

廢棄物海拋的現況與展望

陳乃智* 沈堯堅* 鄭普仁*

摘要

廢棄物採海拋者一般以液態或固態兩種型式為主，液態與固態廢棄物依其物性所進行海拋的規劃方式迥然不同。

台灣廢棄物海拋的歷史不到10年，先後有高雄塑脂的廢酸（目前已停止）、中鋼公司的爐石、台電公司的煤灰、以及最近申請通過執行的味精酸酵母液等進行海拋。在作業型態上，中鋼爐石與台電煤灰均屬於固態定點的海拋作業方式，而味精酸酵母液則屬於液態擴散型海拋。

依倫敦公約決議，屬於安定或未受污染的天然有機物尚不在禁止海拋的行列之中。而政府規劃海拋地點的方向則傾向於台灣東部海域。目前台灣符合前述條件可進行海拋規劃的行業至少包括釀造業、生物酸酵業、水產加工業、畜牧及其加工業、農產加工業、人畜糞便收集業等事業單位。

事實上，海拋是一種廢棄物最終處置的很好方法，但是海洋卻是我們最珍貴的生存空間，故在規劃同時必須維護海洋環境。如何在廢棄物海拋和海洋環境保護之間作最好的規劃，將是各產、官、學界共同努力研究的課題。

【關鍵字】

- ①倫敦公約(London dumping convention,LDC)
- ②集中型排放方法(concentrated disposal method)
- ③擴散型排放方法(dispersive disposal method)

一、前言

海拋是廢棄物最終處置的一種方法，在法規條文上稱作「海洋棄置」。海拋即利用船舶、飛機、或其他運輸工具運送廢棄物到外海投棄或置放的處理方法，但不包括船舶、飛機、或其他運輸工具本身所產生或因營運而生的廢棄物排放入海。

廢棄物採海拋者一般以液態或固態兩種型式為主。液態物海拋的規劃重點在於利用

*泰興工程顧問股份有限公司環境工程師

運輸工具與海流之間的相互作用迅速將廢棄物稀釋擴散，而固態物海拋者則運用廢棄物本身的重力使其迅速集中沉降，且其受海洋擴散的影響面積愈小愈好。因此，液態與固態廢棄物進行海拋的規劃方式迥然不同。

二、國內外海拋規範與現況

2.1 國內外海拋規範

2.1.1 倫敦公約

目前國際間各類海拋活動之主要依據為1975年 8月30日經認可生效之「防止傾倒廢棄物及其他物質污染海洋公約」即著名之「倫敦公約」，目前則由IMO(international maritime organization)倫敦總部負責一切行政事務及會議之召開。

倫敦公約主要將海拋物質分為以下三類加以管制：

- 第一類為完全禁止海拋的物質，即所謂的黑名單(black list)，其中包括含有機鹵素、汞、鎘之物質，及其他不易被消化或石化、軍火工業所產生之廢棄物。
- 第二類為需要申請特殊許可的物質，即所謂的灰名單(grey list)，其中包括含量較第一類少之有害物質或其他物質，但需特別申請評估才可進行海拋者。
- 第三類則為需要一般許可方可執行海拋的物質

依據1990年11月IMO 倫敦海洋棄置第13回締約國協議會議的決議，其中之一為「產業廢棄物的海拋活動，最遲應於1995年以前予以禁止，但屬於安定或未受污染的天然有機物不在此限。而各締約國在1995年以前對於海拋應作個別及區域性的約束，並進行各項禁止的努力。」

2.1.2 國內法規

目前國內執行海拋作業主要依循的規定為「事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」(78.5.8(78)環署法字第 09906 號令發布)；這個方法及設施標準乃依據廢棄物清理法第15條規定所訂定。在前述標準之中對於海拋申請程序、申請應檢具之文件、核准期限、棄置規範、禁止海拋類別、固化後海拋之強度等均已予列明。另環保署亦早於民國78年起即著手規劃海拋地點及各項評估作業，現今已將台灣東部海域列為重點規劃區。然而近年來國內各業界雖已感受廢棄物處理的龐大壓力，在政府未能提供完整的規範與輔導之際，欲以海拋處理廢棄物者必須暫以專案方式個別申請。

2.2 美、日海拋現況

2.2.1 美國

美國廢棄物的海拋已有 100年以上的歷史。美國曾經大量使用海拋的技術解決其國內多種廢棄物，後來因民間團體的反對，才於1992年以後全面禁上海拋的活動。

美國禁上海拋法 (U.S. ocean dumping ban act) 規定所有海拋活動於1991年12月31日以後全面禁止，但是因港灣工程或河道疏浚所產生的污泥並未完全被禁止海拋。在沒有適當的陸埋地點情況之下，前述污泥仍被准許繼續海拋。其他如遠於太平洋的美屬薩摩(Samoa) 島，島上著名的魚罐頭製造廠的廢水在缺乏土地處理的壓力下，亦仍依賴海拋。當然海拋作業的評估仍需遵循一定的程序嚴格執行，其中包括：①分析毒物特性②分析棄置地點③評估棄置的方法及④考慮其他可能的棄置地點。

2.2.2 日本

日本為島國，土地面積狹小且人口密度高，為了陸上環境的維護在二次大戰之後即以海拋處理糞尿等高污染物質。西元1970年正式制定廢棄物處理法案後，對於廢棄物海洋投入處分的各項法令始加以規範。近年來日本每年進行海拋的廢棄物總量都在400萬公噸以上，各類廢棄物的海拋量均個自維持一定的比例與數量（圖1，圖2）。

日本將需海拋的產業廢棄物分成有害、無害、禁止海拋等三類。而有害廢棄物在海拋前於陸上中間處理的要求十分嚴格，除了需依據法定的中間處理標準之外，另有定量的管制。

日本政府對於海拋區域已具相當的規劃，目前所指定的5個區域均屬於黑潮流流經區，深度在600公尺以上（圖3）。日本官方並將這些海域分成A、B及C三種，分別適合棄置不同性質的廢棄物。

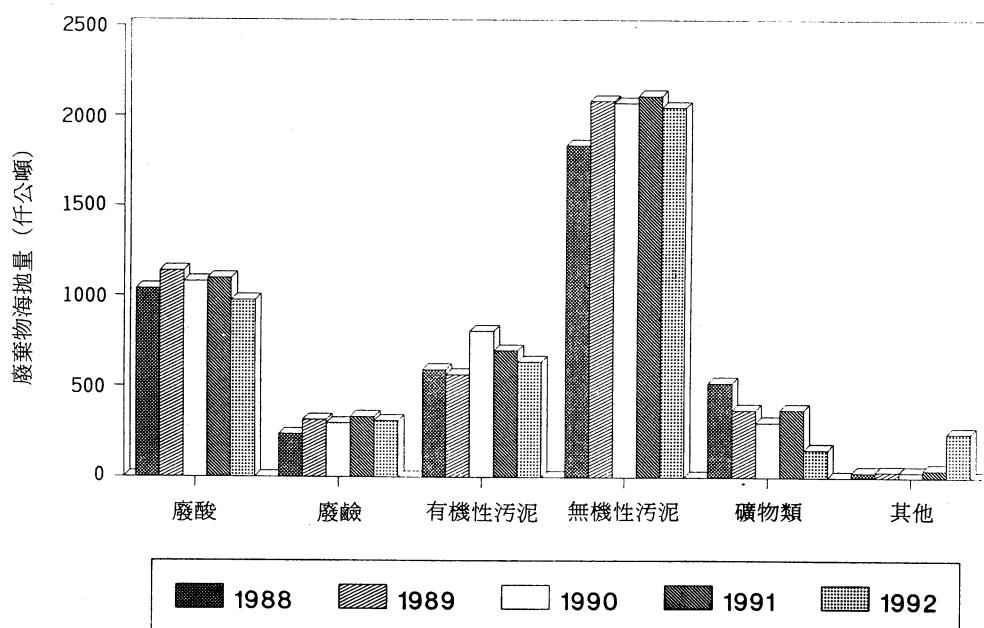


圖1 日本各類產業廢棄物海拋量之逐年統計圖

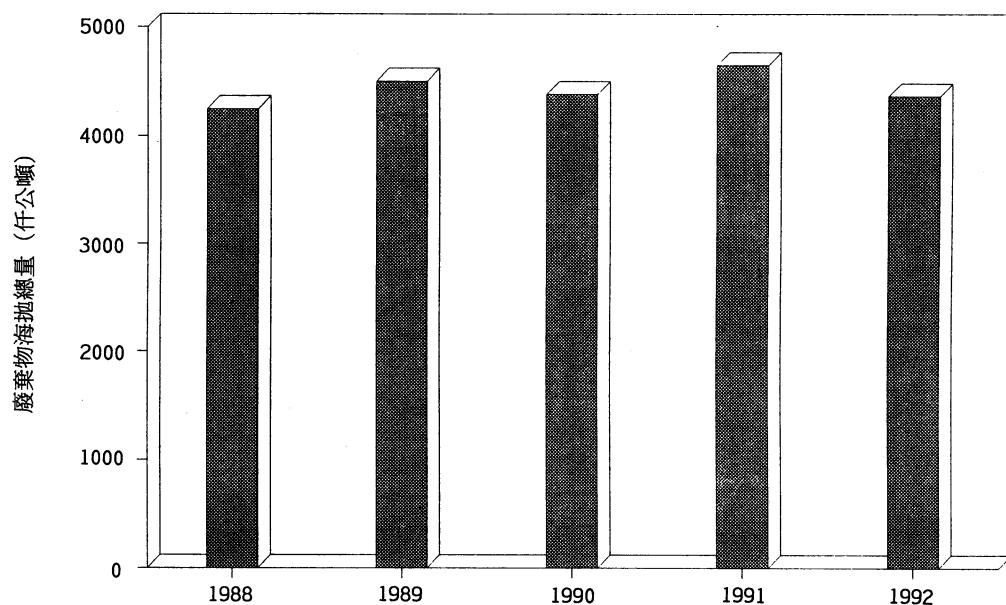


圖 2 日本每年產業廢棄物海拋總量之逐年統計圖

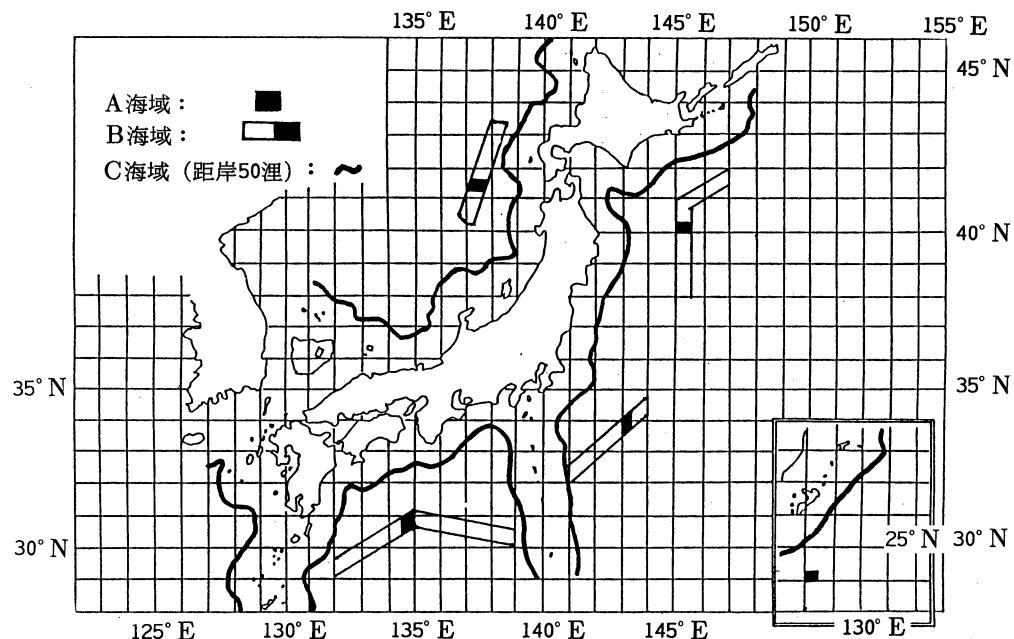


圖 3 日本法規訂定之海拋區位區

在日本國內各事業單位申請產業廢棄物海拋亦有一定的手續，基本上需按相談照會、通知、事業商談、正式申請、登錄申請等五個步驟進行。除此之外，日本針對海拋陸上工作業與海上工作業之實際流程（其中包括排放方法）均制定了一套完整的管理辦法，而海拋作業的監督和海洋環境的監測更由官方嚴格執行並定期公佈相關調查結果。

2.3 國內海拋現況

國內廢棄物海拋的歷史不到10年，先後有高雄塑酯的廢酸、中鋼公司的爐石、台電公司的煤灰，以及最近申請通過執行的味精酸酵母液等進行海拋。目前高雄塑酯已不再海拋，真正執行海拋的僅剩中鋼、台電、與味精業者。

中鋼爐石與台電煤灰在基本上均採固態方式進行定點的海拋作業，其執行的歷史約有5年，近年來因積極進行資源化利用的成果使其海拋量日益減少。

味精酸酵母液是一種高有機性廢液，為味精業界於味精製程中所產生，因含高濃度的固形物及有機體並不適合直接以生物處理法處理，而現行所採用的焚化法操作處理成本又太高，故倣效日本現行作法進行海拋。味精業界經過多年的評估與策劃，於民國81年底試拋階段又獲得不錯的處理效果，因此最近已獲准完成了半年的正式海拋。目前該案是國內唯一民營企業執行海拋及唯一進行液態廢棄物海拋的成功案例。

中鋼爐石與台電煤灰海拋的地點在台灣西南海域；而味精酸酵母液的海拋地點則選擇台灣東南海域黑潮流經區，藉黑潮強勁的物理作用可將酸酵母液迅速稀釋擴散。

三、海拋特點

海洋的面積佔了地球表面的70%，其奧秘至今仍存在許多的問號。雖然大多數人相信海拋活動可能造成污染，但是海拋對於海洋與陸地環境之間的相對效應亦存有相當的爭議。若純粹以技術層面而言，廢棄物海拋至少有以下三個特點。

1. 廢棄物直接進入海洋

廢棄物藉由海拋可直接進入海洋，而其他處理方式則可能將處理過後所產生的部分污染物藉由河川或因廢氣排放輕由大氣再進入海洋。因海拋直接進入海洋的地點若遠離人群及海岸生態資源區，其影響的程度較不易查覺；而因其他方法間接進入海洋的廢棄物若排放在海岸地區游蕩不去且持續累積，其影響卻可直接感受得到。當然兩者之間均可作最佳的污染防治規劃，但污染源與污染量的控制為根本解決之道。

2. 廢棄物可遠離陸地

若海拋地點適當且海拋行動得宜，廢棄物將被大海所消化，再影響陸地的機會非常低，當然這個說法端賴海拋地點和海拋方式的審慎規劃。以海拋地點為例，不適合設置於潮汐漲落影響較大的範圍內以及峽灣、港灣、瀉湖、或內海之內，否則廢棄物只隨著潮起潮落在海岸邊緣徘徊不去，增加海拋只會增加污染。而海拋方式的規劃更應考量廢棄物特性及海域特性，防止廢棄物海拋後造成某種不良程度的影響。

3. 廢棄物可被海洋迅速同化

海洋具有相當大的涵容能力及擴散稀釋效果。

由美屬薩摩島魚罐頭廢水海拋監測結果得知，廢水在海拋後很短時間內可迅速達到數千至數萬倍的稀釋效率，所有海水化學監測項目在 1小時之內全部回復至背景濃度或至測定極限(detection limit)以下。

另以中鋼爐石海拋沉降的實際結果為例，若投棄海域水深為 100公尺且於海流靜止的狀況下，94%以上上海拋的爐石在進入海洋後42分鐘之內可沉降至海底，而僅少於3%的爐石在沉到海底之前可能在海水中漂流的時間超過160分鐘。

若再以味精醣酵母液海拋後立即監測的結果作說明，更可瞭解海水的擴散稀釋能力。醣酵母液是屬於高有機性的廢糖液，其生化需氧量原高達 105 mg/L 以上，但在海拋10分鐘之後，表層10公尺以內所有測得的海水水質均符合甲類海域水體水質標準($\text{BOD}_5 \leq 2\text{ mg/L}$)甚或回復至背景狀態，海水受影響的時間非常短暫(圖4)。

目前味精醣酵母液係藉由密閉式海拋船在棄置區內按一定航速自船尾排放，其海洋擴散物理過程主要分為船尾跡波紊流擴散、重力擴散、及中遠程擴散等。船尾跡波紊流擴散作用時間僅發生在海拋後數秒內，重力擴散則主要作用在跡波紊流擴散之後數分鐘內，而醣酵母液海拋後約 5~10分鐘始為中遠程自然擴散。依據數值模式模擬結果顯示，味精醣酵母液於海拋後 5~10分鐘，即可被海洋稀釋數萬至數十萬倍，與實際海拋後立即監測的結果相當吻合。

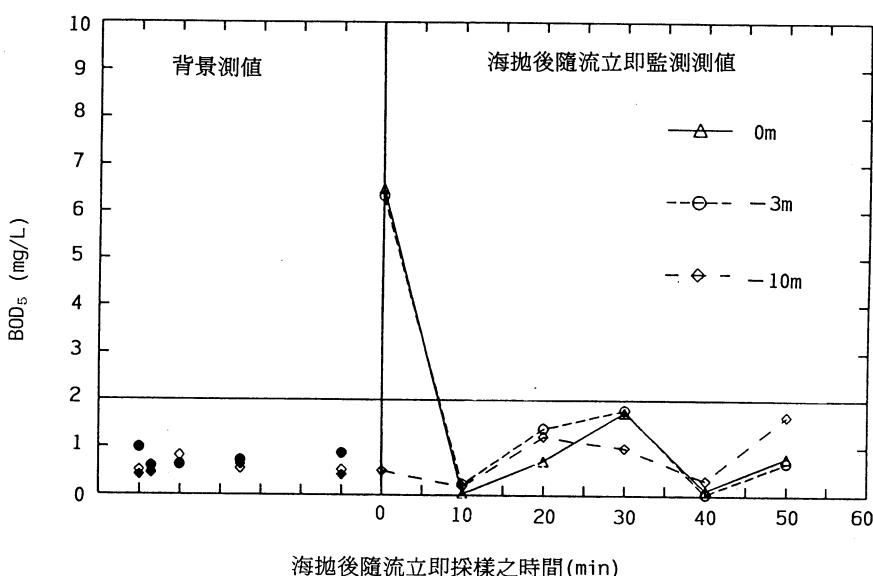


圖 4 海水五日生化需氧量於味精醣酵母液海拋後隨流立即監測之濃度變化圖

四、適合海拋之廢棄物

在「事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」第35條之中，明列了以下各項禁止海拋的事業廢棄物：

- (1)有害事業廢棄物
- (2)不易沉澱之灰渣、礦渣或非水溶性無機汚泥
- (3)廢油
- (4)含酚類或含油分在 $100 \mu\text{g/L}$ 以上之汚泥、廢酸或廢鹼
- (5)其他經中央主管機關公告者

倫敦公約協議國亦有逐漸減少海拋量的協定，故適合海拋的廢棄物已受相當的限制。但是屬於安定性並不危害海洋環境或可作為生物資源的有機物質不在此限，且已成為海拋處理的主要對象。這些有機物質至少包括食品工業、製糖工業、製酒工業、水肥、及部份生物產業等所產生的自然無害性汚泥或廢液。

在灰渣、礦渣、爐石、浚泥、或其他建築廢棄物方面，只要能事先加以處理使其安定並迅速沉降至海底且不致影響底拖漁業者，應能考慮以海拋處置之。目前地大物博的美國在未能尋獲陸埋地點的情況下，仍通融河道或港口的浚泥得以海拋，何況是地狹人稠的台灣小島。

其他如廢酸、廢鹼，只要不含有害成份且僅需簡易的中和處理即符合海拋標準者，應可仿照日本得以海拋處置之。

依據環保署「台灣事業廢棄物總量調查推估結果處置規劃及採樣分析」報告，民國80年可能適合海拋的事業廢棄物產量約達 8千公噸（表1），而民國90年所作的推估產量亦達6仟7百公噸。表1所列可能適合海拋的廢棄物主要包括汚泥、廢液及殘渣等 3大類，雖然並未扣除含有害成份的廢棄物，但若加入人畜糞尿等，全部幾仟公噸的廢棄物如果均需於陸上處理，必將成為國內廢棄物處置的龐大負荷。

五、海拋作業之規劃

海洋是人類賴以生存的自然資源，利用海洋亦需維護海洋。故任何廢棄物採行海拋作業者，均需進行謹慎地評估與規劃。在可行性規劃階段，尤需注重前處理、陸上運輸、棄置方法及海上監控系統等各細節的設計。

若以廢棄物特性區分，海拋的棄置方法主要分成兩類：

1. 集中型排放方法

即設法採取使海拋的廢棄物儘量快速沉降到海底，而且使其集中堆積之必要措施。這種方法大多適用於團塊狀廢棄物或固化物，其基本設計要求如下：

- (1)海拋物的比重需大於 1.2，即大於海水平均比重（表層海水約為 1.02 ， $10,000$ 公尺深海水約為 1.07 ）始可排放。

表1 台灣地區適合海拋之事業廢棄物統計表

廢棄物分類		產量 民國 80 年 廢棄物 產量 (公噸／年)	民國 90 年 推估廢棄物 產量 (公噸／年)
汚泥	塔底污泥	15,045	26,637
	有機污泥	778,632	1,378,545
	生物污泥	101,019	178,852
	無機污泥	1,641,272	2,911,182
小計		2,535,968	4,495,216
廢液	廢酸	143,371	253,834
	廢鹼	114,413	202,565
	廢液	107,545	190,406
小計		365,329	646,805
	燃燒灰渣	326,181	577,493
	集塵灰	1,250,000	3,505,000
	礦渣、爐石	2,334,355	4,132,905
	玻璃陶磁	154,507	273,175
	建築廢棄物	72,573,644	51,868,846
	其他廢棄物	665,156	1,177,638
小計		77,303,843	61,535,057
總計		80,205,104	66,677,078

(資料來源) 行政院環境保護署，台灣事業廢棄物總量調查推估結果處置規劃及採樣分析，EPA-80-H102-09-28，81年6月。

- ②不以粉末狀態排放。
- ③在船舶航行中不排放。
- ④以開底式船舶一次拋置為主。
- ⑤船體最好以雙底層結構作考慮，確保廢棄物於船行之中不致滲漏。

2. 擴散型排放方法

應設法使廢棄物作持續性的定量排放，而且儘可能利用海流及船舶所產生的紊流促使廢棄物快速擴散。這種方法適用於液態廢棄物，其基本設計要求如下：

- (1) 船舶應該是密閉式駁船。
- (2) 廢液應排放於海面下並接近船尾螺旋槳。
- (3) 船舶需在一定船速以上持續排放，並非定點排放，故其棄置海域應設置一定的範圍。

六、棄置地點之規劃

依據環保署已著手研究之方向，並參考味精釀酵母液現行海拋的地點，海拋地點的設置可能以台灣東部海域為最佳考慮，利用黑潮終年向北流且流速強勁的優勢作最佳的規劃受體。因於黑潮主流區可稀釋無毒害之廢液，而於黑潮主流以東海拋可利用黑潮之天然屏障阻隔廢棄物再西流影響台灣本島的機會。

七、結語

目前各事業單位所產生的中間產物或副產物雖不全是毫無價值的廢棄物，但若以資源化再利用或環保處理技術仍無法有效消化其產量且又屬於無毒害物質者，應可考慮海拋作為一可行的替代處理方案。

將廢棄物減量並予以資源化利用絕對是所有廢棄物處理的最好的方法，若能將廢棄物轉化成有用的資源，自然減輕再行處理的壓力。事實上國內各海拋業者也一直從事著各項減廢及資源化利用方案的研發工作，但在其成果尙未能具體執行之際或需行緊急替代處理方案時，海拋應是經濟可行的處置方法。經過審慎的規劃，海拋確可直接且有效解決大量無毒害性的廢棄物。

在各種處理方法比較上以味精釀酵母液為例，其處理處置的方法除了海拋之外大致還包括掩埋、焚化、生物處理等。其中掩埋一途因台灣可利用的土地資源太少且用地取得困難，故其設置過程非常困難。而焚化爐的設置與操作成本昂貴，其處理成本約為海拋的一倍甚或更多。此外生物處理方法用在污水處理上，因現行排放水水質標準漸趨嚴格且加諸總量管制的限制，不少產業廢水的處理必須達到三級以上程度，這樣的要求反應至處理成本均比海拋超出許多。若以味精釀酵母液這種高有機性廢液($BOD_5 > 10^5 \text{ mg/L}$)為對象並無法直接使用生物處理，必須先經昂貴的物理方法處理或先加入大量清水予以稀釋後才可處理。若使用稀釋為前處理，水質源可能因而耗費，處於現今嚴重缺水的寶島實非良策。

在廢棄物海拋的未來展望上，至少有以下各工作重點值得各方專家學者共同探討：

- 更完整海拋規範的制定。
- 可行海拋之廢棄物的判定及其因應措施。
- 適當海拋地點的妥善規劃。
- 專業海拋船隻和設備的運用或有效棄置方法的使用。
- 有效且實際海洋監測的執行。

目前依倫敦公約決議，屬於安定或未受污染的天然有機物不在禁止海拋的行列之中。國內至少包括釀造業、生物醣酵業、水產加工業、畜牧及其加工業、農產加工業、人畜糞便收集業等事業單位可能產生前述廢棄物，因此與其相關的事業單位或許可藉由海拋減輕其廢棄物處理處置的負荷。

綜合上述，海拋是政府應予規劃並執行管理的一種廢棄物處置方法，亦不失為產生大量無害性廢棄物之大型企業機構所採行的最終處置良策。

參考資料

1. United States Environmental Protection Agency, Final Environmental Impact Statement for the Designation of an Ocean Disposal Site off Tutuila Island, American Samoa for Fish Processing Wastes, 1989.
2. 蘇遠志等，生物產業廢液海拋作業考察報告，中華民國生物產業發展協會，79年7月。
3. 蘇仲卿，海拋日本怎麼做，環境與經濟，78年12月。
4. 行政院環境保護署，海洋投棄可行地點及管理規劃，EPA-79-003-38-207，79年10月。
5. 洪楚璋等，有機性事業廢水與都市廢水採取海拋可行性研究報告，中華民國環境保護學會，78年6月。
6. 洪楚璋等，味精酸酵母液採取海拋可行性評估研究報告，中華民國環境保護學會，78年6月。
7. 陳鎮東等，高雄塑酯化工公司廢酸海拋環境生態調查研究，國立中山大學海洋地質研究所，78年6月。
8. 泰興工程顧問股份有限公司，中鋼爐石海拋環境監測計畫，中國鋼鐵股份有限公司，81年8月。
9. 泰興工程顧問股份有限公司，煤灰海拋對海洋生態影響評估報告，台灣電力公司，79年1月。
10. 曾四恭等，厭氣生物流動床處理味精酸酵廢水之效率，中國土木水利工程學會第十一屆廢水處理技術研討會論文集，75年9月。
11. 曾四恭與朱威，理化方法做為味精廢醪前處理之效率研討，中國土木水利工程學會第十二屆廢水處理技術研討會論文集，76年9月。
12. 曾四恭與朱威，高級處理去除味精廢醪中色度物質之研究，中國土木水利工程學會第十三屆廢水處理技術研討會論文集，77年10月。

- 13 泰興工程顧問股份有限公司，味精酦酵母液試行海洋棄置計畫申請書暨味精酦酵母海洋棄置對海洋生態影響評估報告及監測計畫書，台灣區味精工業同業公會，81年11月。
- 14 泰興工程顧問股份有限公司，味精酦酵母液海洋棄置計畫申請書，台灣區味精工業同業公會，81年5月。
- 15 泰興工程顧問股份有限公司，味精酦酵母液海洋棄置環境監測及評估報告，台灣區味精工業同業公會，82年2月。
- 16 泰興工程顧問股份有限公司，味精酦酵母液試行海洋棄置環境監測報告，台灣區味精工業同業公會，82年11月。
- 17 海洋污染調查報告（第14號），日本昭和61年調查結果。
- 18 有賀功，產業廢棄物の海洋投入處分の實態，1991。
- 19 行政院環境保護署，台灣事業廢棄物總量調查推估結果處置規劃及採樣分析，EPA-80-H102-09-28，81年6月。