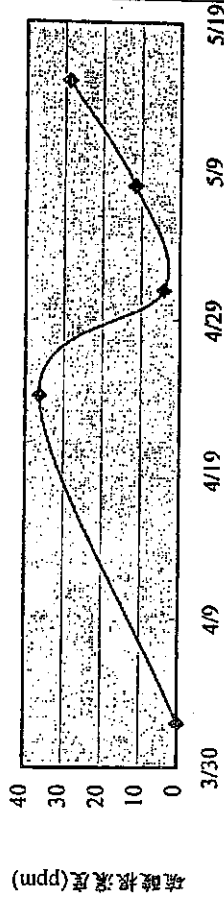


9(i) 排放桶(S11)氯離子變化圖

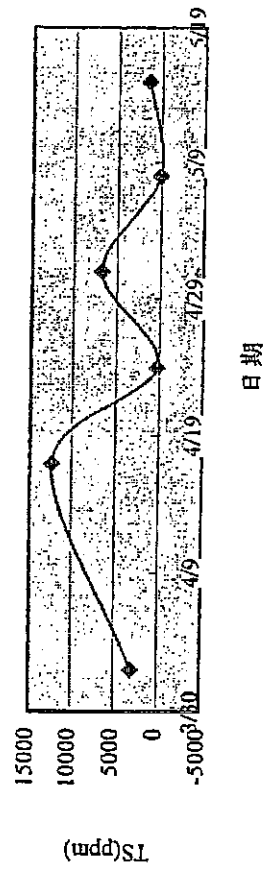
圖9 廢液離子濃度試驗結果(續)



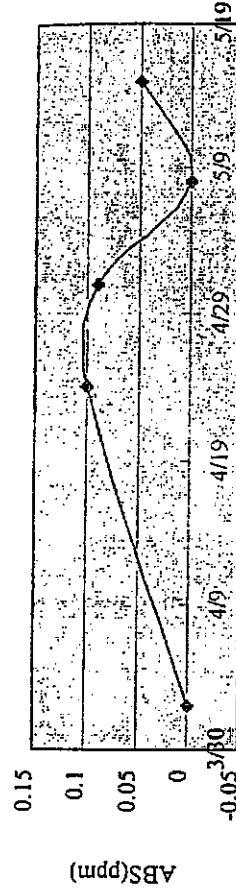
9(i) 排放桶(S11)硝酸根變化圖



9(k) 排放桶(S11)硝酸根變化圖



9(l) 進料桶TS(總固形物)變化圖



9(m) 排放桶(S11)ABS變化圖

圖 9 廢液離子濃度試驗結果(續)

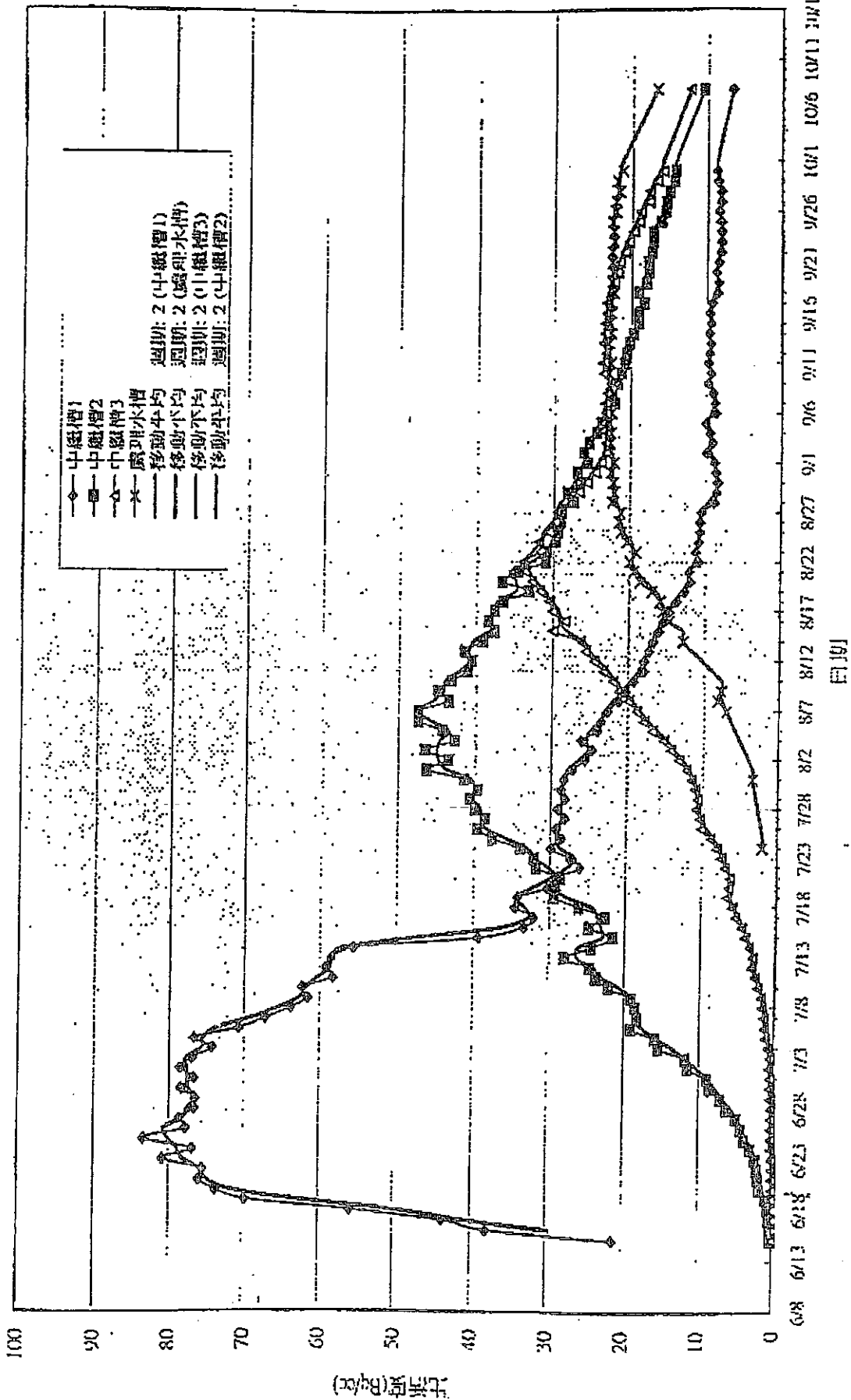


圖 10 第二階段試驗中繼槽 Cs-137 比活度變化曲線圖

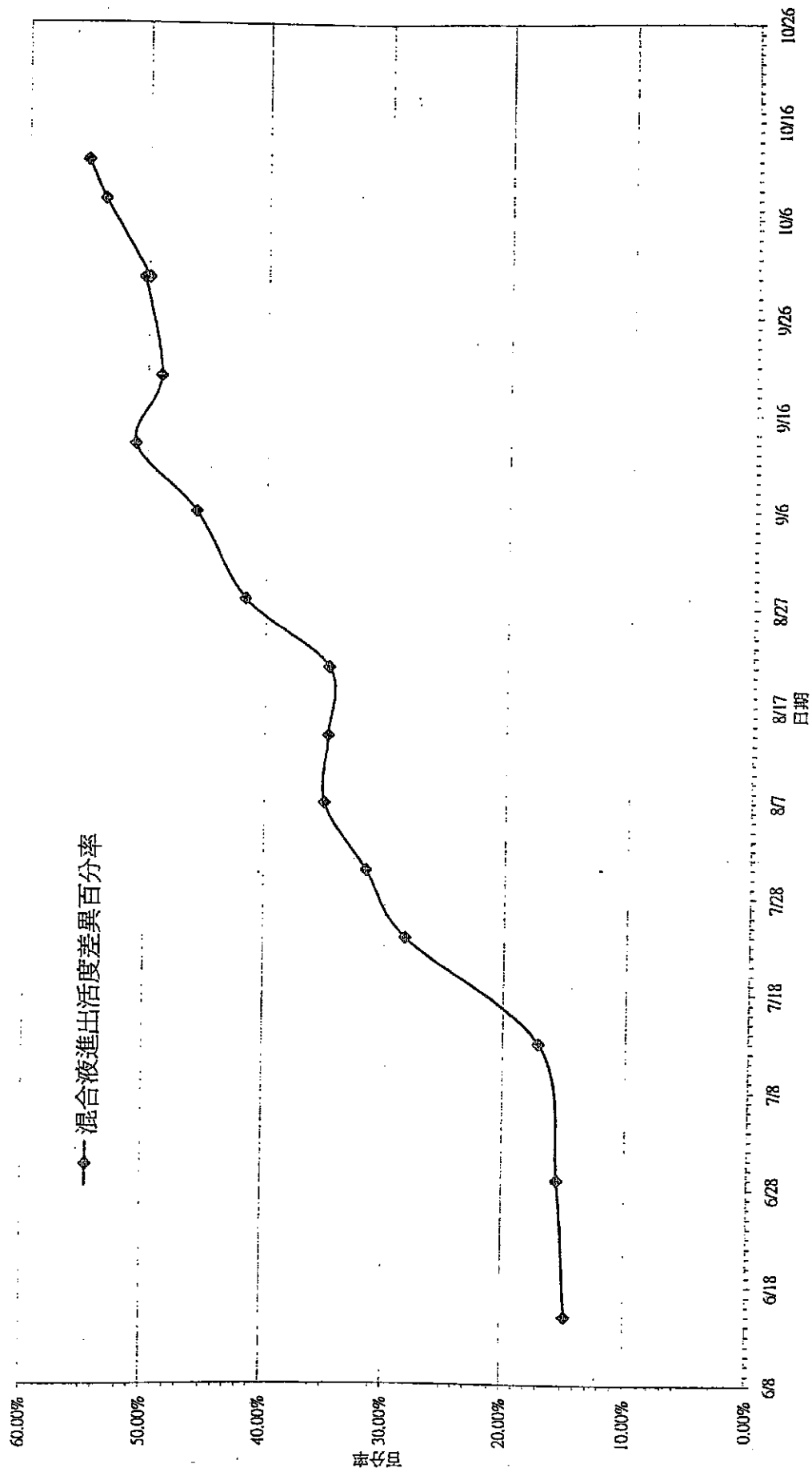


圖 11 第二階段試驗混合液進出活度差異百分率變化圖

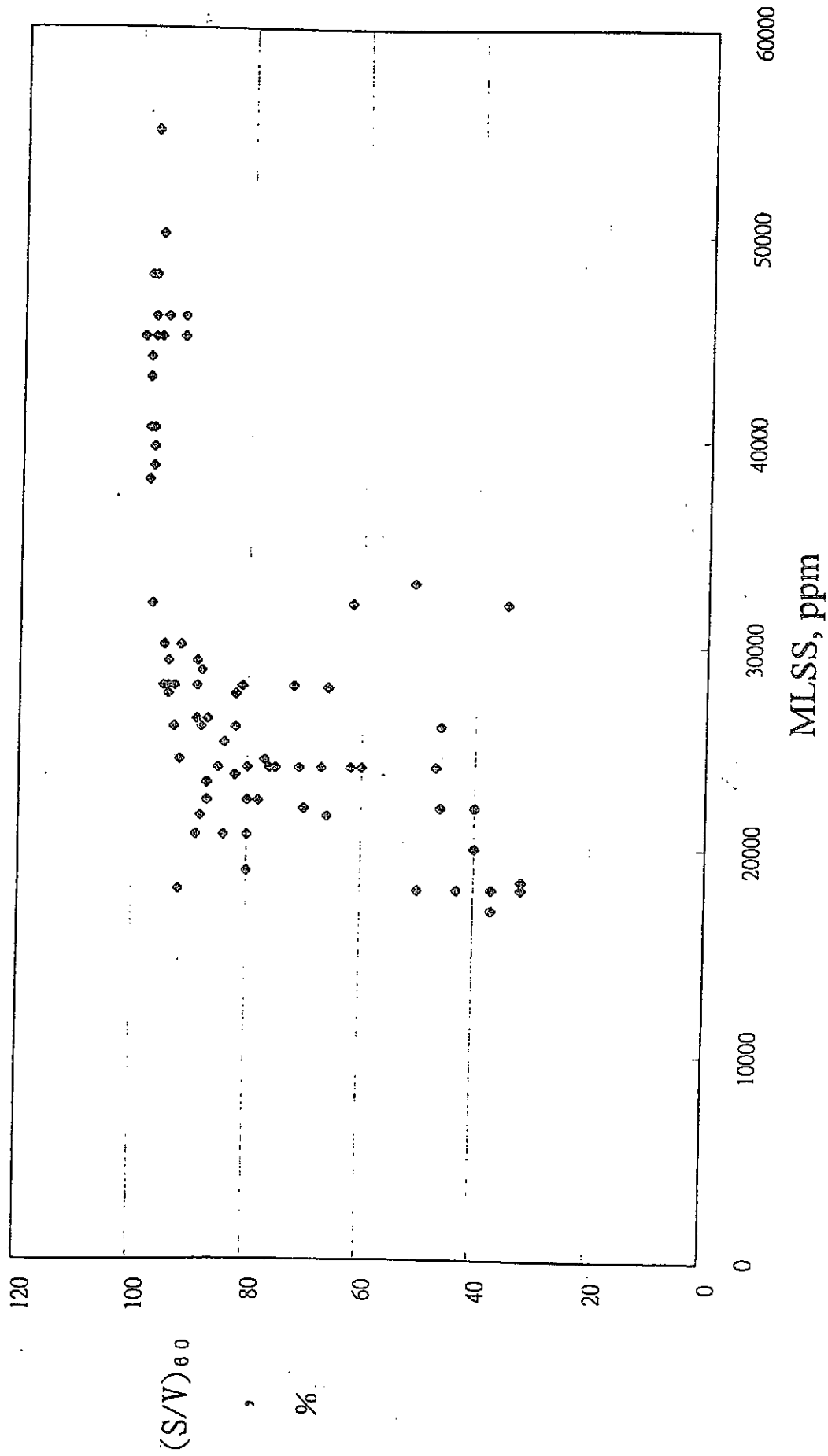


圖 12 第二階段第一系統第一槽之沉降體積與 MLSS 關係圖



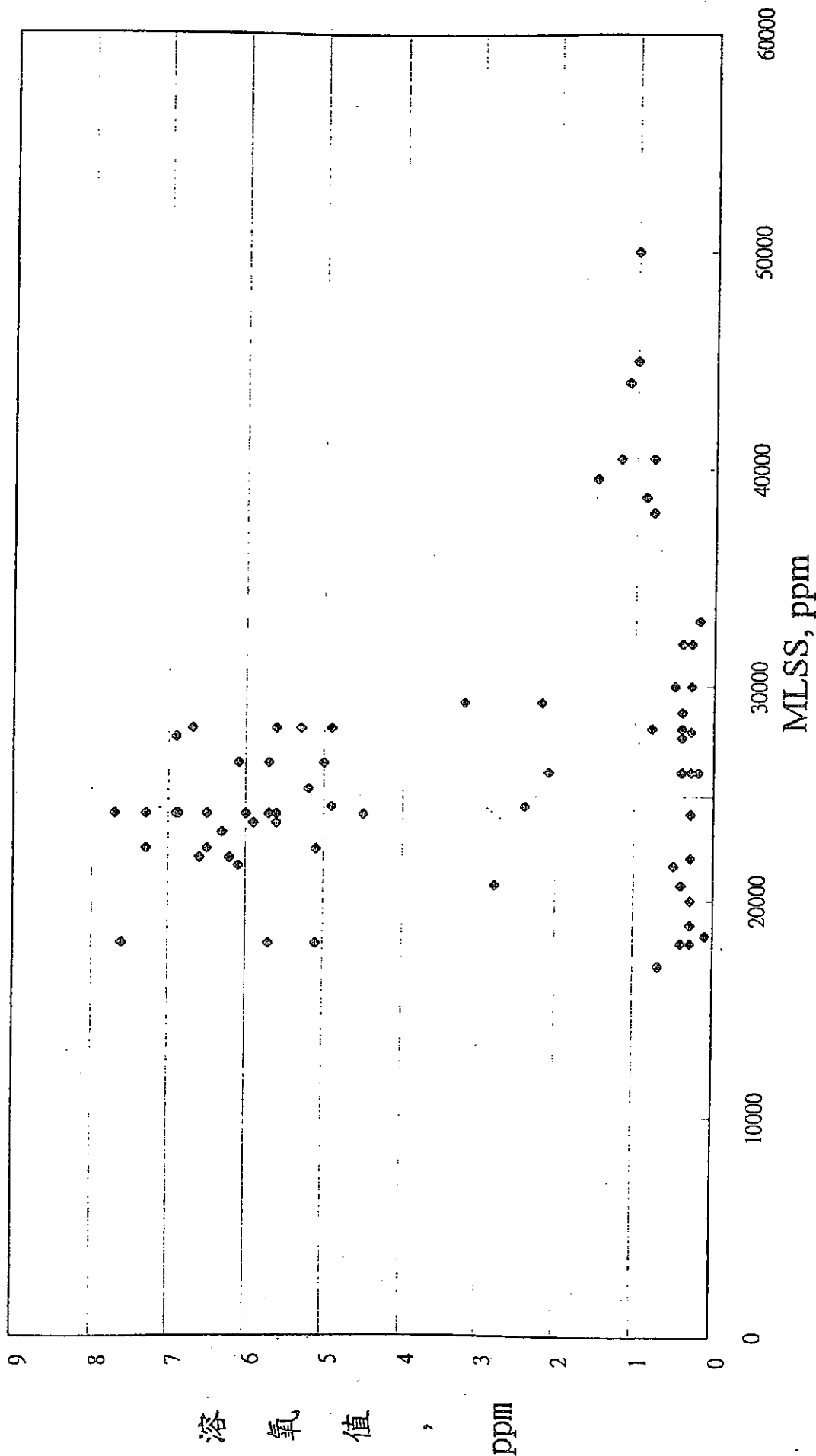


圖 13 第二階段第一系統第一槽之溶氧值與 MLSS 關係圖

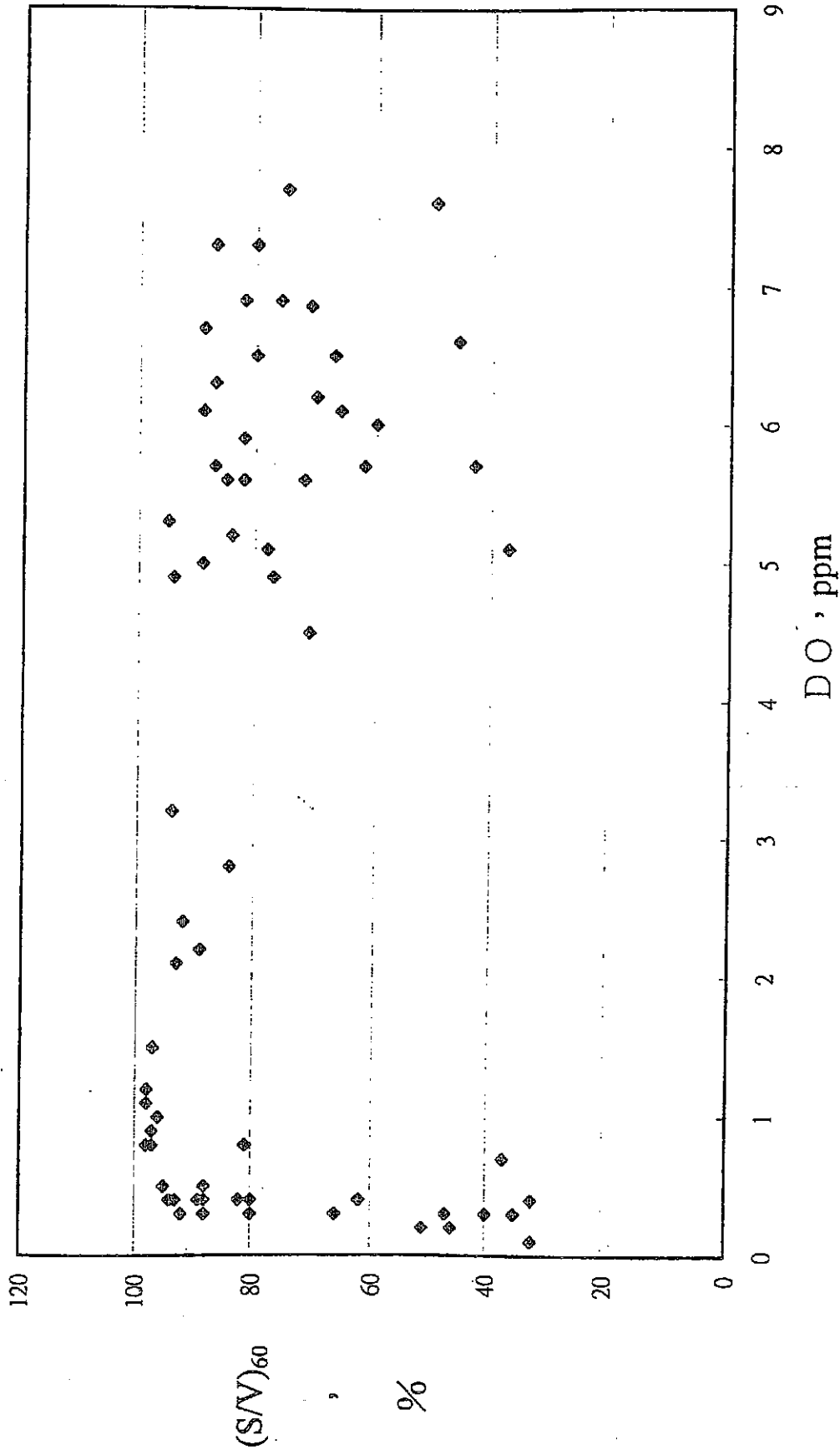


圖 14 第二階段第一系統第一槽之沈降體積與溶氧值關係圖

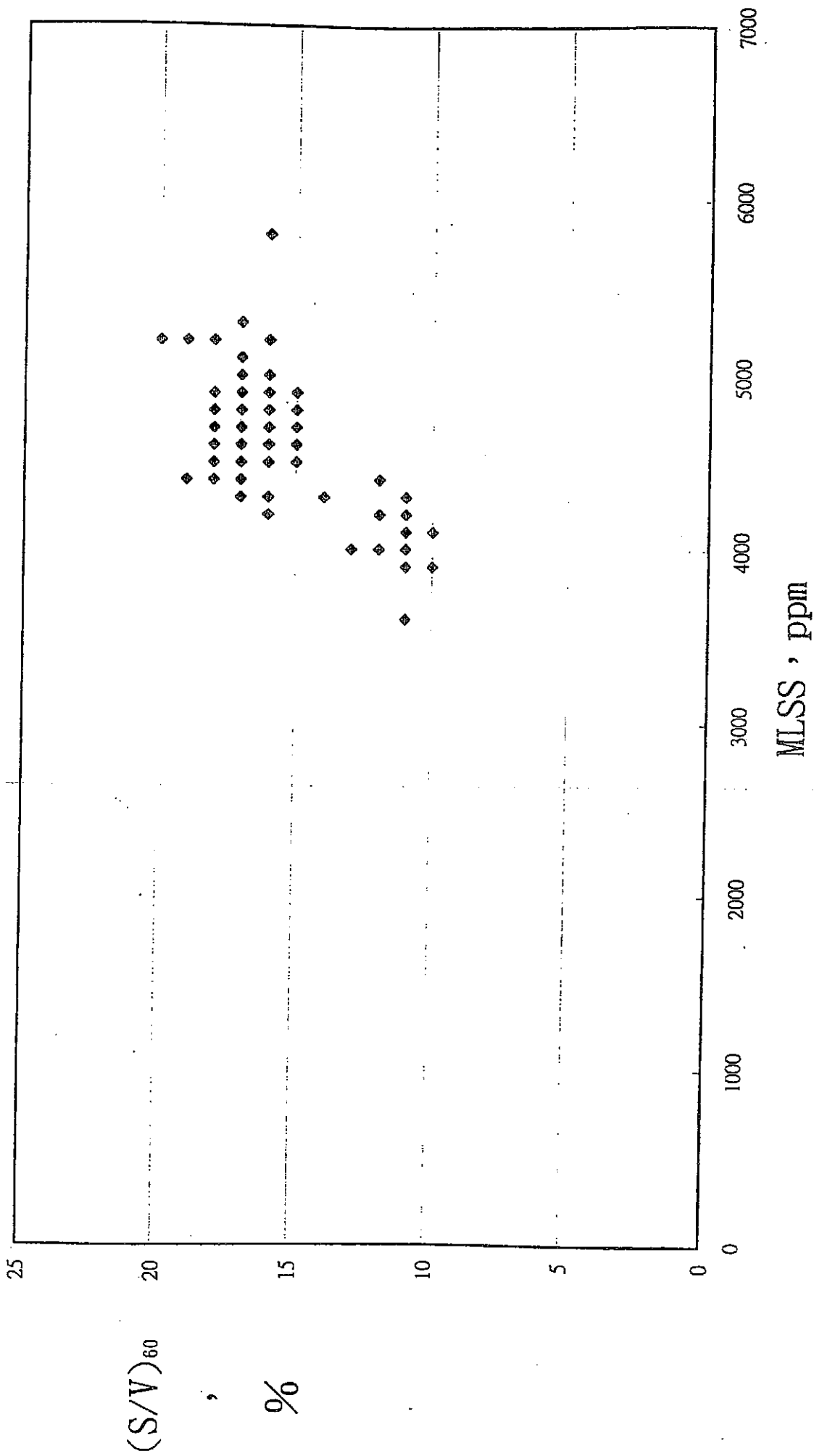


圖 15 第二階段第二系統第一槽之沉降體積與 MLSS 關係圖

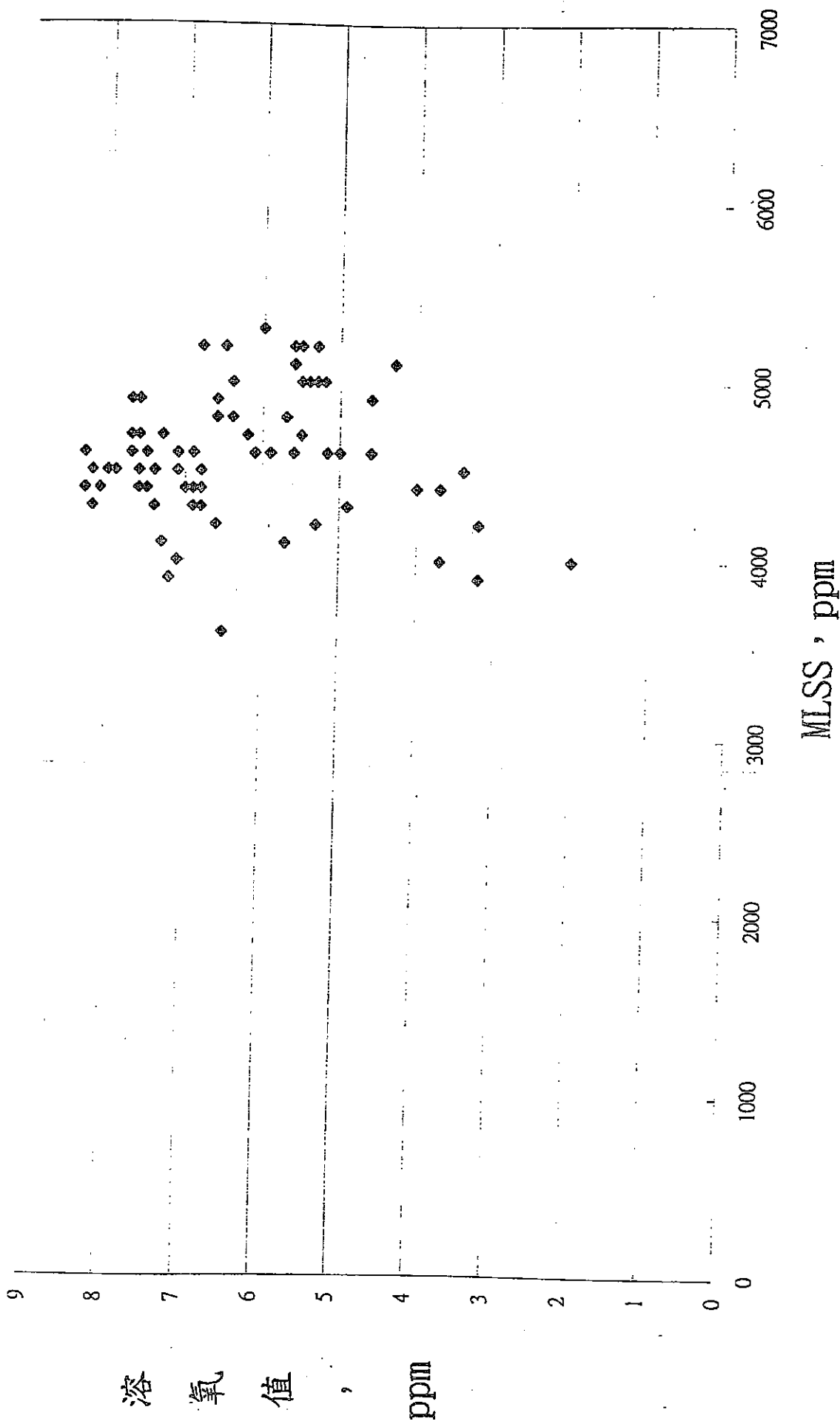
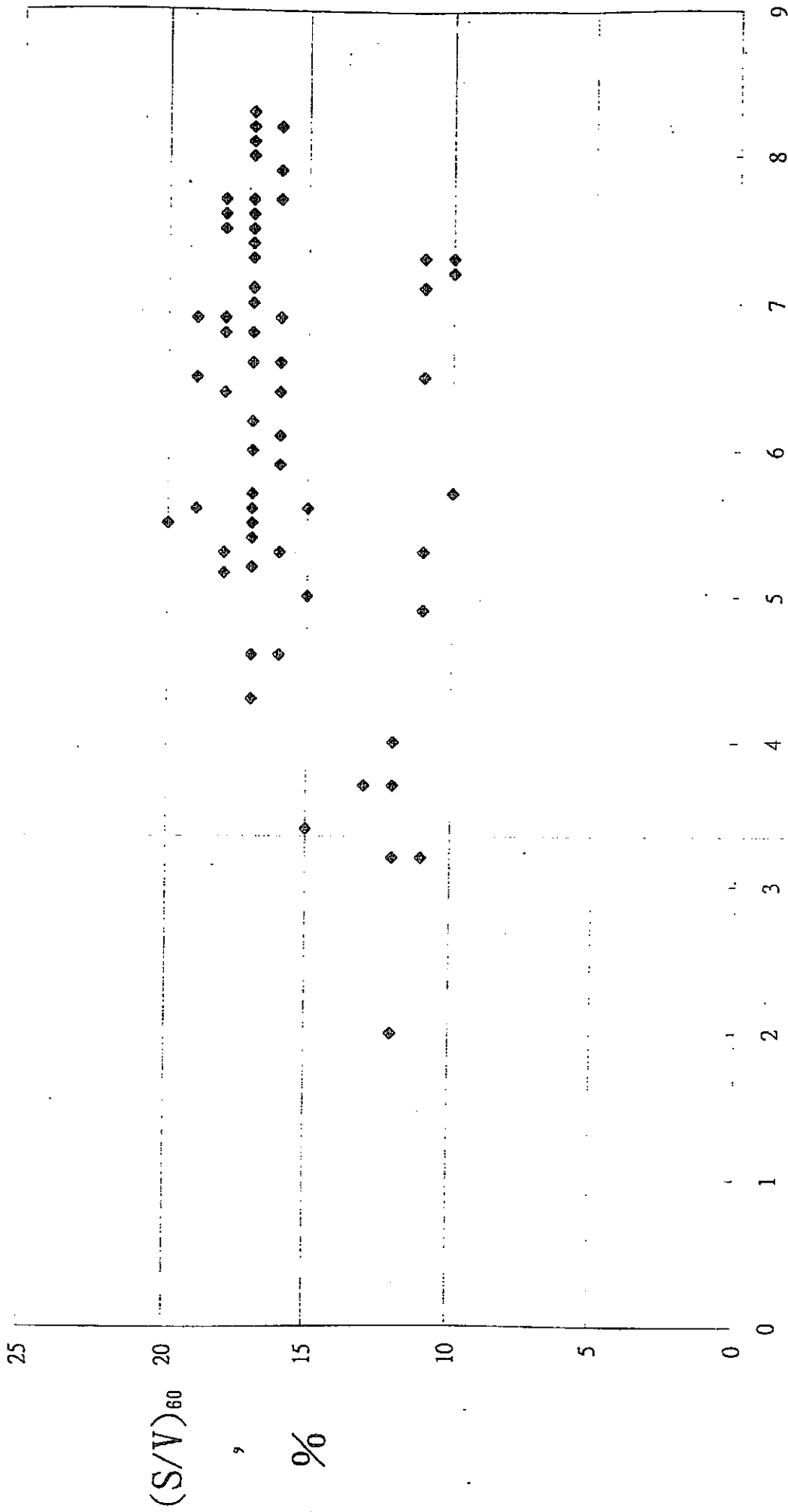
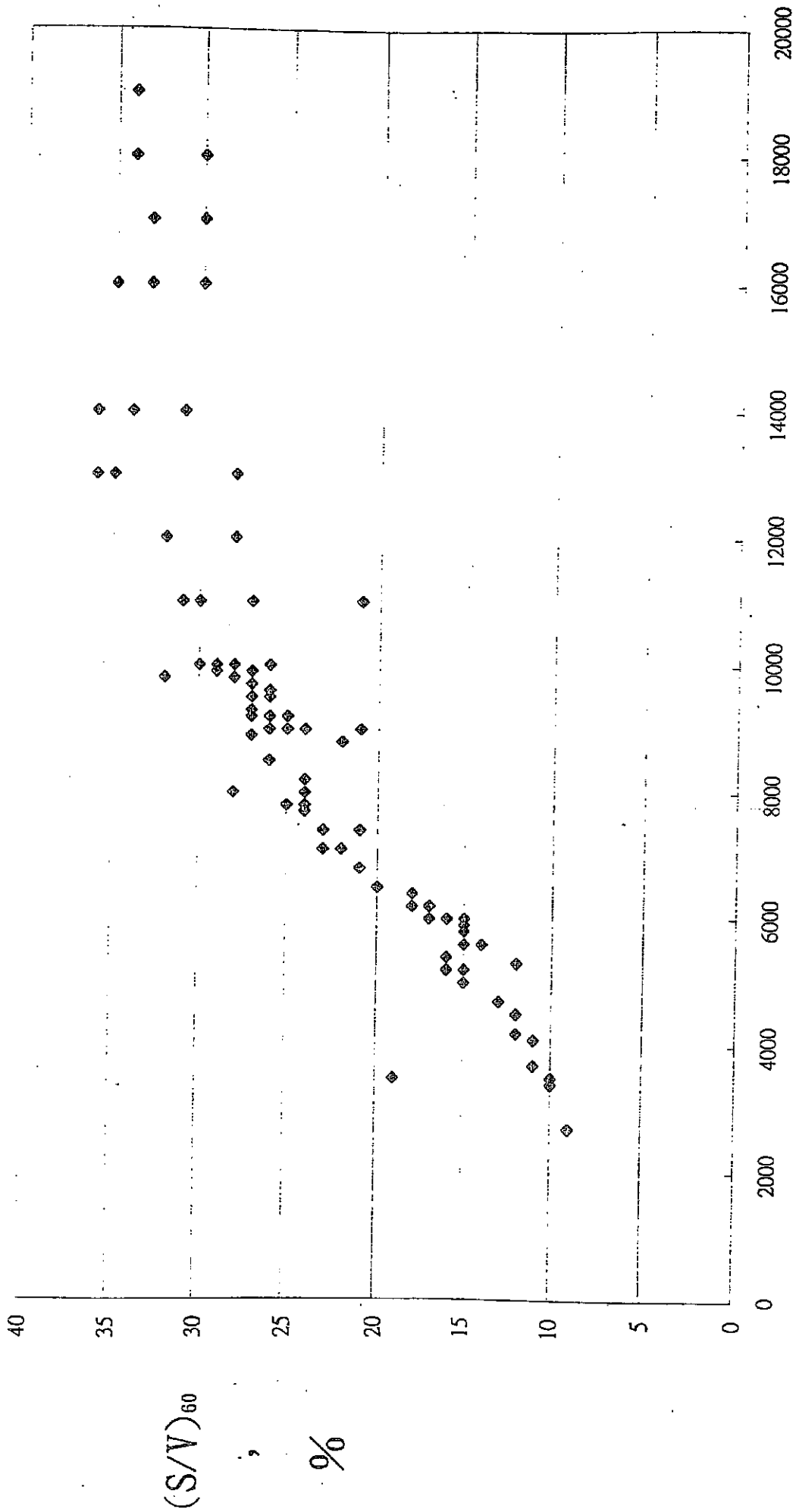


圖 16 第二階段第二系第一槽之溶氧值與 MLSS 關係圖



DO, ppm

圖 17 第二階段第二系統第一槽之沉降體積與溶氧值關係圖



MLSS, ppm

圖 18 第二階段第三系統第一槽之沉降體積與 MLSS 關係圖

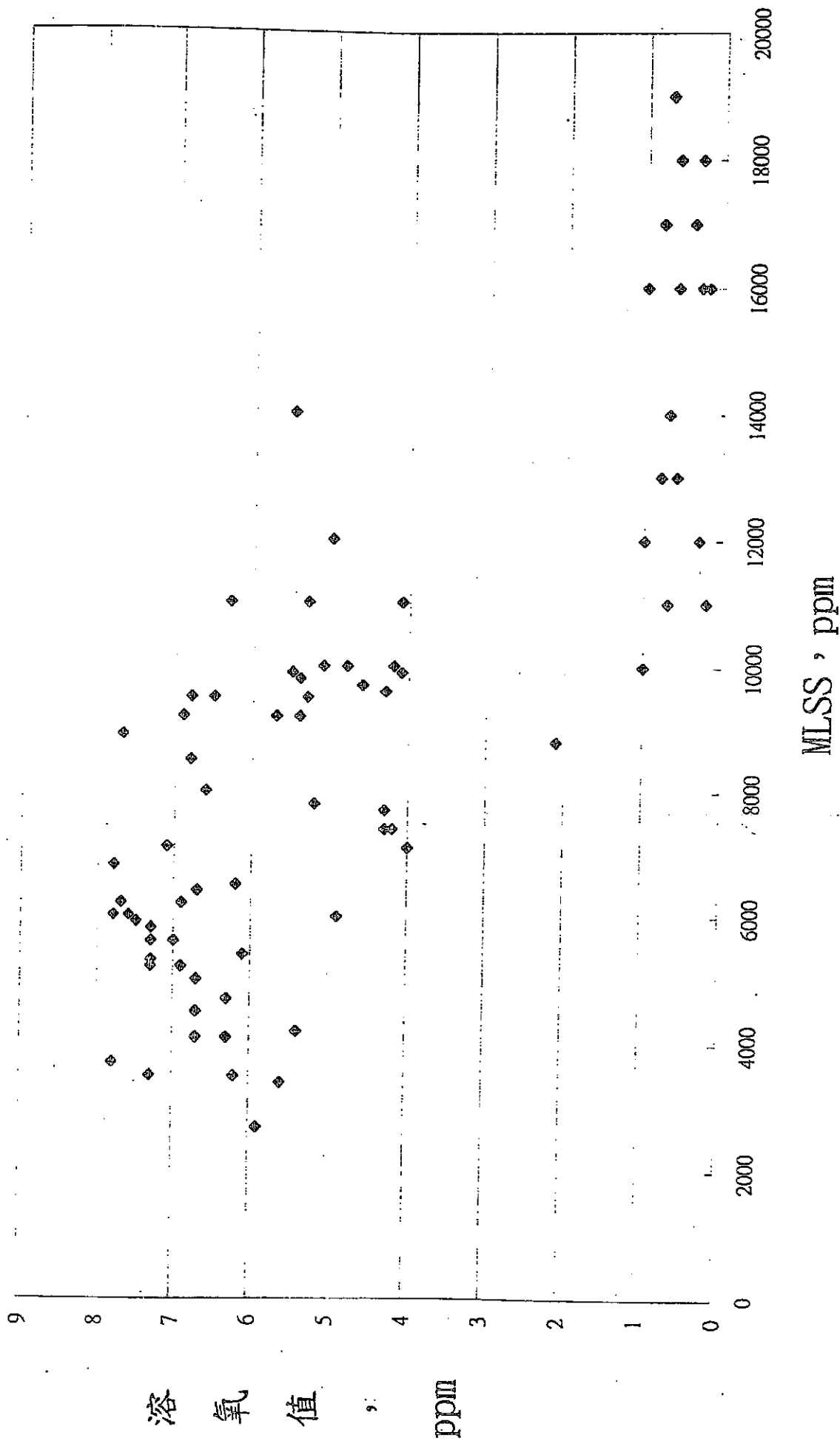
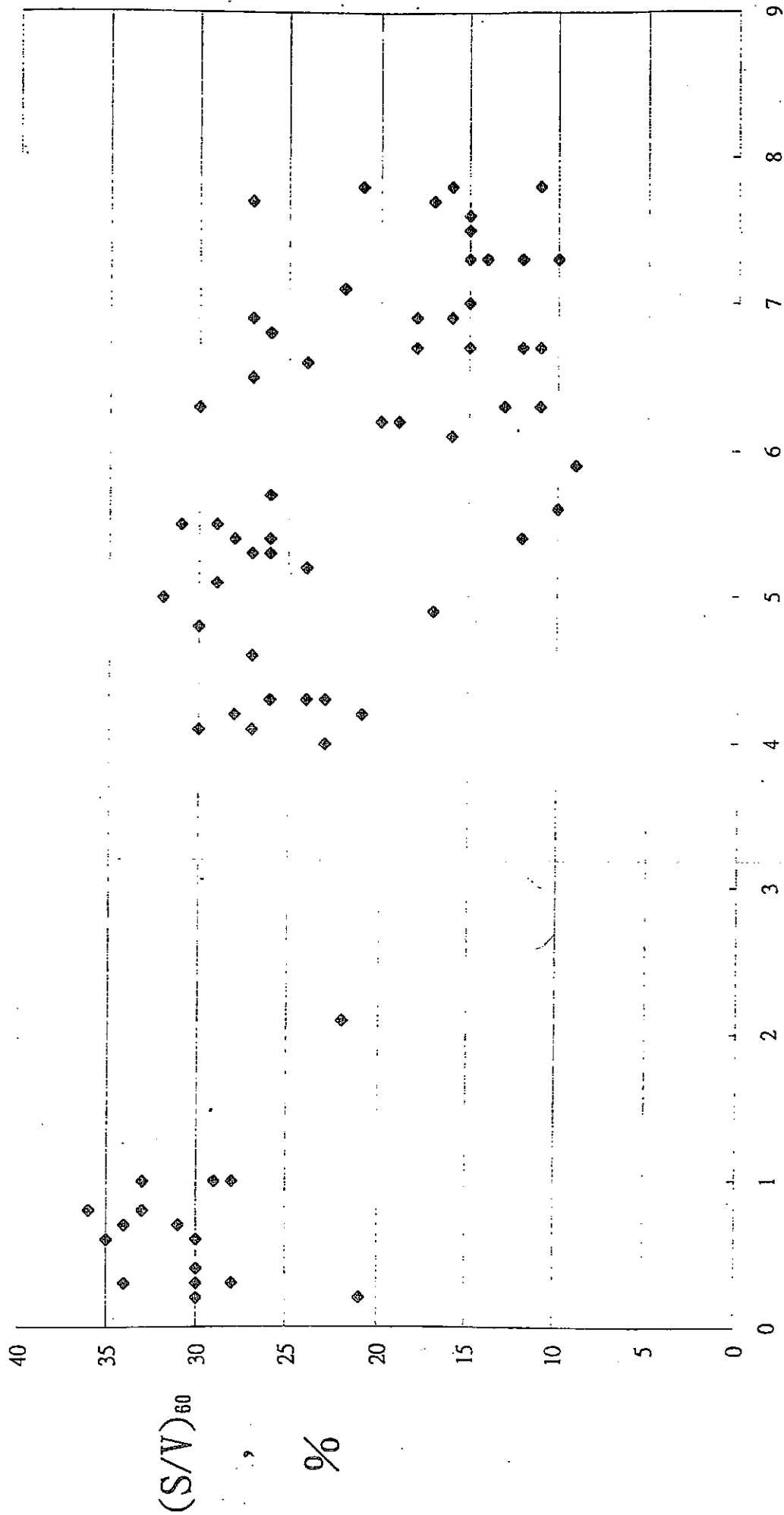


圖 19 第二階段第三系統第一槽之溶氧值與 MLSS 關係圖



DO, ppm

圖 20 第二階段第三系統第一槽之沉降體積與 DO 關係圖



試驗現象	設定值	變化值	操作條件		通氣量			通氣時間			培養液添加量			培養X	培養Y	培養Z	廢水					
			低於設定值	高於設定值	強度	中度	弱度	> 16小時	16小時	< 16小時	> 2公升	2公升	< 2公升				> 140L/D	140L/D	< 140L/D			
MLSS (ppm)	3000~5000	10%	低於設定值	高於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		
			合乎設定值	低於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
			高於設定值	低於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
沉降體積 (%)	10%	5-8	低於設定值	高於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
			合乎設定值	低於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
			高於設定值	低於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
溶氧值 (ppm)	5-8	良好	低於設定值	高於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
			合乎設定值	低於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
			高於設定值	低於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
透明度	良好	無臭味	低於設定值	高於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
			合乎設定值	低於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
			高於設定值	低於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
氣味	無臭味	無臭味	低於設定值	高於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
			合乎設定值	低於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
			高於設定值	低於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
泡沫	無臭味	無臭味	低於設定值	高於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
			合乎設定值	低於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
			高於設定值	低於設定值	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

表 1 試驗現象變化與改變程序操作條件對應表

表 2 設備數量及規格表

設備編號	設備名稱	數量	單位	規格
RB-101A/B	空壓機	2	台	風量：0.25M <sup>3</sup> ；馬力：0.4KW
P-101	沉澱槽輸送泵	1	台	流量：1.82L/min；馬力：0.2KW；壓力：7Kg
M-101	沉澱槽攪拌機	1	台	馬力：0.2KW
P-102	中繼槽定量泵	1	台	流量：76~760ml/min；馬力：0.4KW；壓力：5Kg
RB-102A/B	空壓機	2	台	風量：0.25M <sup>3</sup> ；馬力：0.4KW
P-103	混合槽輸送泵	1	台	流量：50L/min；馬力：0.4KW；壓力：0.85Kg
P-104	混合槽輸送泵	1	台	流量：50L/min；馬力：0.4KW；壓力：0.85Kg
P-105	混合槽輸送泵	1	台	流量：50L/min；馬力：0.4KW；壓力：0.85Kg
P-106	混合槽輸送泵	1	台	流量：50L/min；馬力：0.4KW；壓力：0.85Kg
M-102	壓力槽攪拌機	1	台	馬力：0.4KW
P-107	中繼槽定量泵	1	台	流量：76~760ml/min；馬力：0.4KW；壓力：5Kg
P-108	中繼槽定量泵	1	台	流量：76~760ml/min；馬力：0.4KW；壓力：5Kg

項次	分析項目	頻率	數量		備考
			第一階段	第二階段	
1	γ活度分： Cs-134, Co-60 包括 Cs-137, Sr-90, Sr-89 等	1. 第一階段試驗前半段 取樣點以第一系統為主。後半段以第一、第二系統為主。每天取樣一次 2. 第二階段試驗取樣點前半段以每日選三槽，每兩週各槽全取為主。後半段每日選四槽，每週各槽全取為主。	222	948	1. 取樣點與頻率隨核種的遷移速度與微生物培養情形增加。本組與日方人員討論決定。2. 2~6項僅第一階段試驗執行。
2	Sr-90, Sr-89	第一階段試驗平均每兩週取一次，取樣點以進料桶為主。並參照前項取樣增減。	38		
3	Gross α/ Gross β	同上	42		
4	H-3	同上	36		
5	陰陽離子： 包括 Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Na <sup>+</sup> , Ca <sup>+2</sup> 。	同上	30		
6	其他： 包括 ABS 及 TS (Total Solid)	同上	30		
7	合計			1346	

表 3 試驗樣品分析項目、取樣頻率及數量彙整表

表 4 三層段試驗廢液CS-137之比活度之數據

日期	廢水槽 S00	混合槽1 IM1	混合槽2 IM2	混合槽3 SO1	混合槽4 IM4	混合槽5 IM5	沉澱槽1 SO2	中繼槽1 SO3	混合槽6 2M1	混合槽7 2M2	混合槽8 SO4	混合槽9 2M4	混合槽10 SO5	壓力槽 2P	中繼槽2 SO6
4/10	163														
4/11	147														
4/12	148	10.2	0.39												
4/13	164	20.4	2.98												
4/14	153														
4/15	152	37.6	7.78												
4/16	154	45.4	10.5												
4/17	163			3.17											
4/18	156	63.4	21.1	5.78											
4/19	151	66.9		6.66											
4/20	154	76.2	32.5	10.8											
4/21	152	84.4	41.5												
4/22	151	88.2	46.7	18.3											
4/23	152	86.5	45.8	20	6.68	2.27									
4/24	152	86	46.6	21.2											
4/25	156	93	53.5	25.2											
4/26	158	97.1	58.9	29.6											
4/26	158	*102	*63.2	*31.7											
4/27	155	101	60.4	31.5											
4/28	154	104	65.9	34.1											
4/29	156	106	69.8	37.6											
4/30	157	111	72.1	41.4	19.6	7.37	2.92								
5/1	157	113	75.9	44.1											
5/2	156	114	80.9	49.9											
5/3	157	112	82.3	54.1	29.9	13	5.76							0.62	
5/4	161	117	88	58.1										0.69	
5/5	160	115	91.4	64.4										0.08	
5/6	163	116	100	70										0.145	
5/7	156	112	94.3	68.9	45.3	23.3	12.2							0.258	
5/8	162	117	98.2	77.7	50	28	14.6							0.28	
5/9	174	113	98.3	79.7										0.49	
5/10	156	113	99.1	83.6						6.6				0.62	
5/11	158	107	101	87.6	67.1	44.2				16.3				0.892	
5/12	190	103	99.1	84.4						19.7				1.07	
5/13	197	107	98.8	74.3						20.9				1.53	0.067
5/14	181	107	83.3	72						19					0.04
5/14	181	107	*85	72											
5/15	172	110	89.1	71.7	67.4	56.2	25.7	20.9	10.7	5.29				0.287(0.4)	0.04
5/16	189	111	88	67	66.5	55.7	25.7	20.9	10.7	5.29				0.287(0.4)	0.04
5/17	191	113	94.8	67.1	65.7	57.4	39.5	29.9	15.6	6.99				2.8	0.0594
5/17	191	*143	*130	67.1	65.7	57.4	39.5	32.8	18.5	8.06				3.34	0.0821
5/18	163	116	96.9	65.3	63.7	59	39.5	32.8	18.5	8.06				3.34	0.0821
5/19	157	120	102	67.3	65.2	60.8		38.2	21.5(28.4)	9.78(12.1)				3.98	
5/20	269	117	99	66.3	60.2	60.8		41.7						4.81	
5/20	269	*150	*143	*123	*91.9	*58.5	44.9	38.1	26.3	12.5				5.27	
5/21	269	120	100	64.9	60.9	58	44.9	38.1	*33.9	*15.6				*6.93	0.148
5/21	269	*156	*128	*94.9	*72.4	*64.5	46	43.3	28	13.7				5.97	0.149
5/21	269						46	43.3	*32.9	*15.4				*6.85	0.149
5/21	269													*1.32	*0.622

備註：\* 混合液之比活度

表 5 第一階段試驗離子濃度分析數據

(共四頁)

日期	分析項目	廢水槽 (S00)	混合槽3 (S01)	中繼槽1 (S03)	混合槽8 (S04)	中繼槽2 (S06)	曝氣槽2 (S07)	沉澱槽2 (S08)	中繼槽3 (S09)	排放液槽 (S11)
4/2	Cl <sup>-</sup> (ppm)	257								
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	86								
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	1540								
	Na (ppm)	993								
	Ca (ppm)	29								
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (ppm)									
	TS (ppm)	3000								
	ABS (ppm)	0.58								
	BOD									
	COD									
4/3	Gross α (Bq/mL)	<2.77E-02								
	Gross β (Bq/mL)	1.97E+02±7.77E-01								
	Sr-89 (Bq/mL)	<2.9E-02								
	Sr-90 (Bq/mL)	1.15E+02±1.37E-01								
	H-3 (Bq/mL)	1.36E+01±2.18E-01								
	Gross α (Bq/mL)	<6.15E-03								
	Gross β (Bq/mL)	1.71E+02±7.55E-01								
	Sr-89 (Bq/mL)	<2.9E-02								
	Sr-90 (Bq/mL)	3.81E+00±3.11E-01								
	Gross α (Bq/mL)	<6.12E-03								
4/4	Gross β (Bq/mL)	1.46E+02±6.97E-01								
	Sr-89 (Bq/mL)	<2.9E-02								
	Sr-90 (Bq/mL)	4.65E+00±3.72E-01								
	Gross α (Bq/mL)	<5.63E-03								
	Gross β (Bq/mL)	1.63E+02±7.07E-01								
	Sr-89 (Bq/mL)									
	Sr-90 (Bq/mL)									
	Gross α (Bq/mL)	7.52E-03±5.21E-03								
	Gross β (Bq/mL)	1.59E+02±6.91E-01								
	Gross α (Bq/mL)	<5.54E-03								
4/5	Gross β (Bq/mL)	1.56E+02±6.86E-01								
	Gross α (Bq/mL)	<6.15E-03								
	Gross β (Bq/mL)	1.56E+02±7.22E-01								
	Sr-89 (Bq/mL)	<2.92E-02								
	Sr-90 (Bq/mL)	6.51E+00±2.47E-01								
	Gross α (Bq/mL)	<5.54E-03								
	Gross β (Bq/mL)	1.37E+02±6.75E-01								

日期	分析項目	廢水櫃 (S00)	混合櫃?	中繼櫃1 (S03)	混合櫃8 (S04)	中繼櫃2 (S06)	曝氣櫃2	沉澱櫃2 (S08)	中繼櫃3 (S09)	排放液櫃 (S11)
4/13	Cl <sup>-</sup> (ppm)			4.1						
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)			<0.5						
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)			38.7						
	Na (ppm)			6.7						
	Ca (ppm)			21.6						
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (ppm)			無法測出						
	TS (ppm)			152						
	ABS (ppm)			0.3						
	Gross α (Bq/mL)			<5.63E-03						
	Gross β (Bq/mL)			5.81E-02±1.95E-02						
	Sr-89 (Bq/mL)			<2.9E-02						
	Sr-90 (Bq/mL)			<1.68E-02						
	H-3 (Bq/mL)									
4/17	Cl <sup>-</sup> (ppm)	254	18.6	42.4	6.9	28.2	11.8	42	38.5	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	1590	82	77.9	40.2	57.4	40.1	42	38.5	
	Na (ppm)	869	26.4	10.9	7.9	8.3	7.4	7	7.3	
	Ca (ppm)	263	20.5	55.8	19.7	28.5	25.1	22.6	10.1	
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	無法測出	無法測出	無法測出	無法測出	無法測出	無法測出	無法測出	無法測出	
	TS (ppm)	12400	419	765	275	580	322	216	170	
	ABS (ppm)	無法測定	0.22	0.31	0.3	0.27	0.14	0.13	0.31	
	Gross α (Bq/mL)	<6.12E-03	<6.15E-03	7.32E-03±5.21E-03	<5.63E-03	<6.12E-03	<6.15E-03	7.32E-03±5.21E-03	<5.63E-03	
	Gross β (Bq/mL)		1.42E+00±6.97E-02	<1.69E-02	<2.54E-02	<2.88E-02	<2.05E-02	<1.69E-02	<2.54E-02	
	Sr-89 (Bq/mL)	<2.90E-02	<2.9E-02	<2.9E-02	<2.9E-02	<2.9E-02	<2.9E-02	<2.9E-02	<2.9E-02	
	Sr-90 (Bq/mL)	<1.68E-02	<1.68E-02	<1.68E-02	<1.68E-02	<1.68E-02	<1.68E-02	<1.68E-02	<1.68E-02	
	H-3 (Bq/mL)	1.18E+01±2.04E-01	3.27E-01±5.71E-02	<7.88E-02	<7.88E-02	<7.88E-02	<7.88E-02	<7.88E-02	<7.88E-02	
4/23	Gross β (Bq/mL)	6.13E-03±4.85E-03								
	Sr-89 (Bq/mL)	1.51E+02±6.8E-01								
	Sr-90 (Bq/mL)	<2.9E-02								
	H-3 (Bq/mL)	<1.68E-02								
	Cl <sup>-</sup> (ppm)	286	27.5			26.1			5.1	1.6
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	<1.0	<1.0			<1.0			<1.0	1.8
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	1400	60.6			61.9			40.1	36.3
	Na (ppm)	880	13.1			9.8			6.6	6.2
	Ca (ppm)	21	53.6			43.4			23.9	21.9
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	無法測出	無法測出			無法測出			無法測出	無法測出
	TS (ppm)	292	685			492			209	160
	ABS (ppm)	無法測定	無法測出			0.24			0.28	0.1
	Gross α (Bq/mL)	8.14E-03±5.51E-03	<5.54E-03			<6.15E-03			<6.12E-03	<5.07E-03
Gross β (Bq/mL)	1.39E+02±6.53E-01	6.31E-01±4.45E-02			2.34E-02±1.42E-02			3.41E-02±1.95E-02	<2.5E-02	
Sr-89 (Bq/mL)	<2.9E-02	<2.9E-02			<2.9E-02			<2.9E-02	<2.9E-02	
Sr-90 (Bq/mL)	<1.68E-02	<1.68E-02			<1.68E-02			<1.68E-02	<1.68E-02	
H-3 (Bq/mL)	1.16E+01±2.01E-01	1.45E-01±4.92E-02			<7.47E-02			<7.47E-02	<6.82E-02	

日期	分析項目	廢水槽 (S00)	混合槽3 (S01)	中繼槽1 (S03)	混合槽8 (S04)	中繼槽2 (S06)	曝氣槽2 (S07)	沉澱槽2 (S08)	中繼槽3 (S09)	排放液槽 (S11)
4/26	Gross α (Bq/mL)	8.41E-03±5.51E-03								
	Gross β (Bq/mL)	1.58E+02±6.95E-01								
	Sr-89 (Bq/mL)	<2.9E-02								
	Sr-90 (Bq/mL)	<1.68E-02								
	H-3 (Bq/mL)	1.31E+01±2.34E-01								
4/30	Gross α (Bq/mL)	6.89E-02±1.39E-02								
	Gross β (Bq/mL)	1.28E+02±5.95E-01								
	Sr-89 (Bq/mL)	<2.90E-02								
	Sr-90 (Bq/mL)	<1.68E-02								
	H-3 (Bq/mL)	1.16E+01±2.01E-01								
5/1	Cl <sup>-</sup> (ppm)	262	25.4	25.4		21.1			8.5	2.1
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	<1.0	7.1	7.1		<1.0			<1.0	<1.0
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	605	33.7	33.7		121			41.5	4.1
	Na (ppm)	897	29.5	29.5		11.1			7.7	6.9
	Ca (ppm)	36.6	46.5	46.5		60.8			28.5	20.2
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	無法測出	無法測出	無法測出		無法測出			無法測出	無法測出
	TS (ppm)	6820	731	731		815			226	133
	ABS (ppm)	無法測出	0.34	0.34		0.16			0.14	0.09
	Gross α (Bq/mL)	<5.63E-03	<5.54E-03	<5.54E-03		<6.15E-03			<6.12E-03	<5.07E-03
	Gross β (Bq/mL)	1.29E+02±6.28E-01	3.08E+00±9.67E-02	3.08E+00±9.67E-02		3.72E-02±1.85E-02			<2.31E-02	<2.5E-02
	Sr-89 (Bq/mL)	<2.9E-02	<2.9E-02	<2.9E-02		<2.9E-02			<2.9E-02	<2.9E-02
	Sr-90 (Bq/mL)	<1.68E-02	<1.68E-02	<1.68E-02		<1.68E-02			<1.68E-02	<1.68E-02
	H-3 (Bq/mL)	1.01E+01±1.9E-01	7.61E-01±6.93E-02	7.61E-01±6.93E-02		1.7E-01±5.35E-02			1.33E-01±5.2E-02	7.4E-01±5.33E-02
5/3	Gross α (Bq/mL)	<6.15E-03								
	Gross β (Bq/mL)	1.34E+02±7.18E-01								
	Sr-89 (Bq/mL)	<2.9E-02								
	Sr-90 (Bq/mL)	<1.68E-02								
	H-3 (Bq/mL)	1.35E+01±2.37E-01								
5/7	Gross α (Bq/mL)	<5.63E-03								
	Gross β (Bq/mL)	1.39E+02±6.52E-01								
	Sr-89 (Bq/mL)	<2.9E-02								
	Sr-90 (Bq/mL)	<1.68E-02								
	H-3 (Bq/mL)	1.41E+01±2.42E-01								
5/8	Cl <sup>-</sup> (ppm)	220	54	54					14.2	2.4
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	66	11.2	11.2		26.3			4.1	<0.5
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	910	154	154		6.5			42.4	11.6
	Na (ppm)	930	88.5	88.5		66.7			9.3	8
	Ca (ppm)	68.8	63.2	63.2		58			33.5	23.8
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	無法測出	無法測出	無法測出		無法測出			無法測出	無法測出
	TS (ppm)	163	286	286		870			1240	8390
	ABS (ppm)	干澱	0.5	0.5		0.15			0.08	<0.01
	Gross α (Bq/mL)	<5.63E-03	<5.54E-03	<5.54E-03		<6.15E-03			<6.02E-03	<5.07E-03
	Gross β (Bq/mL)	4.6E+02± 6.69E-01	1.06E+01±1.79E-01	1.06E+01±1.79E-01		1.06E-01±2.19E-02			2.24E-01±3.01E-02	6.68E-02±1.93E-02
	Sr-89 (Bq/mL)	<2.90E-02	<2.90E-02	<2.90E-02		<2.90E-02			<2.90E-02	<2.90E-02
	Sr-90 (Bq/mL)	<1.68E-02	<1.68E-02	<1.68E-02		<1.68E-02			<1.68E-02	<1.68E-02
	H-3 (Bq/mL)	1.34E+01±2.36E-01	1.18E+00±8.76E-02	1.18E+00±8.76E-02		1.37E-01±6.00E-02			<9.36E-02	<7.96E-02

日期	分析項目	廢水槽 (S00)	混合槽3 (S01)	中繼槽1 (S03)	混合槽8 (S04)	中繼槽2 (S06)	曝氣槽2 (S07)	沉澱槽2 (S08)	中繼槽3 (S09)	排放液槽 (S11)
5/14	Gross $\alpha$ (Bq/mL)	< 6.12E-03								
	Gross $\beta$ (Bq/mL)	1.64E+02±7.39E-01								
	Sr-90 (Bq/mL)	< 2.90E-02								
	H-3 (Bq/mL)	< 1.68E-02								
	H-3 (Bq/mL)	1.38E+01±2.40E-01								
5/15	Cl <sup>-</sup> (ppm)	226	54	112		29.2				5.1
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	11.8	11.2	< 1.0		< 1.0				< 1
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	444	154	122		66.5				28.8
	Na (ppm)	887	88.5	189		12.7				8.6
	Ca (ppm)	27	63.2	98		61				29
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	無法測出	無法測出	無法測出		無法測出				無法測出
	TS (ppm)	1480	286	260		814				195
	ABS (ppm)	無法測出	0.5	0.71		0.19				0.05
	Gross $\alpha$ (Bq/mL)	< 5.63E-03		< 5.54E-03		< 6.15E-03				< 5.07E-03
	Gross $\beta$ (Bq/mL)	1.36E+02±6.44E-01		8.28+00E-158E-01		5.26E-02±1.98E-02				2.55E-02±1.61E-02
	Sr-89 (Bq/mL)	< 2.92E-02		< 2.92E-02		< 2.92E-02				< 2.92E-02
	Sr-90 (Bq/mL)	< 1.68E-02		< 1.68E-02		< 1.68E-02				< 1.68E-02
	H-3 (Bq/mL)	1.07E+01±2.10E-01		2.89E+00±1.17E-01		< 8.29E-02				< 8.29E-02
Gross $\alpha$ (Bq/mL)	< 6.15E-03									
Gross $\beta$ (Bq/mL)	1.89E+02±7.94E-01									
Sr-89 (Bq/mL)	< 2.90E-02									
Sr-90 (Bq/mL)	< 1.68E-02									
H-3 (Bq/mL)	1.20E+01±2.24E-01									



表 6 5月21日第一階段試驗結束系統體積及Cs-137總活度計算

桶槽編號	日期 容積及活度	5月21日		
		系統體積(L)	混合液比活度(Bq/cc)	澄清液比活度(Bq/cc)
1M1(混合槽1)		900.00	156.00	120.00
1M2(混合槽2)		900.00	128.00	100.00
SO1(混合槽3)		900.00	94.90	64.90
1M4(混合槽4)		900.00	72.40	60.90
1M5(混合槽5)		900.00	64.50	58.00
SO2(沉澱槽1)		1000.00	46.00	46.00
SO3(中繼槽1)		200.00	43.30	43.30
2M1(混合槽6)		900.00	32.90	28.00
2M2(混合槽7)		900.00	15.40	13.70
SO4(混合槽8)		900.00	6.85	5.97
2M4(混合槽9)		900.00	2.97	2.53
SO5(混合槽10)		900.00	1.32	1.12
2P(壓力槽)		500.00	0.62	0.18
SO6(中繼槽2)		1000.00	0.15	0.15
3M1(瀑氣槽1)		500.00	0.00	0.00
3M2(瀑氣槽2)		500.00	0.00	0.00
SO7(瀑氣槽3)		500.00	0.00	0.00
3M4(瀑氣槽4)		500.00	0.00	0.00
SO8(沉澱槽2)		700.00	0.00	0.00
BC(生物觸媒槽)		1000.00	0.00	0.00
SO9(中繼槽3)		200.00	0.00	0.00
S12(處理水槽)		0.00	0.00	0.00
S12-2		0.00	0.00	0.00
S12-3		0.00	0.00	0.00
S12-4		0.00	0.00	0.00
系統總容積(L)		15600		
澄清液總活度(Bq)		464507500		
混合液總活度(Bq)		572836000		

表 7 第一階段試驗廢水進料量及Cs-137總活度計算表

日期	廢水進料量(L)	進料總活度 (Bq)	處理系統總活度 (Bq)	進出差異總活度 (Bq)
4/10	100	16300000	0	16300000
4/11	100	31000000	0	31000000
4/12	100	45800000	9531000	36269000
4/13	100	62200000	21042000	41158000
4/14	100	77500000	0	77500000
4/15	100	92700000	40842000	51858000
4/16	100	108100000	50310000	57790000
4/17	100	124400000	2853000	121547000
4/18	100	140000000	81252000	58748000
4/19	100	155100000	66204000	88896000
4/20	100	170500000	107564000	62936000
4/21	100	185700000	113343800	72356200
4/22	100	200800000	137955200	62844800
4/23	30	205360000	146005000	59355000
4/24	160	229680000	138543000	91137000
4/25	100	245280000	154702000	90578000
4/26	100	261080000	167280000	93800000
4/27	100	276580000	173846000	102734000
4/28	107	293058000	183940000	109118000
4/29	107	309750000	192452000	117298000
4/30	109	326863000	229631000	97232000
5/1	116.7	345184900	210304000	134880900
5/2	114.9	363109300	221628000	141481300
5/3	110.3	380426400	269565000	110861400
5/4	114	398780400	237930000	160850400
5/5	116.6	417436400	245096500	172339900
5/6	122.6	437420200	255768200	181652000
5/7	109	454424200	323766000	130658200
5/8	103.9	471256000	351251000	120005000
5/9	109	490222000	273268000	216954000
5/10	101.3	506024800	270192800	235832000
5/11	103.8	522425200	371173300	151251900
5/12	102	541805200	263443000	278362200
5/13	102	561899200	255890000	306009200
5/14	84.1	577121300	281985300	295136000
5/15	104.5	595095300	360160000	234935300
5/16	99.5	613900800	378264460	235636340
5/17	86.7	630460500	433684600	196775900
5/18	100	646760500	400184000	246576500
5/19	80	659320500	386439000	272881500
5/20	106	687834500	456318000	231516500
5/21	40	698594500	464508000	234086500
合計	4239.9	698594500	572837000	163417500
6/15	140	736254500	627435000	108819500
進料總量 (L)	4379.9			

表 8 第一階段試驗Cs-137活度進出平衡計算表

日期	廢水進料總量 (L)	廢水進料總活度 (Bq)	處理系統總活度 (Bq)	取樣總活度 (Bq)	進出差異總活度 (Bq)	進出差異百分率
5/21(澄清液)	4,239.9	698,594,500	464,508,000	4,101,300	229,985,200	32.92%
5/21(混合液)	4,239.9	698,594,500	572,837,000	4,101,300	121,656,200	17.41%
6/15(混合液)	4,379.9	736,254,500	627,435,000	4,101,300	104,718,200	14.22%

表 9 第二階段試驗混合液Cs-137之比活度分析數據表

日期	混合槽1	混合槽2	混合槽3	混合槽4	混合槽5	沉澱槽1	中繼槽1	混合槽6	混合槽7	混合槽8	混合槽9	混合槽1	壓力槽	中繼槽2	曝氣槽1	曝氣槽2	曝氣槽3	曝氣槽4	沉澱槽2	BIO槽	中繼槽3	處理水槽		
5/21	156.00	128.00	94.90	72.40	64.50	46.00	43.30	32.90	15.40	6.85	2.97	1.32	0.62	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6/15	165.00	127.00	126.00	90.20	69.60	39.00	21.20	35.70	19.80	8.44	3.88	1.80	0.78	0.23	0.57	0.41	0.34	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	
6/29	81.60	44.60	52.80	67.40	80.20	83.20	76.50	79.40	59.10	42.50	30.90	20.30	13.00	7.09	5.93	3.63	2.00	1.12	0.70	0.40	0.36	0.00	0.00	
7/13	38.00	42.10	39.00	40.40	49.40	53.30	58.60	71.50	67.90	67.70	57.40	46.80	24.00	27.90	24.30	15.40	10.90	8.09	5.81	3.25	3.00	0.00	0.00	
7/24	23.10	26.00	28.40	34.10	34.60	27.80	29.90	47.60	51.60	56.00	59.50	51.80	43.60	34.00	31.00	20.70	17.20	14.20	13.00	8.90	8.06	1.96	0.00	
7/31	21.10	19.20	19.30	23.30	27.80	26.80	28.20	41.30	42.10	47.70	51.50	49.80	47.70	41.40	45.00	30.50	25.80	20.00	16.70	12.10	11.50	3.36	0.00	
8/7	17.60	15.40	15.50	18.90	20.40	21.40	22.60	36.00	34.20	38.00	44.20	41.20	39.70	40.50	51.90	38.00	33.70	28.60	25.30	19.80	18.80	6.95	0.00	
8/14	22.40	19.10	13.80	14.80	14.60	16.50	16.80	29.00	28.50	33.80	37.30	41.00	37.20	39.20	43.20	44.10	39.50	34.30	30.90	26.80	26.20	12.90	0.00	
8/21	31.60	22.60	15.50	13.70	12.00	11.30	12.20	21.60	25.00	26.70	29.40	32.60	34.60	34.60	41.20	42.10	41.70	40.30	36.50	33.00	33.60	19.50	0.00	
8/28	36.50	27.40	18.80	14.70	11.20	8.61	8.97	16.30	17.10	20.60	25.40	27.70	28.10	27.30	37.10	31.70	30.80	29.00	26.90	27.50	28.70	22.30	0.00	
9/6	35.50	28.50	19.20	15.60	10.80	8.74	8.75	14.50	14.30	18.00	22.90	24.60	22.20	23.00	30.30	26.90	31.70	29.10	23.30	23.20	23.20	22.40	0.00	
9/13	33.90	18.00	14.80	15.90	13.40	9.48	9.50	13.10	12.30	14.50	16.70	21.50	18.20	20.30	32.10	22.60	22.10	24.80	22.90	23.60	23.60	22.80	0.00	
9/20	31.80	17.70	12.70	14.20	13.00	8.34	8.71	13.80	11.40	14.70	17.40	20.90	16.50	17.80	45.50	30.30	38.40	56.00	19.00	21.60	21.80	22.40	0.00	
9/30	26.60	14.60	11.40	11.50	11.20	16.10	8.69	16.00	12.50	13.20	14.00	15.90	12.40	14.30	25.70	25.10	38.60	50.00	42.40	17.20	16.00	21.20	0.00	
9/30	27.50	14.90	12.00	11.40	11.10	16.20	8.45	13.70	13.00	13.10	14.30	15.80	12.50	14.80	27.20	28.90	39.00	48.70	43.70	16.90	15.90	21.10	0.00	
10/8	31.40	18.40	13.90	11.70	10.20	12.20	6.68	14.10	11.50	11.90	13.50	14.80	10.30	11.00	48.90	18.40	33.10	33.30	47.00	13.70	11.90	17.00	0.00	
10/12	32.90	19.00	14.20	10.20	10.20	10.40	10.50	18.70	11.00	11.40	12.90	14.20	12.10	10.50	35.60	31.40	31.40	41.30	41.30	12.90	10.50	17.00	0.00	
10/12																						16.50	0.00	
10/12																							17.70	0.00
10/12																							16.60	0.00

備註：單位 Bq/cc

表 10 第一階段試驗系統容積及Cs-137總活度計算

桶槽編號	7/14日至9/10日		9月30日 (樣品一)		9月30日 (樣品二)		10月8日		10月12日	
	液體容積	比活度(Bq/cc)	液體容積	比活度(Bq/cc)	液體容積	比活度(Bq/cc)	液體容積	比活度(Bq/cc)	液體容積	比活度(Bq/cc)
1M1(混合槽1)	900	26.6	900	27.5	900	27.5	900	31.4	902	32.9
1M2(混合槽2)	900	14.6	900	14.9	900	14.9	900	18.4	867	19
SO1(混合槽3)	900	11.4	900	12	900	12	900	13.9	849	14.2
1M4(混合槽4)	900	11.5	900	11.4	900	11.4	900	11.7	885	10.2
1M5(混合槽5)	900	11.2	900	11.1	900	11.1	900	10.2	928	10.2
SO2(沉澱槽1)	1000	16.1	869	16.2	869	16.2	869	12.2	795	10.4
SO3(中繼槽1)	200	8.69	230	8.45	230	8.45	165	6.68	151	10.5
2M1(混合槽6)	900	16	900	13.7	900	13.7	830	14.1	795	18.7
2M2(混合槽7)	900	12.5	900	13	900	13	900	11.5	885	11
SO4(混合槽8)	900	13.2	900	13.1	900	13.1	900	11.9	905	11.4
2M4(混合槽9)	900	14	900	14.3	900	14.3	900	13.5	873	12.9
SO5(混合槽10)	900	15.9	900	15.8	900	15.8	900	14.8	916	14.2
2P(壓力槽)	500	12.4	660	12.5	660	12.5	600	10.3	552	12.1
SO6(中繼槽2)	1000	14.3	860	14.8	860	14.8	680	11	589	10.5
3M1(曝氣槽1)	500	25.7	500	27.2	500	27.2	500	48.9	963	35.6
3M2(曝氣槽2)	500	25.1	500	28.9	500	28.9	500	18.4		
SO7(曝氣槽3)	500	38.6	500	39	500	39	500	33.1	1001	31.4
3M4(曝氣槽4)	500	50	500	48.7	500	48.7	500	33.3		
SO8(沉澱槽2)	700	42.4	700	43.7	700	43.7	700	47	694	41.3
BC(生物觸媒槽)	1000	17.2	1000	16.9	1000	16.9	1000	13.7	837	12.9
SO9(中繼槽3)	200	16	117	15.9	117	15.9	110	11.9	119	10.5
S12(處理水槽)	3000	21.2	3707	21.1	3707	21.1	3868	17	1000	17
S12-2									1000	16.5
S12-3									1000	16.7
S12-4									932	16.6
處理系統總容積(L)	18600		19143		19143		18922		18438	
處理系統總活度(Bq)		365722000		368587300		341152000			330696200	

←3M1及3M2合併測

←SO7及3M4合併測

表 11 10月12日處理系統體積及Cs-137總活度計算表

桶槽編號	液體		混合液		上澄液		固形物	
	容積及活度	體積(L)	比活度(Bq/cc)	體積(L)	比活度(Bq/cc)	體積(L)	比活度(Bq/cc)	
1M1(混合槽1)		902	32.9		629	15.2	273	61.7
1M2(混合槽2)		867	19		637	10.7	230	28.8
SO1(混合槽3)		849	14.2		631	8.23	218	27.4
1M4(混合槽4)		885	10.2		734	6.91	151	24.8
1M5(混合槽5)		928	10.2		827	7.14	101	24.9
SO2(沉澱槽1)		795	10.4		707	7.66	88	32.2
SO3(中繼槽1)		151	10.5		151	10.5	0	
2M1(混合槽6)		795	18.7		655	6.5	140	48.8
2M2(混合槽7)		885	11		785	7.23	100	28.3
SO4(混合槽8)		905	11.4		812	8.3	93	26.2
2M4(混合槽9)		873	12.9		752	9.28	121	25
SO5(混合槽10)		916	14.2		771	9.34	145	24
2P(壓力槽)		552	12.1		484	8.75	68	317
SO6(中繼槽2)		589	10.5		589	10.5	0	
3M1(曝氣槽1)		963	35.6		853	38.1	110	38.6
3M2(曝氣槽2)							0	
SO7(曝氣槽3)		1001	31.4		931	8.03	70	371
3M4(曝氣槽4)							0	
SO8(沉澱槽2)		694	41.3		603	6.08	91	31.4
BC(生物觸媒槽)		837	12.9		837	12.9	0	
SO9(中繼槽3)		119	10.5		119	10.5	0	
S12(處理水槽)		1000	17		1000	17	0	
S12-2		1000	16.5		1000	16.5	0	
S12-3		1000	16.7		1000	16.7	0	
S12-4		932	16.6		932	16.6	0	
混合液總容積(L)		18438						
混合液總活度(Bq)		330696200						
上澄液總體積(L)		16439						
上層液總活度(Bq)		202178990						
固形物總體積(L)		1999						
固形物總活度(Bq)		111767600						
分層液總活度(Bq)		313946590						

表 12 第二階段試驗混合液進出活度差異百分率變化表

日期	進料總活度 (Bq)	處理系統總活度 (Bq)	出差異總活度 (Bq)	混合液進出活度差異百分率
5/21	698594500	464508000	234086500	33.51%
5/21	698594500	572837000	125757500	18.00%
6/15	736254500	627435000	108819500	14.78%
6/29	736254500	622312000	113942500	15.48%
7/13	736254500	610362000	125892500	17.10%
7/24	736254500	528052000	208202500	28.28%
7/31	736254500	503300000	232954500	31.64%
8/7	736254500	477750000	258504500	35.11%
8/14	736254500	479450000	256804500	34.88%
8/21	736254500	479690000	256564500	34.85%
8/28	736254500	429154000	307100500	41.71%
9/6	736254500	398450000	337804500	45.88%
9/13	736254500	361020000	375234500	50.97%
9/20	736254500	376396300	359858200	48.88%
9/30 (樣品一)	736254500	365722000	370532500	50.33%
9/30 (樣品二)	736254500	368587300	367667200	49.94%
10/8	736254500	341152000	395102500	53.66%
10/12	736254500	330696200	405558300	55.08%

5/21日第一階段實驗結束：上澄液進出活度差異百分率

5/21日第一階段實驗結束：混合液進出活度差異百分率

6/15日第二階段實驗開始：混合液進出活度差異百分率

6/15日至9/13日之間取樣方式：各混合槽只經中度空氣攪拌後就取樣。

9/20日取樣方式：除沉澱槽外，各混合槽均經強度空氣攪拌、泵循環及人工攪動後才取

9/30日及10/8日(第二階段實驗結束)取樣方式：沉澱槽及混合槽均經空氣強度攪拌、泵循環及人工攪動後才取樣；混合液體積依實際液位高度計算。

10/8日至10/12日總檢驗證取樣方式：各槽利用泵輸送至測量槽，測量體積及攪拌後才取樣。

備註：生物觸媒槽之濾布總活度計算值為 (189000Bq) ，併入洗滌液計算活度。

編號	體積 (L)	比活度 (Bq/cc)	總活度 (Bq)
0614W	200	6.97	1394000
0623W	130	6.63	861900
0701W	140	5.04	705600
0708W	150	2.67	400500
0713W	150	7.65	1147500
0721W	170	2.23	379100
0727W	180	7.63	1373400
0802W	160	11.9	1904000
0804W	80	7.5	600000
0812W	150	4.06	609000
0817W	170	14.4	2448000
0821W	175	15	2625000
0825W	170	12.2	2074000
0829W	155	3.26	505300
0905W	159	1.12	178080
0914W	160	5.19	830400
0923W	135	1.88	253800
0930W1	130	3.63	471900
0930W2	95	17	1615000
0930W3	90	3.11	279900
1007W	130	2.31	300300
1012W	135	13.7	1849500
1013W	140	15.7	2198000
1015W	135	21.5	2902500
1017W	170	19.1	3247000
生物觸媒槽之濾布			189000
洗滌液總活度(Bq)			31342680

表 13 洗滌液Cs-137總活度計算表



表 14 取樣Cs-137總活度計算表

日期	活度	總活度(Bq)
第一階段試驗(4/10日至5/21日)		4101300
第二階段試驗(6/15日至9/30日)		3149010
合計取樣總活度 (Bq)		7250310

表 15 排氣Cs-137總活度計算表

日期	活度	30分鐘排出平均活度(Bq)	每槽每天排出活度(Bq)	排出總活度(Bq)
第一階段試驗(4/10日至5/21日，共42天)				
第一系統通氣12小時(五個槽)		0.23	5.42	1139.04
第二系統停氣12小時(六個槽)		0.15	3.60	907.20
第二階段試驗(6/15日至9/30日，共118天)				
第一系統通氣6小時(五個槽)		0.81	9.68	5713.56
第二系統停氣18小時(六個槽)		0.54	19.51	13814.50
合計總活度 (Bq)				21574.30

表 16 桶壁附著Cs-137總活度計算表

1. PE桶槽

項目	活度	澄清液平均活度(Bq/cc)	平均活度(Bq/cm <sup>2</sup> )	槽總面積(cm <sup>2</sup> )	總活度(Bq)
PE桶槽(一週吸附試驗)					
第一系統(5個槽)		80.74	4.89	280280.00	1370569.20
PE桶槽(15天吸附試驗)					
第一系統(5個槽)		15.72	0.48	280280.00	134534.40

2. 鐵質桶槽

項目	活度	混合液平均活度(Bq/cc)	平均活度(Bq/cm <sup>2</sup> )	槽總面積(cm <sup>2</sup> )	總活度(Bq)
鐵質桶槽(一週吸附試驗)					
第三系統4個槽及沉澱槽		31	0.02	86110.00	1894.42
鐵質桶槽(15天吸附試驗)					
第三系統4個槽及沉澱槽		25.4	1.69	86110.00	145525.90

備註：當澄清液平均活度為15Bq/cc時，PE桶槽15天吸附試驗，吸附平均活度為0.48Bq/cc，鐵質桶槽15天吸附試驗，吸附平均活度為1.69Bq/cc，最後總檢驗附著桶壁青苔或微生物均刮除清洗，經擦拭檢驗測試值均為背景值，另外管線也經拆卸清洗及復原，所有清出液體併入洗滌液計算活度，因此桶壁附著總活度不再另列入計算。

表 17 第二階段試驗Cs-137總活度進出平衡計算表

日期	原水進料總量 (L)	原水進料總活度 (Bq)	處理系統總活度 (Bq)	洗滌液總活度 (Bq)	取樣總活度 (Bq)	進出差異總活度 (Bq)	進出差異百分率
2001/9/30 (樣品一)	4,379.9	736,254,500	365,722,000	31,342,680	7,250,310	331,939,510	45%
2001/9/30 (樣品二)	4,379.9	736,254,500	368,587,300	31,342,680	7,250,310	329,074,210	45%
2001/10/8	4,379.9	736,254,500	341,152,000	31,342,680	7,250,310	356,509,510	48%
2001/10/12	4,379.9	736,254,500	330,696,200	31,342,680	7,250,310	366,965,310	50%

備註：原水進料總量4379.9L及原水進料總活度736254500Bq為4/10至6/15每日累計量。

表 18 第二階段試驗Cs-137總活度進出平衡計算表

日期	廢水進料總量 (L)	廢水比活度 (Bq/cc)	廢水進料總活度 (Bq)	處理系統總活度 (Bq)	洗滌液總活度 (Bq)	取樣總活度 (Bq)	進出差異總活度 (Bq)	進出差異百分率
2001/9/30 (樣品一)	3696	189	698,544,000	365,722,000	31,342,680	7,250,310	294,229,010	42%
2001/9/30 (樣品二)	3696	189	698,544,000	368,587,300	31,342,680	7,250,310	291,363,710	42%
2001/10/8	3696	189	698,544,000	341,152,000	31,342,680	7,250,310	318,799,010	46%
2001/10/12	3696	189	698,544,000	330,696,200	31,342,680	7,250,310	329,254,810	47%

備註：原水進料總活度698544000Bq，為依量測液位高度計算原水總量3696L，再乘以原水比活度189Bq/cc。

A B C D  
 $E = A - (B + C + D)$

表19 固液活度比測試數據表

樣品編號	液相體積 (ml)	液相比活度 (Bq/ml)	濕固相重量 (g)	乾固相比活度 (Bq/g)	取樣固相乾/濕重 (g)	固/液活度比
0717-1M1	200	13.1	1631	728.70	0.6628/21.89	55.63
0717-1M2	200	17.7	1169	1241.50	0.6210/21.47	70.14
0717-SO1	1600	24.6	388	1716.00	0.3275/19.96	69.76
0717-1M4	1720	30.5	267	2150.50	0.5022/27.88	70.51
0717-1M5	1860	34.7	158	2541.70	0.2097/17.95	73.25
0717-2M1	1640	45.1	367	3072.40	0.2755/18.79	68.12
0717-2M2	1800	51.4	198	5009.10	0.1367/15.75	97.45
0717-SO4	1760	53.4	238	6202.50	0.2499/18.48	116.15
0717-2M4	1740	46.6	227	2947.90	0.3494/18.59	63.26
0717-SO5	1800	39.7	158	6390.90	0.1366/16.74	160.98
0717-3M1	1410	15.9	557	1088.60	0.4143/20.01	68.47
0717-3M2	1720	15.4	118	2671.90	0.1265/16.61	173.50

付属文書一： バイオ液の調合手順

操作期間：4日間（2001年3月31日～4月3日）

参加者：高嶋所2人；核能研究所2人。

操作手順：

1. 3月31日：(1) 本チームは1トン容積の長方形槽を用意し、38℃の500L水を入れ、15Kgの糖蜜を投入して3%濃度の液体に作り、人力で上下攪拌する（目的は本土微生物の導入）、15分後、増殖液200Kgを投入、また攪拌をする。約5～10分後、ポンプで1トン蓋付きの円形バイオ液槽に送し、強レベルで5分空気攪拌した後、中レベル空気攪拌をする。(2) 上述の手順で繰り返し、第二槽バイオ液を作る。
2. 4月1日：人力で攪拌をし、15分後、中レベルの空気攪拌にする。
3. 4月2日：各バイオ槽に再び約300Lの3%の糖蜜水を投入して、バイオ液の体積を1000Lに達させる。
4. 4月3日：(1) 各バイオ槽に5Kgの鶏糞と5Kgの豆腐渣を入れる。(2) 各バイオ槽から100Lの液を抽出し、1000L容積の長方形槽に投入、10Kgの鶏糞と10Kgの豆腐渣を入れる。均一混合させた後、ポンプで各槽へ均等に移送する。(3) 4月3日以後の空気攪拌方式：毎日1回、人力攪拌15分、他の時間帯には微小曝気と攪拌する。

## 付属文書二：廃水槽の調合手順

操作期間：8日間（2001年4月2日～4月10日）

参加者：高嶋所2人；核能研究所2人。

### 操作手順：

1. 4月2日：(1) 本チームは4500L容積の円形蓋付き原水槽を用意し、3500Lの放射性廃液を調合した、比活性度は189Bq/cc、廃水槽に注入後、1.8Kgの糖蜜を投入、強レベル空気攪拌を行う。15分後停止し、Enzyme-X 40Kgを投入後、中レベル強の空気攪拌を続ける。
2. 4月5日：バイオ槽から300Lのバイオ液を抽出し、投入後、中レベルの空気攪拌を続ける。
3. 4月7日：柿の葉と枇杷の葉それぞれ5Kgを用意し、90Lの水を入れ、フルーツカッターで粉砕した後、原水槽に投入、中レベルの空気攪拌を続ける。
4. 4月9日：(1) 再びEnzyme-Y約60Kgを投入。(2) 4月9日後の空気攪拌方式：(AM8:00～PM3:00、PM5:00～PM8:00二つの時間段に閉め、他の時間では開ける)。

### 付属文書三：系統の各混合槽及び曝気槽の菌床の育成手順

操作期間：6日間（2001年4月4日～4月9日）

参加者：高嶋所2人；核能研究所2人。

操作手順：

1. 4月4日：(1) ステージ1混合槽、ステージ2混合槽及び中継槽合計11個の槽にそれぞれ水道水800Lを注入。ステージ3の四つの曝気槽にそれぞれ水道水400Lを注入。バイオ触媒槽に約800L水道水を注入する。(2) ステージ1混合槽、ステージ2混合槽及び中継槽合計11個の槽にそれぞれ1400cc濃度は3%の糖蜜水を投入、ステージ3の四つの曝気槽にそれぞれ800cc糖蜜水を投入、バイオ触媒槽に4L糖蜜水を注入する。(3) 中レベルの空気攪拌を続ける。
2. 4月5日：(1) ステージ1の5個混合槽に日本から運んできたEMBC-Z約140L（EMBC-Zを投入する前に、人力で十分攪拌が必要）を投入。ステージ2合計6個の混合槽及び中継槽にそれぞれEMBC-Z約130L投入。ステージ3の四つの曝気槽にそれぞれEMBC-Z約70Lを投入、投入後空気攪拌を続ける。(2) ステージ1の5個混合槽では、菌床MLSS濃度設定は5000ppmにさせ、ステージ2の5個の混合槽では、菌床MLSS濃度設定は4000ppmにする、ステージ3の4個曝気槽では、菌床MLSS濃度設定は3000ppmにしてから、正式な処理稼働の準備に入る。(3) 菌床MLSS濃度育成手順：各ステージの混合槽或いは曝気槽を少なくとも4時間攪拌を4時間停止する。そして各槽から適量の上層液を抽出し、等量の水道水を入れる。MLSS濃度によって、適量のバイオ液を投入した後、空気攪拌を再開する。上述した手順を繰り返し、菌床MLSS濃度が設定値になるまで続ける。
3. 4月7日：(1) ステージ1の5個混合槽では、菌床MLSS濃度育成操作を行う、空気攪拌を4時間停止、各槽の900L液体からそれ



ぞれ上層液 500L を抽出後、再び 500L の水道水を入れる。MLSS 濃度によって、適量のバイオ液を投入した後、空気攪拌を再開する。

(2) ステージ 3 四つの曝気槽にも、菌床 MLSS 濃度育成操作を行う。空気攪拌を 4 時間停止、各槽の 500L 液体からそれぞれ上層液 300L を抽出後、再び 300L の水道水を入れる。MLSS 濃度によって、適量のバイオ液を投入した後、空気攪拌を再開する。(3) ステージ 3 バイオ触媒槽の藻類育成は失敗し、空気攪拌を停止して、液体を全部抽出してから、再び 800L 水道水、種菌と 10L バイオ液を注入し、育成を再開した。

4. 4月8日：(1) ステージ 2 の 5 個混合槽では、菌床 MLSS 濃度育成操作を行う、空気攪拌を 4 時間停止、各槽の 900L 液体からそれぞれ上層液 700L を抽出後、再び 700L の水道水を入れる。MLSS 濃度によって、適量のバイオ液を投入した後、空気攪拌を再開する。  
(2) ステージ 1 の 5 個混合槽では、また菌床 MLSS 濃度育成操作を行う、空気攪拌を 4 時間停止、各槽の 900L 液体からそれぞれ上層液 500L を抽出後、再び 500L の水道水を入れる。MLSS 濃度によって、適量のバイオ液を投入した後、空気攪拌を再開する。
5. 4月9日：ステージ 2 の 5 個混合槽では、また菌床 MLSS 濃度育成操作を行う、空気攪拌を 4 時間停止、各槽の 900L 液体からそれぞれ上層液 150L を抽出後、再び 150L の水道水を入れる。MLSS 濃度によって、適量のバイオ液を投入した後、空気攪拌を再開する。
6. 4月10日：(1) 菌床 MLSS 濃度は設定値に達した。各系統においては育成操作を停止する。(2) ステージ 1 空気攪拌方式：空気攪拌はタイマーコントロール (3 時間開、3 時間閉) 方式。ステージ 2 空気攪拌方式：空気攪拌はタイマーコントロール方式 (AM9:00-PM3:00 閉；他の時間では開)。ステージ 3 の空気攪拌方式は常に曝気する方式である。