

## 微生物脫臭技術的現狀和展望

劉 春 木\*

### 一、前 言

臭味，一般而言，指的是使大多數人感到厭惡的氣味，。左傳：「一薰一蕕，十年尚有臭。」薰是香草，蕕是臭草。這句要是說善易消，惡如臭難除。疏：「既以善氣為香，故專以惡氣為臭耳。」

由上述可知：1.臭是很主觀的，所以不易藉由儀器來量測，目前一般用經過訓練的聞臭師來判斷。2.臭味是使大多數人厭惡。3.臭味是不易除去的。因對象的不同，處理方法也不同。有物理的、化學的、生物的等技術被應用來除臭。而臭味源，很多是源自生物性的，以夷制夷或許是一種好方法，因此在此介紹微生物脫臭技術的現況和展望。

適用微生物脫臭的主要對象之惡臭源，是動植物構成成分中之蛋白質，脂肪等腐敗而產生之惡臭化合物群。將這種強烈的惡臭之化合物群加以分類，則可分成低級脂肪酸類、胺類 (amine)、還原型硫化物類、石炭酸類(phanol酚)。

這些惡臭化合物的腐敗，主要是微生物經由有機物的分解過程而發生的。所生成的惡臭化合物，又被微生物分解除去。也就是說，微生物和惡臭之發生及分解除去都有關係。

這相反的功能當中，在惡臭的分解除去上，會有效地利用微生物機能的就是微生物脫臭。

所謂微生物脫臭技術，在原理上來說，就是利用微生物的機能，將惡臭化合物分解除去，而不使惡臭擴散到環境中的實用技術。但是目前微生物脫臭或脫臭微生物這個用

---

\*工業技術研究院污染防治技術發展中心經理

語，在相關者之間儘管經常被使用，然而卻還不能說其為一般用語或技術用語廣為人知。之所以這麼說乃因微生物脫臭技術，只能說僅少部分實用的技術之故。

關於微生物脫臭，研究的人很少，而做成論文被發表的事例也不多。原因是微生物脫臭的定量研究很困難，在特定的系統裡，即使獲得了優良的脫臭微生物，然而其再現性卻差的很多，在特定的系統以外不一定能發揮其充分的機能。

在理解了這些情形之後，再參閱有關微生物脫臭的文獻，則對於微生物脫臭研究的現狀，即使只有少許的了解，卻也是有益處的。

## 二、臭味的產生

且說適用於微生物脫臭之惡臭，基本上就是動植物這些生物體構成成份的蛋白質和脂肪質，經生物分解的過程所產生之化合物。其生成過程的大概情形見圖1所示，其惡臭化合物之成分見表1所示。

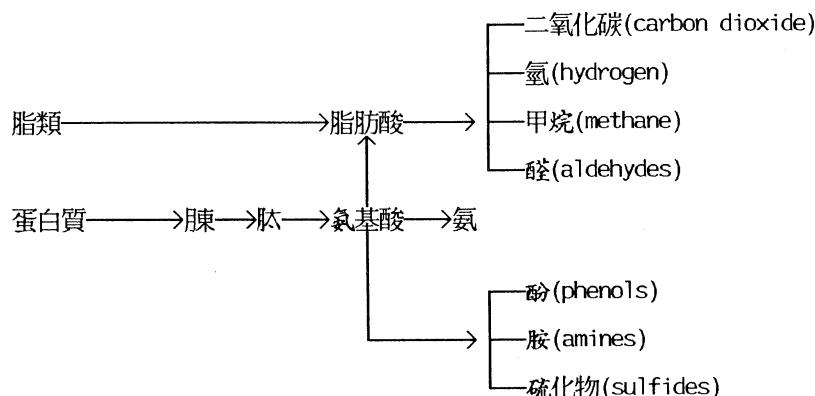


圖1 蛋白質脂肪等的主要微生物分解和惡臭化合物生成之過程

這些化合物，不論哪一個都是嗅閾值很低的化合物。其中，非水溶性而且嗅閾值極端低，微生物分解性又差的還原型硫化物類特別難處理。但是，這類難以處理的化合物，在自然界會被氣化分解，進入物質循環系統中。

短鏈脂肪酸系化合物或胺類，則很容易被一般的微生物分解，甚至除去。

表 1 含蛋白質、脂肪的有機性廢棄物中所產生之惡臭化合物

類 別	化 合 物	嗅 閾 值
胺 類	氨 $\text{NH}_3$	149
	二甲基胺 $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	6.75
	三甲基胺 $(\text{CH}_3)_3\text{N}$	0.112
酚 類	酚 $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	47
	木焦油醇 $\text{CH}_3\text{C}_5\text{H}_4\text{OH}$	1.0
	吲哚 $\text{C}_8\text{H}_7\text{N}$	
	甲基吲哚 $\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$	
脂肪酸	異丁酸 $(\text{CH}_3)_2\text{CHCOOH}$	0.232
	異戊酸 $(\text{CH}_3)_3\text{CHCH}_2\text{COOH}$	0.857
醛 類	醛 $\text{CH}_3\text{CHO}$	1.51
	正戊醛 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CHO}$	
	正己醛 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CHO}$	
硫化物	硫化氫 $\text{H}_2\text{S}$	0.499
	甲基硫醇 $\text{CH}_3\text{SH}$	0.104
	乙基硫醇 $\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$	
	硫化二甲基 $(\text{CH}_3)_2\text{S}$	0.124
	二硫化二甲基 $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$	0.277
其 他	丙酮 $\text{CH}_3\text{COCH}_3$	30,000
	Pyridine $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	21

註：人類感覺之嗅閾值，會因產生不同而略有差異

### 三、微生物脫臭的方法

微生物脫臭大致分為兩種方法，其一是將氣體中所含的惡臭成分除去，其二是將脫臭微生物移植到惡臭發生源之固態有機性廢棄物例如畜產廢棄物、剩餘污泥、家庭廚房

殘渣等，使移植微生物增殖醣酵，而防止或降低發生源產生惡臭。關於這些，圖 2 簡略地表示了最近幾年來研究開發的方法。

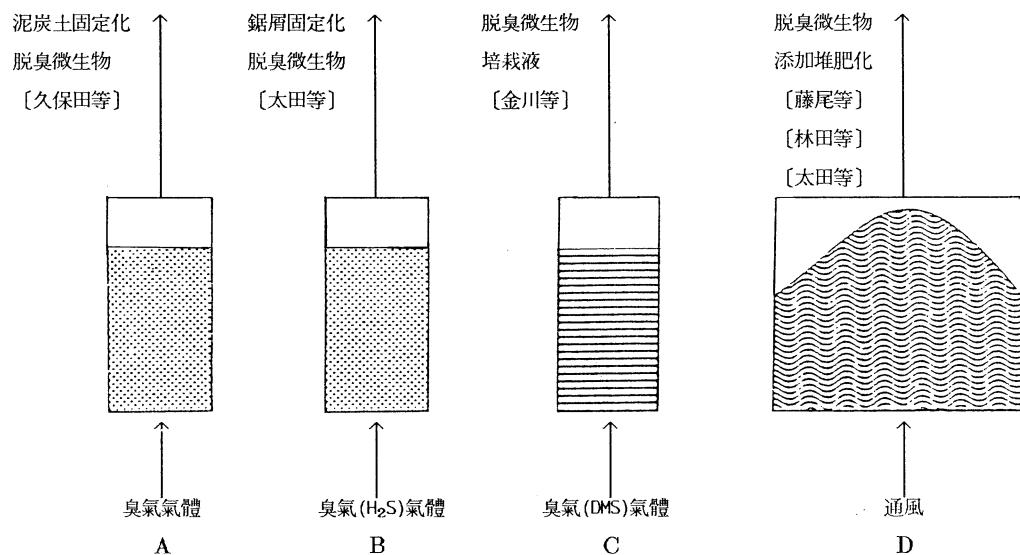


圖 2 微生物脫臭的系統

### 3.1 土壤脫臭法

這種方法是將含有惡臭成分的氣體，以低速度通到土壤的填充層中，然後在這裡頭進行脫臭。氣體中的惡臭成分，在通過土壤填充層的時候，會吸附於土壤並受因土壤微生物的分解，遂被除去進而被脫臭。參見圖 3 所示。

這種方式因為很簡便，所以即使是現在，在下水處理場等大量低臭氣氣體的脫臭上，仍廣泛地被使用著，然而因設置上必須要有廣大的用地面積，而且遇雨又產生缺點，故迄今並未普及。

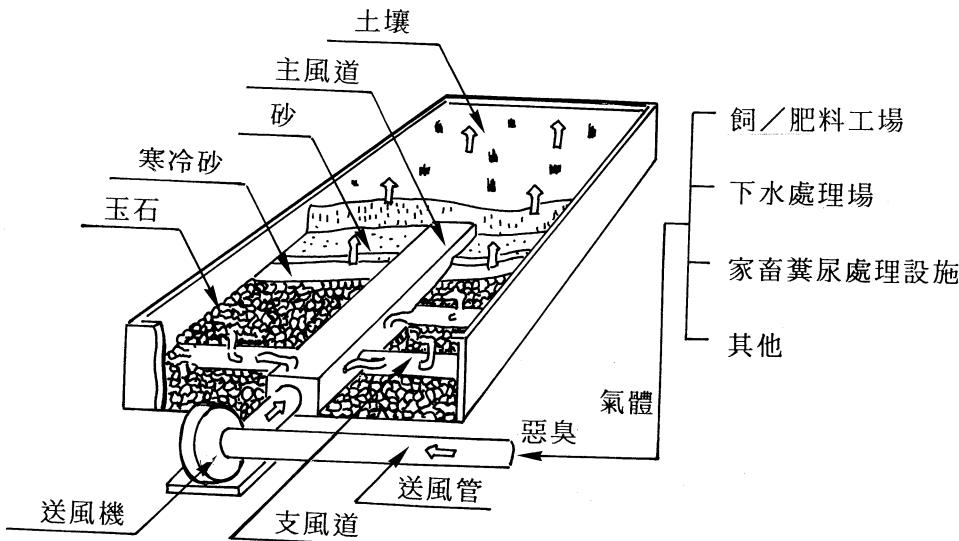


圖 3 土壤脫臭裝置的構造

### 3.2 脫臭微生物填充塔

氣體中的惡臭除去系統，目前有好幾種方法正在研究中。除利用上述方法，為了更有效率地脫臭，而將泥炭土(peat)等體積密度極小的物質當做填充物，即是填充塔形式的脫臭。此法乃脫臭時，用人為的方式來控制填充塔內物理化學的條件，以提高脫臭的容積效率而謀求有效地除去氣體中的惡臭之方法（參見圖2之A）。

在基質滲透了的鋸屑等之載體(carrier)上，以人為的力量，使特殊脫臭微生物繁殖，復將此填充物置於填充塔裡，把惡臭氣體通到這個塔中而脫臭的方法（參見圖2之B），類似這樣把特殊脫臭微生物進行液體培養，再將惡臭氣體通到這個培養液中而脫臭的方法（參見圖2之C）也正在研究中。

上述方法中，後兩者乃是以人為的方式，僅使特定的脫臭微生物繁殖之特殊環境下，令微生物的脫臭機能得以發揮之系統。

目前已商品化的有荷蘭EINDHOVEN 科技大學之教授Ir.S.P.P.Ottengraf發明，並由Clairtech與DHV公司經十年之合作而發展出來的生物過濾器，簡稱BIOTON的生物處理系

統參見圖 4，也可以歸至此類。其流程簡介如下：在廢氣進入過濾器之前需先經前處理，如除塵、冷卻或濕潤，此階段之設備需視實際廢氣品質而定，由風扇驅使廢氣進入過濾器，並進入已具微生物之過濾材料層，當污染空氣進入過濾器，細菌開始消化其污染物質，並消除臭味，一些有機溶劑如甲苯、丙酮、碳氫化合物等也可以一起除去而淨化排出。

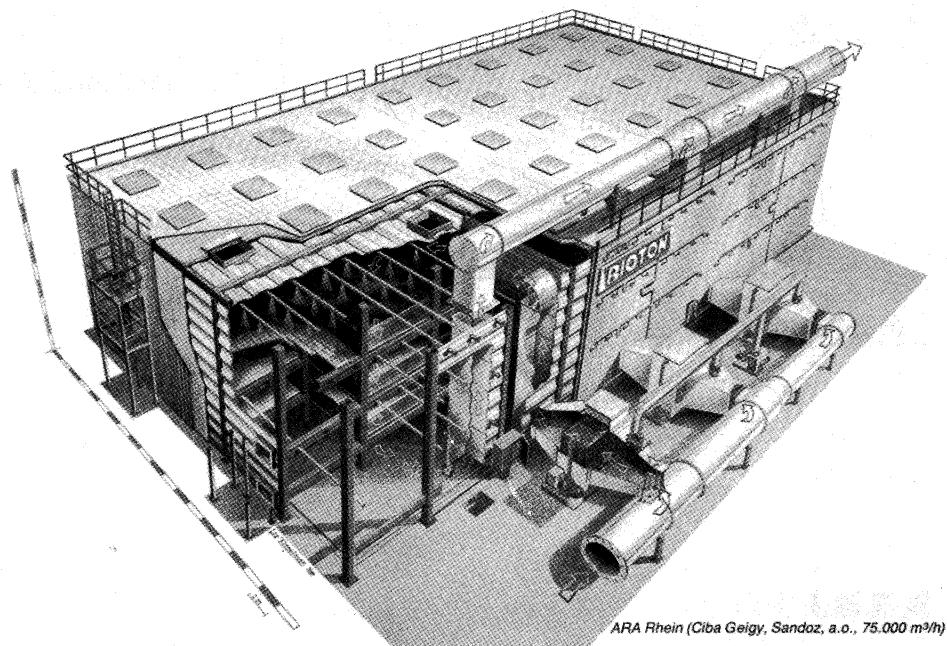


圖 4 BIOTON生物處理系統

用在臭氣廢水處理方面生物膜法，現在也有商品化的，名為ENSO-BIOX。它的裝置主要由 3個槽所構成，參見圖 5，C槽處理 A 及 B 槽生成的惡臭。其基礎實驗如Sivela 的實驗裝置（參見圖 6），臭氣廢水之各 成份濃度分別為  $H_2S$   $36.7g\cdot s/m^3$ ，MM62.7  $g\cdot s/m^3$ ，DMDS $14.8g\cdot s/m^3$ ，合計 $123g\cdot s/m^3$ ，廢水流量 $12.5\sim 100l/d$ ，實驗結果參見圖 7，生物膜之載體為松樹皮，最適溫度為 $28\sim 30^\circ C$ 。

活性污泥脫臭法又可分為滌氣式，流程參見圖 8，及曝氣式參見圖 9，尤其後者對高濃度臭源之脫氣相當有效。前者，則適於大風量中低濃度臭氣之場合。活性污泥法用於臭氣廢水處理之流程參見圖 10，操作數據參見表 2 所示。

表 2 實設備操作數據

BOD (kg/日)	入／出 8900/800
TRS (kg/日)	入／出 278/27.6
MLSS (ppm)	7000
MLVSS (ppm)	5300

還原態TRS之處理量為278kg-s/d，TRS含H<sub>2</sub>S 3%，MM23%，DMS33%，DMDS4.4%，經此系統後TRS除去率為90%，各成分之除去率H<sub>2</sub>S為100%，MM 87%，DMS 86%，DMDS 87%。

再者，從自然界分離具有脫氣機能的特殊脫臭微生物種類之過程，這個方法正廣泛地被應用。

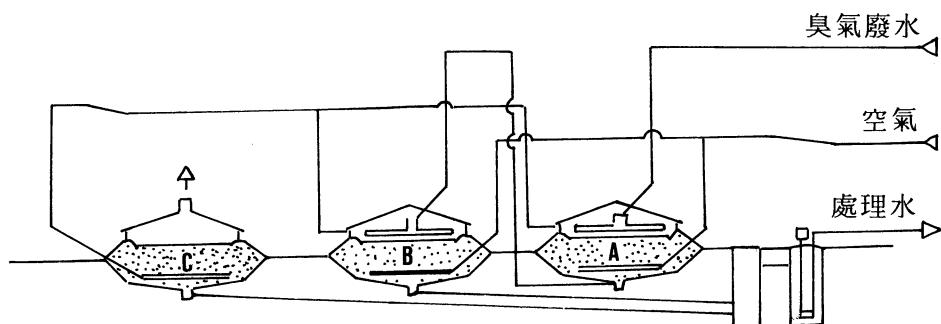


圖 5 生物膜法臭氣廢水處理裝置（商品名：ENSO-BIOX）

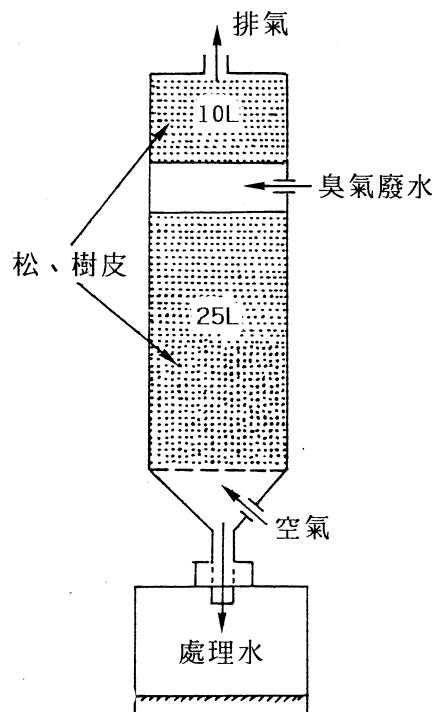


圖 6 生物膜法臭氣廢水處理實驗裝置

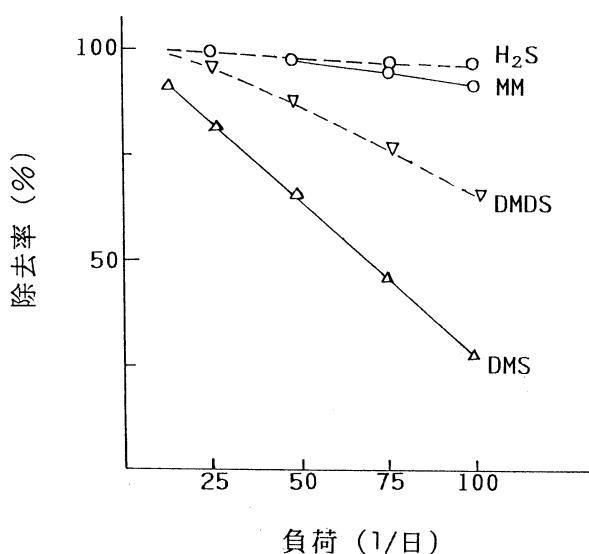


圖 7 生物膜法臭氣廢水處理實驗結果

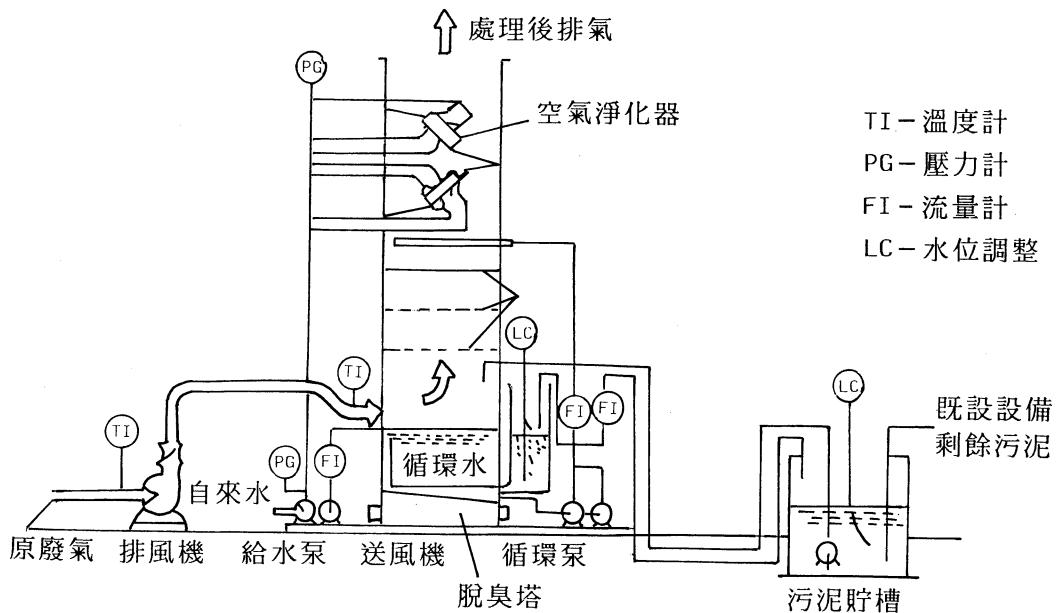


圖 8 滌氣式活性污泥脫臭裝置流程圖

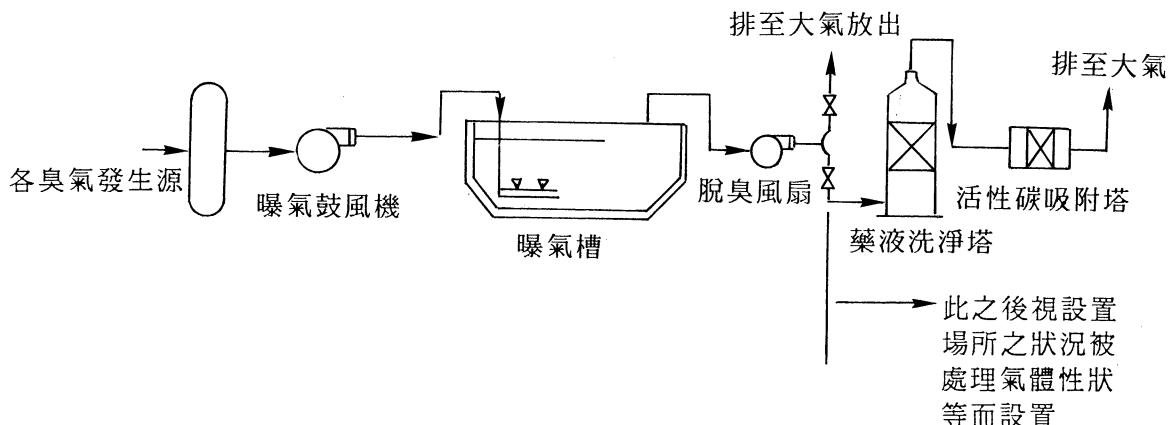


圖 9 曝氣法生物脫氣裝置流程

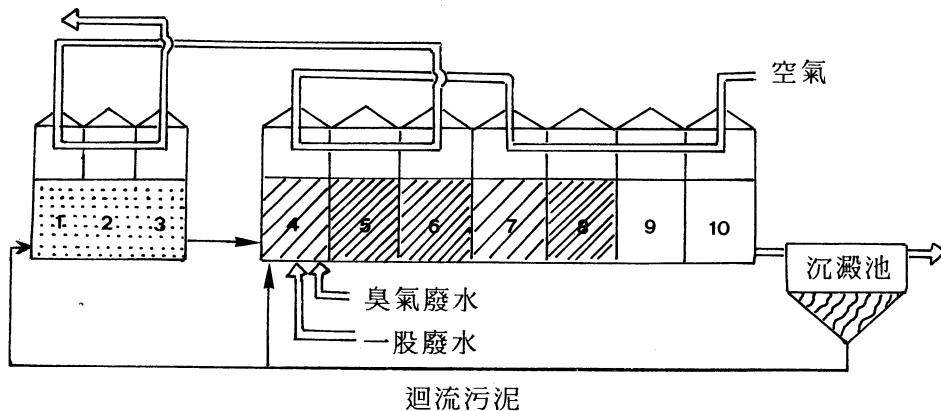


圖 10 活性污泥法，臭氣廢水處理流程

槽容積：第1～3槽  $300\text{m}^3$ ，第4～10槽  $1,000\text{m}^3$  合計  $8,100\text{m}^3$

#### 四、脫臭微生物

如前所述，主要起源於蛋白質、脂肪質的惡臭化合物當中，還原型硫化物系的惡臭化合物最難以除去。此類還原型惡臭化合物，其熱分解溫度大約稍高於  $800^\circ\text{C}$ ，加熱脫臭的情況下，能量成本(energy cost)也會變高，而由微生物所引起的分解亦困難。因此，想以微生物來分解去除惡臭化合物的場合，若難以處理的硫化物系之惡臭能絕對充分除去的話，則其他的惡臭化合物也能隨著同時分解除去。即以還原型硫化物系惡臭化合物為指標，惡臭能充分除去的條件下，則其他所有的惡臭成分將消失。

從這樣的觀點，將具有分解除去為主要的還原型硫化物系的惡臭化合物的機能之微生物，視為特殊臭微生物的研究，其中部份報告彙整見表 3。

表 3 具有降低還原型惡臭硫化化合物的能力之微生物

微 生 物	適用對象惡臭物質	報告者
Saccharomonospora virides G-21	雞糞惡臭 DMDS	藤尾等
Thermoactinomyces sp. J-27	牛糞惡臭 DMS	藤尾等
Actinomyces sp. J-10	DMS	藤尾等
Actinomyces sp. HF-468	DMDS	藤尾等
Streptomyces sp.CH-33	豬糞惡臭	林田等
Torula sp.KN-4	雞糞惡臭	林田等
Thiobacillus thioparus TK-1	DMS	金川等
Thiobacillus thioparus TK-m	DMS	金川等
Coryneacterium sp.	H <sub>2</sub> S	太田等
Micrococcus sp.	H <sub>2</sub> S	太田等

## 五、脫臭微生物移植法

另一方面尚有移植脫臭微生物至惡臭發生源之固體有機性廢棄物上再使用之醣酵的方法，此法和以有機性廢棄物的再利用為目標之堆肥化平行（圖2之D），一部份已達實用化階段。

這個方法，並不只繁殖特定的脫臭微生物，亦包含其他繁多的微生物，在自然生長的環境下，將該體系的主要微生物做為脫臭微生物，以利用其脫臭機能之系統。而且，這個方法也同時具有利用特定的有機性廢棄物，做為堆肥之農業資材的目的。

就表3所示的微生物之惡臭除去機能來看，經由微生物的代謝過程而將擬脫除之惡臭化合物分解得乾淨者很少。脫臭效能的評估一般是以在相同條件下比較移植了和沒有移植特定的脫臭微生物系統之結果；或在氣體中的惡臭成份去除之狀況下，以入口和出口的氣體中惡臭成分分析值之差，來判定已使用的微生物之脫臭機能。

像這樣子，微生物的脫臭機構之所以沒能做生化的，詳細地研究，可認為是因極微量的惡臭化合物難以分析所致。也就是說，在微生物具有的代謝體系中，惡臭化合物經由怎樣的過程而分解？如何做到無臭化？要定量地追，該過程是非常困難的事。

## 六、氣體中的惡臭成分之除去

對氣體中的惡臭利用微生物脫臭方面，較具代表性的有還原型惡臭硫化物中硫化甲

基(DMS)之氧化脫臭微生物，而氧化分解過程大致確定的有金川的報告事例。

*Thiobacillus thioparus*菌被分類為化學合成獨立營養細菌，其具有氧化還原型的硫化合物之結構。直到現在，有關典型的惡臭化合物—二硫化甲基(DMS)之氧化過程，尚未完全被了解。

圖11所示乃金川等人所提，最早且清楚的二硫化甲基(DMS)之分解機構。由於將惡臭最早強烈的還原型硫化物氧化為硫酸根等，因此惡臭消失而達成脫臭的目的。

但是，這個脫臭機構所顯示的細菌，可能是醣酵型的細菌，而就某個方面來說，卻可認為其屬於貧營養型的固有型細菌。要大量地培養菌體，被視為困難之事，而且尚殘存實用上的問題。

另一方面，在含有微生物營養源的載體上繁殖脫臭微生物，並將這個載體做為填充物之脫臭生物過濾器(biofilter)，再將含惡臭的氣體通至其中以脫臭之方法，則有太田等人的研究。

這個方法，首先是以人工的方式，在充分滲透了的鋸屑上，將硫化氫無臭化的特殊微生物*Micrococcus sp.*於營養源基質中繁殖；而後將硫化氫的氣體通至繁殖了充分數量的菌體之鋸屑載體當中。當臭氣氣體通過時，以脫臭微生物將所含的硫化氫氧化，而轉換為無臭的硫代硫酸根，硫酸根及亞硫酸根，結果臭味就被消除了。

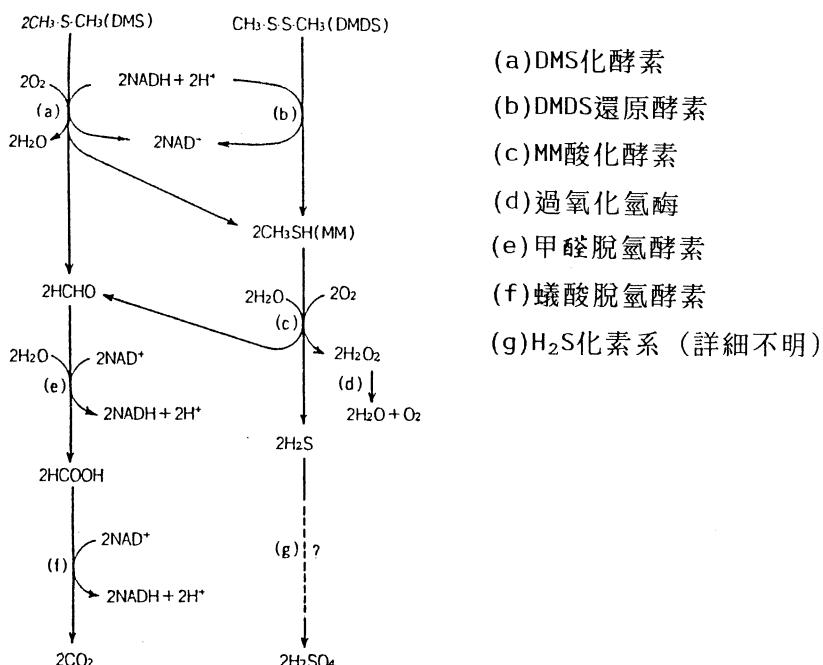


圖11 微生物分解惡臭物質之過程

## 七、利用堆肥之微生物脫臭

如前所述，有機性廢棄物一旦腐敗，則會混合所謂的惡臭化合物，而產生強烈的惡臭。在這種情形下，將脫臭微生物移植到發生源上之繁殖，以減低惡臭發生之方法，比在含惡臭的周圍環境中，圖謀存在的氣體之脫臭，更具效果。又這樣的有機性廢棄物，藉微生物使之醣酵，而能做堆肥化，因此，將此堆肥還原至綠農地，而能夠有效利用。

以兼具脫臭的堆肥化方式，已經由實用且成功的例子。目前已有關於利用雞糞脫臭醣酵，進而肥料化的一連串的研究報告。

這種情形之還原型惡臭硫化合物的醣酵裝置周圍濃度之分析值參見表 4 所列，而此系統的裝置示意圖參見圖 1 2 所示。

表 4 於雞糞脫臭醣酵裝置周邊所測定得的還原型惡臭硫化合物之濃度

採樣處	氨	甲硫醇	硫化氫	甲基硫	三甲基胺
排放氣 60m <sup>3</sup> /min *	400	0.067	0.212	0.048	0.482
500m <sup>3</sup> /min **	240	0.127	0.234	0.074	0.453
原料肥入口處	110	0.022	0.029	0.017	0.152
堆置場	4	0.002	0.055	0.006	0.027

單位 : ppm(v/v)

\* 通風率保持在 21 hr/d

\*\* 通風率保持在 3 hr/d

這個裝置具有每日醣酵處理約 100 噸雞糞之實績，而在醣酵工場周界值上，其惡臭濃度遠低於環境廳之規定值，可說沒有因火力乾燥時，雞糞惡臭引發周圍民眾抱怨之間題。

又從這個雞糞醣酵物，可分解出具有大幅度減低表 3 中的還原型硫化合物的能力之放線菌 (*Saccharomonspora viridis*)，其惡臭除去能力正被確認當中。

同樣地，田中等人以畜產排出物做為無臭化醣酵的微生物，分解絲狀菌 - *Coprinus macrohizus* No.8 *Helminthosporum* sp. No.14, *Mucor* sp. No.1, *Myriococcum althomyces* No.15, 以這些微生物，使畜糞特有的惡臭快速地消失。又做為豬糞和雞糞的醣酵脫臭菌之放線菌 - *Streptomyces griseus*, *Streptomyces antibioticus*，亦已由太田等人提出報告。而且，太田等人還正在做因水產加工的廢劑浮渣所產生的還原型硫化物之無臭化上，*Corynebacterium* 仍有效的研究報告。

如上所述，此種將脫臭微生物直接移植到為惡臭發生來源的有機性廢棄物上，企圖減弱所產生的惡臭之方法，連結了資源再利用的理念，目前正被研究發展中。

但是利用此種方法必需注意的是，在特定的有機性廢棄物上，具有脫臭效果的脫臭微生物，應用在其他的有機性廢棄物上，則未必有同樣的脫臭效果。此被認為因已放有脫臭微生物的環境是自然生成的，無論在怎樣的環境下，該脫臭微生物不得經常在環境中變得具支配性。

## 八、微生物脫臭的展望

利用微生物脫臭法，來防止或減少有機性廢棄物所產生的惡臭，是有客觀證據的。但是，雖有其理論上的根據，而現實情況卻甚令人憂心的。

然而微生物脫臭法，不只是針對惡臭氣體，還有對都市垃圾、廚房穢物，下水污泥等，含有多量水分的有機性廢棄物所產生的惡臭，亦有去除效果；此和高溫燃燒脫臭法等比較的話，被認為格外具有優點。

為了將來微生物脫臭技術能被肯定，首要任務就是要瞭解微生物的脫臭機構。也就是說；從分解惡臭物質的酵素群的層次，進而至支配該酵素群生成的遺傳基因之層次都能加以釐清。如此則可針對不同之脫臭對象，培育不同之脫臭微生物，而普及微生物脫臭技術之應用。

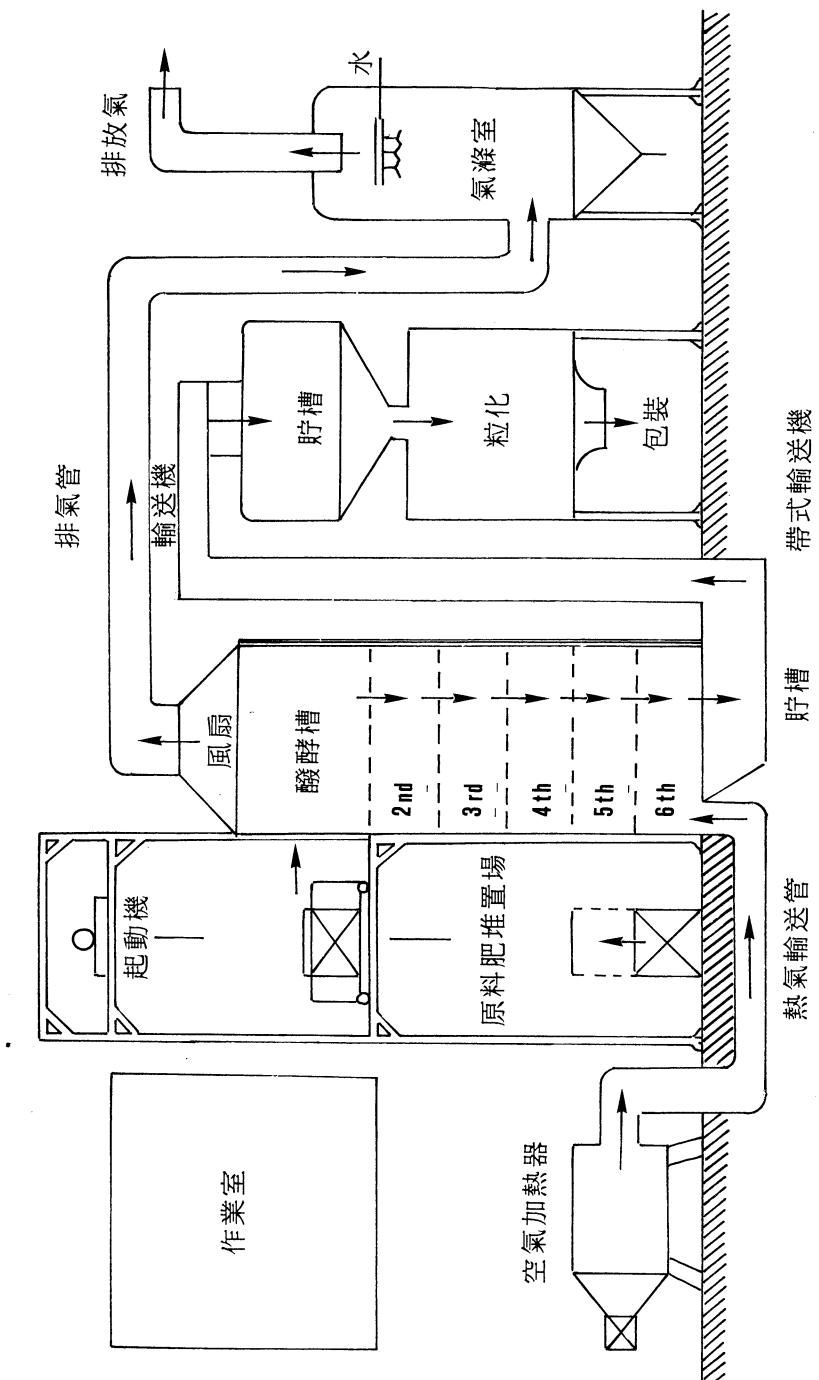


圖 1-2 雜糞脫臭濕潤堆置示意圖  
(每日處理濕潤雜糞約100噸)

## 九、參考資料

- (1) 藤尾雄策，微生物脫臭技術的現狀與展望，BIO INDUSTRY Vol.5 No.12，1988。
- (2) 水清，惡臭防止技術的實際科學與工業，63(4)，1989。