

出國報告（出國類別：開會）

參加美國 Battelle 「第四屆生物修復與 可持續性環境技術國際研討會」

服務機關： 行政院環境保護署土污基管會

姓名職稱： 吳雅婷環境技術師

派赴國家： 美國

出國期間： 106年5月20日至5月27日

報告日期： 106年07月28日

摘 要

「綠色及永續導向型整治 (Green and Sustainable Remediation, GSR)」的場址整治管理概念，為國際間近年來大力發展與拓展的觀點，本署自 2012 年引進此一觀點，持續於國內推廣，並朝向引進新穎的綠色技術為發展目標，期望可以透過技術的引進，增加本土技術的多元性發展。本次行程透過參與美國 Battelle 紀念研究中心 (Battelle Memorial Institute, 以下簡稱 Battelle) 每 2 年舉辦國際性的生物修復與可持續性環境技術國際研討會，瞭解美國及全世界目前土壤及地下水污染技術與永續整治發展現況與趨勢，吸取美國政府、學術單位、工業界、顧問公司、設備廠商及藥劑廠商的技術經驗與整合 GSR 觀點的管理模式，尋找國內未來土水污染場址整治技術與管理發展的方向。本次 Battelle 研討會發表主題以生物整治技術、生物藥劑應用、監測式自然衰減、分子生物技術為大宗，其中則有 1 天的議程為 GSR 相關推動情形，足以顯示目前國際間土壤及地下水污染整治技術發展及管理脈絡。本次行程同時發表我國推廣 GSR 成果及植物污染調查技術發展等 2 篇成果，藉以宣傳我國技術發展現況。

目 錄

壹、目的	1
貳、行程	3
參、成員	3
肆、工作內容	4
伍、心得及建議	29
附件一 Battelle 研討會議程	
附件二 Battelle 研討會發表簡報	

壹、目的

土壤及水資源為人民賴以為生的根本，土地本身為重要的資產，整體人民生活品質與國家經濟發展均仰賴可利用的土地，而臺灣受本身面積與地形限制，土地資源價值更顯重要。有鑑於此，本署於 2012 年起推動綠色及永續導向型整治(**Green and Sustainable Remediation, GSR**) 的觀念，並逐步建立我國 **GSR** 執行架構、評估工具與推廣方案。近年更積極尋找符合 **GSR** 精神的調查與整治技術或方法，期望為國內土壤及地下水污染調查與整治技術市場提供新的思路。

本署於 2014 年執行「污染場址綠色及永續導向型整治試辦及推廣計畫」，其間引進植物環境污染調查技術，透過植物快篩(**phytoscreening**) 的方式，利用植物傳輸水分及污染物的特性，瞭解地下水中污染物可能分布的情況；而隨著樹木生長，年輪中所累積的特定元素變化，則可以協助回顧污染的歷史，稱之為年輪化學法。此方法為對環境較友善的調查方式，以不進行侵入性的土壤及地下水採樣方法，達成縮短調查時間、找出污染範圍、污染熱點，並協助建構污染發生歷程與時間。

有鑑於 2014 年計畫成果，本署於 2016 年辦理「土壤及地下水綠色整治技術發展計畫」(以下簡稱本計畫)，擬延續 2014 年計畫經驗，持續推廣 **GSR** 觀念的同時，亦積極尋找新穎的調查與整治觀念、技術及方法，藉由技術的介紹與引進，期望尋找符合綠色及永續精神的技術，以刺激國內土水技術發展。

美國 **Battelle Memorial Institute** 每 2 年於北美舉辦國際性的生物修復與可持續性環境技術國際研討會，為北美境內極為重要的整治研討會，其內容涵蓋各類污染物的調查技術、整治技術、監測分析方法，並為美國政府單位、學術單位、顧問公司、藥劑廠商及設備廠商發表新穎技術及整治成果的重要盛會，亦吸引世界各國的參與，在研討會過程中同時有商展及海報時間，透過參與及評析 **Battelle** 研討會的內容及發表主題，可掌握目前北美及世界土壤及地下水污染調查與整治技術發展趨勢，並可從中尋找可引進的

技術。

為瞭解及掌握目前北美及世界土壤及地下水污染調查與整治技術發展方向與趨勢，本署規劃參與 Battelle 每 2 年（單數年）於美國東岸所舉辦之國際性的生物修復與可持續性環境技術國際研討會，期望可由本計畫的參與及發表，一方面瞭解目前北美及世界土水市場與技術的發展趨勢，另一方面透過發表我國推廣 GSR 成果及植物污染調查技術發展成果，宣傳我國技術發展現況。

貳、行程

日期	地點	活動名稱
106 年 05 月 20 日（六）	出發前往美國	啟程前往美國洛杉磯並轉機至邁阿密
106 年 05 月 22 日（一）	美國邁阿密	參加 Battelle 研討會開幕
106 年 05 月 23 日（二）	美國邁阿密	參加 Battelle 研討會
106 年 05 月 24 日（三）	美國邁阿密	參加 Battelle 研討會，並會晤 USGS 專家
106 年 05 月 25 日（四）	美國邁阿密	參加 Battelle 研討會
106 年 05 月 26 日（五）	美國邁阿密	參加 Battelle 研討會
106 年 05 月 27 日（六）	回程	返回臺灣

參、成員

單位	職稱	姓名
本署土污基管會	環境技術師	吳雅婷
業興環境科技股份有限公司	經理	王炳南
業興環境科技股份有限公司	專案工程師	吳孟禹

肆、工作內容

本次行程為出席 2017 年 5 月 22-25 日由 Battelle 於美國佛羅里達州邁阿密(Miami, FL) 舉辦之「第四屆生物修復與可持續性環境技術國際研討會」(4th International Symposium on Bioremediation and Sustainable Environmental Technology)。茲說明本次行程重要工作內容如下：

一、第四屆生物修復與可持續性環境技術國際研討會 (4th International Symposium on Bioremediation and Sustainable Environmental Technology)

(一) 研討會介紹

Battelle 機構所舉辦之 International Symposium on Bioremediation and Sustainable Environmental Technology, 1991 年創始於聖地牙哥, 迄今已經第 14 屆, 自 2009 年開始加入永續整治議題, 並將會議舉辦地點移轉至傑克森維爾及邁阿密舉辦。

本屆研討會於 106 年 5 月 22 日 - 106 年 5 月 25 日, 假美國佛羅里達州邁阿密(Miami) 的 Miami Convention Center 及 Hyatt Regency Miami Hotel 舉行 (會場照片如圖 1-1)。內容分為 14 個主題 (如表 1-1), 共 55 個專題會議 (section) 與 3 場座談會 (panel), 超過 500 篇口頭報告及海報發表, 議題圍繞在生物整治 (Bioremediation) 及綠色及永續導向型整治。在生物整治部份, 有部分的主題探討監測生物整治成效及監測式自然衰減成效的新穎工具, 特別是分子生物技術的發展及應用, 會議中並有許多顧問公司及學術單位發表新穎藥劑應用案例以及複雜場址、極端環境、破碎母岩等不同場址之生物整治經驗。另有部分的主題探討新興污染物的調查、分析與整治技術, 如全氟烷基物質 (Per-and Poly Fluorinated Alkyl Substance, PFAS) 及 1,4-二氧陸園 (1,4-dioxane)。另外亦有主題討論原油

洩漏的生物整治、石化產品污染場址生物整治，同時亦有相當數量的口頭發表及海報發表著重於蒸氣入侵議題。其中主題 F7-F10 專門討論與綠色及永續導向型整治相關之議題，議題內容則著重於 GSR 在不同場址整治及管理階段的應用，包含整治技術選取、長期操作與管理策略的最佳化、對於氣候變遷的挑戰與調適策略、國際發展等。研討會共分 7 個會場同時進行，每場次的口頭發表約 25 分鐘，時間為每日 8:00-17:00，17:00 - 19:00 則是海報發表時間。

除專題會議與海報發表外，本研討會亦包含商展，共有 48 家廠商參展，主要有政府單位，包括加州州際技術和法規委員會（The Interstate Technology and Regulatory Council, ITRC）、美國國防部戰略環境研究與發展計劃（Strategic Environmental Research and Development Program, SERDP）辦公室&環境安全技術認證計劃（Environmental Security Technology Certification Program, ESTCP）辦公室、顧問公司、技術及設備供應商、藥劑供應商、分析實驗室等參加，商展中，以藥劑供應商為主，又以現地生物整治藥劑為主要展出商品，但大部份藥劑供應商均有其特定的產品線，以供應不同類型整治需求。蒸氣入侵監測技術亦為本次參展重點，包含被動式土壤氣體監測技術、監測孔設置、連續監測技術等，另有生物熱監測及生物電化學監測等新穎設備及方法的展出，展示出生物整治領域最新之發展工法、技術及觀念。另外，即時調查分析設備、水平井設置及設計、反應牆挖掘設備等之技術展出，顯示高解析度場址調查及精確生物整治的觀念已在美國普遍發展並被接受。

表 1-1 研討會主題

主題	議程	場次
A	生物整治執行實務 Bioremediation Implementation Practices	A1 – A8
B-1	上游油品或氣體洩漏的調查與生物整治 Characterization and Bioremediation of Upstream Oil and Gas Releases	B1 – B4
B-2	石油碳氫化合物污染場址管理 Managing Petroleum Hydrocarbon Site	B5 – B8
B-3	新興污染物的生物整治 Biodegradation of Emerging Contaminants	B9 – B11
C-1	評估生物降解的先進工具 Advanced Tools for Assessing Bioremediation	C1 – C5
C-2	污染預防及廢棄物管理的新穎生物方法 Innovative Biological Approaches to Pollution Prevention and Waste Management	C6 – C7
D-1	生物整治在複雜場址的應用 Application of Bioremediation to Complex Site	D1 – D4
D-2	生物整治技術的新發展 Innovations in Bioremediation Technologies	D5 – D9
E-1	火炸藥類污染場址應變處置 Munitions Responses	E1 – E4
E-2	評估與監測自然衰減的新方法 Advance in Assessing and Monitoring Natural Attenuation	E7 – E10
F-1	對於 Per- and Poly-Fluorinated Alkyl Substances 的調查與整治 Characterization and Remediation of Per- and Poly-Fluorinated Alkyl Substances	F1 – F4
F-2	永續場址管理 Sustainable Site Management	F5 – F6
F-3	綠色及永續整治 Green and Sustainable Remediation	F7 – F10



圖 1-1 Battelle 研討會會場照片



圖 1-1 Battelle 研討會會場照片 (續)

(二) 研討會內容趨勢

本次會議共計有超過 700 個來自 25 個不同國家的環境領域專家學者與會，會議詳細議程詳附件一，我國則以「臺灣綠色及永續導向型評估工具之應用與發展 (The Application of GSR Evaluation Tools in Taiwan and Prospects)」及「植物污染鑑識與快篩技術於四氯乙烯污染場址之應用 (Application of Phytoforensics and Phytoscreening for a PCE-Contaminated Site)」為題，分別於 Section F10 及 Section D9 中進行口頭發表，發表之簡報詳附件二。表 1-2 為本次研討會口頭發表內容摘要，

表 1-2 Battelle 研討會口頭發表重點摘要

項次	題目	作者	重點摘要
開幕演講			
1	溢油事件應變策略上生物整治藥劑的評估 Evaluating Bioremediation Agents as an Oil Spill Response Alternative	David Tsao	Dr. David Tsao 為英國 BP 公司負責一個整治工程與技術開發，主要工作內容為發展各式油品整治技術，致力於海岸與水體中油品污染的整治工作。此演講中，Dr. Tsao 首先說明海面溢油整治的三個階段： Stage1：源頭控制(Source control)、Stage2：浮油移除(Bulk oil remediation)、Stage3：恢復(Restoration)。以上三個階段為油品整治最基礎的三個步驟，而在技術的選擇上，需考慮 Who(由誰整治)、why(為何需要)、how(如何整治)、where(污染位置)等因素。決定要使用何種整治技術前，需先執行初步調查，並將技術進行分類，進行技術之評測、分級、優先順序確立，以決定整治之方法。Dr. Tsao 所屬之部門負責新穎整治技術開發，目前主要工作為發展與實驗室測試新穎技術，並評測新穎技術之成效。Dr. Tsao 之團隊依據不同污染情形發展不同技術，由於目前整治技術發展趨勢需考慮對環境友善，因此目前大多技術皆是以生物整治技術之發展為主。此演講中 Dr. Tsao 舉了兩個案例，分別為海邊的油品污染與沼澤地的油品污染整治。
2	南佛羅里達州有害的藻華現象:環境的成因及對人體健康的影響 Harmful Algal Blooms in South Florida: Environmental Causes	Dr. Larry Brand	近年來，佛羅里達州周邊水域中藻華現象(Algal Bloom)日趨嚴重，雖然由於人類活動的緣故，全世界皆有藻華現象產生，但佛羅里達州的成因與其他地區之產生情形則有不同形成原因，在此演講中，Dr. Brand 說明了佛羅里達州周邊水域藻華的成因、以及對人體健康的影響等等。在 1970 年到 2006 年的期間，南佛羅里達州的湖泊與海岸邊的藻華現象有越來越嚴重之趨勢，藻華現象的產生是因為水中營養鹽

項次	題目	作者	重點摘要
	and Human Health Consequence.		<p>濃度提高，如氮、磷等，但這些藻華嚴重之水體附近並無類似的污染源。Dr. Brand 研究了南佛州水文地質情形，以及此地區歷史的產業活動，調查結果發現，佛州於 1970 年代左右開始大量種植甘蔗，種植時所施的肥料內就包含氮、磷等物質，由於甘蔗之種植位置位於地下水之上游，肥料內的營養元素會經由地下水流向下游區域的湖泊、海岸，進而造成藻類大量孳生，最後造成今日的藻華現象。藻華現象除了對於環境的影響外，對人體健康亦有影響。藻類會產生稱為藻毒的毒素，長期暴露下，除了會造成肺部傷害外，亦會誘導腫瘤的產生。除此之外，藻類亦會產生一種稱為 BMAA (Beta- Methylamino- L- alanine) 的神經毒素，可能使中樞神經系統產生病變，造成如阿茲海默症、帕金森氏症、與肌萎縮性脊髓側索硬化症等症狀。又由於藻毒會經由生物累積作用，累積於魚類、蝦類、貝類等，食用後藻毒將會被人體吸收，造成危害，因此，Dr. Brand 建議盡量不要食用佛州的海鮮與生飲水。</p>
3	<p>對於含氯溶劑整治液態或固態藥劑的注藥技術、方法及最佳執行措施</p> <p>Technologies, Methodologies, Best Practices for Distribution of Liquid and Solid Amendments for Chlorinated Solvent Remediation</p>	Eliot Cooper Steve Chen.	<p>此研究主要說明 Cascade Technical Services 公司依據其經驗所發展出來的一套注藥技術篩選邏輯，首先透過高解析度場址調查方法（直接貫入調查、超音波鑽機、染劑、移動式實驗室、快篩方法等），了解場址污染及水文地質特性，在利用 Cascade 公司發展的篩選表，依據場址地質特性，從直接貫入灌注技術(direct push injection)、水力破裂技術(hydraulic fracturing)、氣動式破裂技術(pneumatic fracturing)、注藥井(injection wells)及淺層混合(shallow mixing)等注藥技術中，考慮藥劑的物理特性、岩性、注藥深度等需求選定合適的工法。在注藥的影響半徑則會受到注藥的流速、壓力、注入體積、濃度、藥劑的持久性及動力學等影響。</p>
4.	<p>對低滲透性或破碎岩層的注藥策略：經驗、挑戰及最佳執行措施</p> <p>Strategies for Applying Reagents into Low Permeability and Fractured Media: Lessons Learned, Specific Challenges, and Best</p>	Josephine Molin, Brant Smith, Fayaz Lakhwala	<p>無論是生物藥劑或是化學藥劑，在現地整治的重點為藥劑是否可以達到預定產生作用的位置並且發生反應。本研究討論低滲透性地層及破碎母岩進行藥劑灌注的經驗，傳統上在注藥時，都會假設影響半徑 (ROI) 是一個圓柱形的盒子，且假設藥劑平均分散，且地質是非常均質的。但實際注藥時，藥劑會受到土壤的不均質性影響，特別是在黏土或破碎母岩時，優勢通道或裂隙的連續性，會大大影響到藥劑的傳輸，因此在藥劑量的假設上，需要考慮這些優勢通道或裂隙的比例，計算注藥量。EHC(注入式控制碳和零價鐵技術) 研究中比較液態藥劑低壓灌注法、水力破裂或氣動破裂注入粉體藥劑及土壤混合法的效果。以液態藥劑而言，需要比較小的注藥體積、高濃度的注藥及多深度及多口次的注藥，才能在低滲透層達到預定調查的目標，此外，液</p>

項次	題目	作者	重點摘要
	Practices		態藥劑容易沿著優勢路徑移動到其他區域而造成藥劑浪費，因此對於預定處理區的確認與隔離是很重要的。利用水力破裂或氣動破裂注入粉體藥劑時，容易去打通原來存在的裂隙通道，造成藥劑的傳輸。在真實案例中，EHC 等零價鐵(ZVI)會釋出 Fe^{2+} ，然後通過這些打通的裂隙通道而持續向下游傳輸。土壤混合對於淺層的低滲透性或異質性的地層有效，其藥劑的使用效率會更好，但施做的深度有限。
5	在含氯溶劑污染的環境中， <i>Dehalococcoides</i> 的社會網絡 <i>Dehalococcoides</i> Social Networks in Chlorinated Solvent Environments	Sebastien Cecillon, Timothy M. Vogel, Megan Altizer, Anca G. Delgado, Rosa Krajmalnik-Brown	此研究探討環境中脫氯菌族群所形成的網路與族群關係，可藉由了解各種菌群中的交互作用藉以評析生物整治的機制。研究方法是分析受四氯乙烯或三氯乙烯污染的土壤中，利用 16S RNA 定序與高通量 DNA 定序判別菌群種類，建立脫氯菌群網路，確立降解含氯有機物的機制。研究結果顯示，脫氯作用的菌群網路中，除了既有的脫氯菌群外，亦會和產氫菌、乙酸鹽產生菌等有關，此外，脫氯菌群也和電子傳遞鏈的功能有關。以上研究結果可提供地下水中含氯生物整治的生物需求，並協助發現脫氯機制中所需的酵素或蛋白質
6	ITRC 的多乙烯生物整治方法概論：對於破碎母岩的 DNAPL 污染源區的應用 ITRC's Bioremediation of Chlorinated Ethenes: DNAPL Source Zones - Fractured Rock Applications	Ryan A. Wymore, Tamzen Macbeth, Naji Akladiss, Michael Smith	本研究是 ITRC 發展的技术手冊內容的簡要說明，報告中指出目前現地生物整治技術已經非常的成熟，可以參考 http://www.itrcweb.org/Guidance/ListDocuments?TopicID=5&SubTopicID=3 下載相關文件。在污染源區的現地生物 ISB(in situ bioremediation)系統中，主要有 2 個機制，1 是污染物從地下環境的脫附、2 是污染物的生物降解，報告中指出現地生物整治需要特別注意的是當藥劑注入後，DNAPL 在水中的濃度會快速提升，因為這些存在孔隙中的污染物會被擠出來至地下水中，生物基質的安全係數大約是 2-10 倍，而在母岩中，需要考慮的是裂隙的分布，而且 DNAPL 可能會隨著裂隙移動，此外需要特別注意的是母岩可能釋出一些促進微生物生長或抑制微生物生長的物質。
7	在 3 個低滲透性地質場址的注藥技術案例 A Rigorous Demonstration of Permeability Enhancement Technology for In Situ Remediation at Three Low Permeability Sites	Kent Sorenson, Dung Nguyen, Nathan Smith, Michael Lamar, Hunter Anderson, Gord Guest, Robert Kelley	本研究是美國國防部 ESTCP 的計畫(ER-201430)，計畫當中研究 3 處不同場址，討論污染整治過程地質的異質性、低滲透性、污染物與藥劑的吸附與分散問題。計畫中討論了不同注藥技術(水力破裂與直接貫入注入)之間的差異，並且應用傾斜儀、地電阻及電導度的量測來確認注入藥劑的分散情況。由場址結果可知，無論使用何種注藥方法，都仍然會產生死角，但水力破裂可以傳輸的距離較遠。另外，前述監測技術，可以用來建立三維且及時的藥劑分散情形的即時資訊，用以判斷污染的狀況。
8	大型、低濃度 PCE 污染團的主動及被動整	Friedrich J. Krembs, George E. Mathes,	本研究探討一處位於德州、1975 年起開始運作的工廠，四氯乙烯、三氯乙烯及氯苯污染場址的污染團管理，本場址地下水屬於

項次	題目	作者	重點摘要
	治方法 Combined Active and Passive Treatment of Large, Dilute PCE Plume	Mitchell R. Olson, Katie Mitchell, Michael G. Sweetenham	<p>還原環境，地下水深度約在 10-25 英呎，過去調查研究指出污染團的前緣與主要污染源區已距離 2000 英呎，超過 MCL 的污染面積約有 40 英畝，但過去研究顯示本區域污染的健康風險較低，因此在整治的策略上整合應用主動整治、自然衰減及控制(institutional controls, ICs)來進行。由於場址是運作中工廠，因此場址內採用主動整治的方式執行，周界採用控制方式，但對於離開場址的污染團，考慮經濟可行、環境足跡較低且能應付污染團中下游污染問題的技術，因此採用現地生物 ISB(in situ bioremediation)，最主要的原因是因為場址的自然衰減能力已經被證實，因此在工廠的周界設置生物反應牆，使生物的基質可以持續的釋出，去處理下游的污染團，此外，為了持續處理下游的污染物，大約在污染團的中心點處，設置了一道生物反應牆(33 口井)，2015 年的統計資料顯示總共注入濃度 3% 乳化石油及乳酸基質共 150,000 加侖，算起來的整治成本是每立方碼 3 美元。</p>
9	移除水中 PFAS 的技術 Technical Solution for the Removal of PFAS in Water	Jurgen Buhl, Martin Cornelsen	<p>全氟烷基物質 (Per- and Poly Fluorinated Alkyl Substance, PFAS) 為近年歐美國家重點關注的污染物，這些污染物來自於消防劑的使用，本研究是針對德國紐倫堡一處興建機場隧道興建工程發現地下水中 PFAS 污染問題處理的研究。本場址地下水 PFAS 的污染濃度最高為 777 µg/L (約有 48% 為 PFOS)，平均濃度為 357 µg/L。本研究評估了不同品質的顆粒性活性炭、離子交換、奈米過濾、逆滲透等方式進行 PFAS 的處理，研究結果顯示利用一種凝結劑(micro floccs)的凝膠膠凝沉澱，配合傳統的沙濾/活性炭吸附/活性炭吸附的程序，可以有效處理地下水中的 PFAS，最多可去除 90% 的 PFAS。</p>
10	下個世代的分子生物技術：精確生物整治的途徑 Next Generation MBTs: A Pathway to Precision Bioremediation	Frank E. Löffler	<p>隨著分子生物技術的進步，吾人對微生物族群的促進地下水污染物降解與去毒性的機制的了解，現地生物整治已經進入一個全新的世代，特別是 <i>Dehalococcoides</i>, <i>Dehalogenimonas</i> 及 <i>Dehalobacter</i> 這三個獨特的菌群，可以將含氯有機化合物作為其能量來源，部分的族群有 reductive dehalogenase(RDases)，可以降解含氯有機溶劑、氯苯及多氯聯苯。田納西大學的 Frank Löffler 教授提出「精確生物整治(precision bioremediation)」的概念。目前的技術而言，可以利用 qPCR 進行特定的 16S rRNA gene 及負責特定 RDase gene 作為生物標誌物(biomarkers)，來了解地下環境中微生物族群的豐度、特定菌群數量是否可以分解污染物，但 DNA 的分析僅可知道降解微生物降解的「潛力」，而 RNA、蛋白質的分析，才可能進一步確認環境中的微生物具</p>

項次	題目	作者	重點摘要
			<p>有作用。在分析上，可以利用特用如 QuantStudio 12K Flex Real-Time PCR System 等技術，分析 224 target genes，亦可利用目前的蛋白質體技術來了解目前地下環境中的生物標誌蛋白(biomarker proteins)。因此在未來的現地生物整治中，可以利用宏基因組(metagenome)來了解地下環境中的微生物族群，並應用特定的菌株的 16s rDNA 或 RDases 來了解環境中是否存在脫氯菌群、是否有有存在脫氯的潛力，而利用 QuantStudio qPCR system 可以針對脫氯菌群或與脫氯族群相關的基因，quantitative proteomics (qProt)則可以預測特定脫氯步驟蛋白質的效率。透過全面的的微生物族群分析技術應用，可以使得現地生物降解的每個步驟得到完整的了解，並透過環境的控制來有效控制脫氯的作用。</p>
11	<p>質量通量方法來最佳化大型生物反應牆處理次氯酸、TCE、鉻及高爆藥的新穎應用</p> <p>Novel Use of Mass Flux Mapping to Optimize Large-Scale Biobarriers for Treatment of Perchlorate, TCE, Chromium and High Explosives</p>	<p>Friedrich J. Krembs, Dan Graveling, and Mitchell R. Olson.</p>	<p>此研究是以立體通量測繪(Mass Flux mapping)的方式，最佳化生物整治牆的成效。此技術以 3D 模擬地下水中過氯酸鹽、三氯乙烯、鉻與爆炸性物質的濃度及範圍。Mass Flux 最佳化須考慮的參數包含地下水高程、水力梯度、地下水流速、水力傳導係數等。本研究探討美國能源局(U.S. Department of Energy) 於德州的一處污染場址的現地生物整治系統的設計。經由 Mass Flux 的模擬，可確認不同污染物於地下中的質量流，提供生物整治系統更好的設計方向，本研究也指出，經由模擬後設計得系統，可使整治效能自 99% 上升至 99.9%。此研究顯示，Mass flux 是一個對於生物整治設計有幫助的工具，可了解地下水中污染物流向與位置，以用於確定設置整治系統的位置。</p>
12	<p>污染物質量排放量變化以評估多種整治系統的成效</p> <p>Contaminant Mass Discharge Reduction as a Compliance Metric for a Multi-Technology Remedial Action</p>	<p>Dominic Giaudrone, Tamzen Macbeth, Randa Chichakli, Rick Chappell, Kira Lynch, Chris Cora</p>	<p>此研究利用污染物質量排放量以評估多種整治系統的成效，雖然目前多是利用污染物濃度是否低於管制標準做為整治成效的評估，但使用污染物排放的減少量作為污染整治成效之依據在目前亦是被接受的。此研究為一案例分析，場址位於華盛頓州的一處超級基金場址，場址污染為含氯有機物污染，整治工作包含土壤開挖、SVE、地下水抽出處理(GETS)等工法，經過 25 年的整治過後，場址整治成效並不如預期，2009 年時規定場址須減少 90% 自污染源排放至周邊的排放量，所使用的工法包含淺層土壤開挖、現地熱處理和厭氧生物整治。經過 4 年的整治後，大約減少了 87.5% 的污染排放。</p>
13	<p>非污染的底泥與土壤中自然產生的含氯天然有機物質(CI-NOM)的生物降解</p>	<p>Hanna Temme, Paige Novak</p>	<p>此研究探討環境中自然產生的含氯天然有機物質(CI-NOM)受生物降解的情形，CI-NOM 是由環境中的有機物質與氯經由鹵化反應產生，並存在於土壤或底泥中，在環境中濃度很低。本研究所蒐集的樣本分別來自未污染的湖泊中，以及受到多氯聯苯污染的底泥與土壤中，以</p>

項次	題目	作者	重點摘要
	Biodegradation of Chlorinated Natural Organic Matter in Contaminated and Uncontaminated Sediment and Soil		探討含氯污染以及環境中 CI-NOM 的生成情形。研究結果顯示，受到含氯有機物污染與否，與 CI-NOM 的生成情形並無太大影響，在不同環境中，CI-NOM 具有相似的生成情形。在所有樣本中均有發現到 CI-NOM 之降解情形，但在含氯有機物污染的樣品中，CI-NOM 降解較慢。根據菌相分析之結果，在這類樣本中，降解 CI-NOM 的菌種，並非被大眾所熟知的脫氯菌 <i>Dehalococcoides mccartyi</i> ，而是脫硫菌。此結果顯示，若需降解較低濃度之含氯污染物，所需要的並非脫氯菌，而是參與自然界氯循環的這類菌種。
14	低溫岩心採樣法及高通量岩心分析：整治後效果評估 Cryogenic Core Collection and High-Throughput Core Analysis: Post-Remediation Performance Assessment	Mitchell Olson, Fort Collins, Wilson Clayton, Tom Sale, Maria Irianni-Renno Rick Johnson	此研究利用低溫岩心採樣法，取得土壤後進行土壤中有機物與菌相分析，以評估奈米零價鐵整治的成效。低溫岩心取樣法是由科羅拉多大學健康與科學研究所與 Drilling Engineers Inc. 共同研發之技術，是於鑽桿前加上一個可釋出液態氮的裝置，在固定的深度中可使欲採樣深度的土壤凍結，使土壤內菌相與易揮發的有機物更加穩定地存在於土壤樣品中。分析結果顯示，場址三氯乙烯濃度自 510 mg/kg 降至 0.3 mg/kg，污染整治成效達 99.9% 以上。另外由於採樣位置選取不同位置之緣故，可評析不同地質環境中三氯乙烯降解的情形，而分析結果顯示，在 K 值較低的區域中，有測得乙烯的情形，顯示在這個區域內有氯乙烯降解情形。
15	一處蒸氣入侵房子採用長時間被動式 VOC 採樣的時間變化情形 Long-Term Passive VOC Sampling Validation under Time-Varying Conditions at a Vapor Intrusion Study House.	Y. Guo, H. O' Neil, P. Dahlen, and P.C. Johnson. Yuanming Guo	由於目前以被動式採樣器監測蒸氣入侵的案例越來越多，且有多數研究指出被動式採樣技術可獲得與標準採樣方法類似的結果。此研究的目的為探討採樣時間與測得濃度之相對關係，以確認被動式採樣器長期採樣之成效。此研究是利用美國 Beacon 公司所生產之被動式採樣設備進行被動式採樣，並與主動式採樣設備進行結果比較(USEPA. TO-17)，共進行三組不同時間之測試，分別為 1 週、3 週及 4 週。場址主要污染物為含氯有機物，包含 1,1-二氯乙烯、1,1-二氯乙烷、1,1,1-三氯乙烷、三氯乙烯、四氯乙烯等，樣本分析以 TD-GC-ECD 與 TD-GC-MS 進行分析。分析結果顯示，Beacon 採樣器具有不錯的回收率以及較低的誤差，但被動式採樣不適合作為短時間暴露風險評估的依據。
16	物種穩定同位素作為判定氟氯碳化物生物降解的方法 Compound Specific Isotope Analysis (CSIA) as a Method to Verify Bioremediation of Chlorofluorocarbons	J. Manna, A. Horst, T. Gilevska, G. Lacrampe-Couloume, B. Sherwood Lollar, S. Dworatzek, and J. Webb. Jesse Manna	本研究利用穩定同位素分析，評估生物降解之成效。由於穩定同位素的特性較為穩定，目前常被使用於環境鑑識或是污染流布判斷上，此研究是利用化合物的特徵同位素分析，評估場址中生物降解的成效。此研究標的為 CFC-113 污染，研究利用 ^{13}C 與 ^{12}C 同位素比例評析生物降解情形，原理是利用碳同位素降解速率的差異，由於 ^{12}C 較容易被降解，利用 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比例的變化，即可判斷生物降解的情形。試驗結果指出，在具有菌群的樣本中， $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 隨著時間而升高，顯示 CSIA 具有做為評估生物降解氟氯碳化物的潛力。

項次	題目	作者	重點摘要
	at a Hazardous Waste Site		
17	應用物種穩定同位素、分子生物技術及數值模擬來評估氯苯污染場址特性 Monochlorobenzene Contaminated Site Characterization by the Use of ^{37}Cl , ^{13}C and ^2H -Compound-Specific Isotope Analysis (CSIA), Biological Molecular Techniques (BMTs) and Numerical Modeling	M. Marchesi, I. Pietrini, M. Antelmi, L. Alberti, T. Stella, A. Franzetti, D. Antonelli, F. de Ferra, R. Aravena, and O. Shouakar-Stash. Massimo Marchesi	此研究利用生物分子技術(BMT)、特徵同位素分析技術(CSIA)、宿命傳輸模式等技術評估監測式自然衰退法的降解情形。此研究場址為一氯苯與苯污染場址，研究分析場址中氯苯及苯的 ^{37}Cl 、 ^{13}C 與 ^2H 等同位素，並利用實驗判別不同環境下(好氧、厭氧、自然環境與刺激性環境等)，同位素的變化情形。研究結果顯示， $\text{d}^{13}\text{C}/\text{d}^2\text{H}$ 、 $\text{d}^{13}\text{C}/\text{d}^{37}\text{Cl}$ 、 $\text{d}^{37}\text{Cl}/\text{d}^2\text{H}$ 與 $\text{d}^{13}\text{C}/\text{d}^{37}\text{Cl}/\text{d}^2\text{H}$ 在不同污染來源的氯苯中有顯著差異，另外在 $\text{d}^{13}\text{C}/\text{d}^2\text{H}$ 則是用於判別不同來源之苯污染。另外於場址的分析結果顯示，以 $\text{d}^{13}\text{C}/\text{d}^2\text{H}$ 的分析結果評析，發現場址中苯的污染並非氯苯降解而成，而是某個污染源所產生的污染。另外在 ^{37}Cl 可以用於評估氯苯的降解情形。
18	應用診斷工具來評估硫酸鹽對石油碳氫化合物污染團的效應 Use of Diagnostic Tools to Assess the Efficiency of Sulfate Land Application to a Petroleum Hydrocarbon Plume	V. Ponsin, D. Hunkeler, D. Bouchard, E.L. Madsen, C.M. Derito, N.R. Thomson, K. Sra, T. Buscheck, R. Kolhatkar, and E. Daniels. Violaine Ponsin	此研究利用穩定同位素評估硫酸鹽對於油品污染團之整治效益，油品的生物整治效益取決於水中電子接受者的能力，因此在整治時，常會將氣態或液態的氧化劑注入水體中，增加整治的速率，而硫酸鹽即為一種便宜且高效率的氧化劑。為確認硫酸鹽降解油品污染物如苯的成效，以及硫酸鹽的還原情形，此研究之目的即為測試不同診斷工具用於評估整治過程的成效，以及評估硫酸鹽是否有效誘導生物整治的進行。此研究的診斷工具是利用硫酸鹽中 $34\text{S}/18\text{O}$ 以及溶解無機碳 (dissolved inorganic carbon, DIC) 中的 ^{13}C 進行評估，以及其他可判斷污染降解情形的特徵同位素(CSIA)與生物指標(metabolites、mRNA)。不同診斷工具判斷的結果指出，硫酸鹽中的 34S 可說明硫酸鹽有發生還原作用，而生物指標的特性則說明 BTEX 的降解發生於厭氧環境中。在 CSIA 分析的結果中指出， $^{13}\text{C}/^2\text{H}$ 的結果可說明苯和甲苯在硫酸鹽還原的情況下有降解的情形發生。
19	物種穩定同位素的環境鑑識特徵 – 潛力與與限制 Assessing the Potential and Limitations of the Current “State of the Art” of CSIA-Based Forensics	P.W. McLoughlin. Patrick McLoughlin	此專題演講為 Pace Analytical Energy Services 公司的 Dr. Patrick McLoughlin 進行說明，主要內容說明了特徵同位素分析用於環境鑑識以及含氯有機物降解的評估。此演講共以五個案例，說明 CSIA 於不同情境下的應用。前三個案例說明四氯乙烯降解情形的評估，由於降解與未降解的四氯乙烯具有不同的同位素特徵，降解時輕質的同位素會先分解，使同位素比例產生變化，此現象可用於判斷降解的情形。後兩個案例則說明 CSIA 用於污染源鑑識的情形，分別說明多重污染源混合污染的判斷，以及四氯乙烯、三氯乙烯共同污染來源之判

項次	題目	作者	重點摘要
			斷。
20	臭氧與殘留於土壤中石油碳氫化合物的交互作用 Interpreting Interactions between Ozone and Residual Petroleum Hydrocarbons in Soil.	T. Chen, A.G. Delgado, B.M. Yavuz, J. Maldonado, Y. Zuo, R. Kamath, P. Westerhoff, R. Krajmalnik-Brown, and B.E. Rittmann. Tengfei Chen	此研究利用臭氧處理土壤中殘留的燃料油，由於重質油品不易由自然衰退降解，須利用其他作法將其降解，而將油品氧化使之可被生物降解是一個常見的整治方法，而臭氧即為一種強氧化劑，此研究的目的即為測試臭氧氧化土壤中的油品，並測試其被生物降解的情形。此研究測試 300g 的污染土壤，通入臭氧後 1 小時~4 小時，分別測量生化需氧量(BOD)、溶解性有機碳(SOC)、溶解性化學需氧量(SCOD)以及土壤中總石油碳氫化合物(TPH)濃度。結果顯示，大約 40% 的 TPH 被降解，且 BOD 上升四倍，顯示臭氧可強化生物整治的效益。但對於某些油品類的化合物，如樹脂(resin)和瀝青質(asphaltenes)則無法被氧化。
21	利用 <i>Pseudomonas spp.</i> 於都市中前燃料油設施土壤污染生物整治的案例 Integrated Soil Bioremediation Using Selected <i>Pseudomonas spp.</i> Bacteria for the Cleanup of a Former Bulk Fuel Facility in an Urban Setting	Kent Reynolds, Neil Irish, Greg McIver, Randall von Wedel,	本研究場址為美國前國防部的儲油設施，位於城市內，污染物為油品，含碳量從 C4~C40，但大部分為柴油(C13~C22)，原本的處理方式是要利用土壤移除的方式，但在經過當地單位的協調後，決定使用對於周邊居民干擾較小的整治方式，根據可行性研究的結果，決定利用生物整治的方式執行。此計畫整合三個主要技術：(1) 培養一種具有專利的 <i>Pseudomonas spp.</i> 用於生物整治；(2) USEPA 專利的"細菌友好型"介面活性劑；(3) 移動式的土壤處理系統(SPS)。為確認污染整治情形，菌種在 300 噸污染土壤的區域進行測試，處理後抽樣測試，確認可減少約 90% 的 TPH，以及 95% 以上的汽油類化合物被整治。
22	維吉尼亞州約克振海軍特殊燃料油 LNAPL 污染應用現地悶熱法的模場試驗 Pilot Test of In Situ Smoldering Combustion for Remediation of Navy Special Fuel Oil LNAPL at Defense Fuel Supply Point in Yorktown, Virginia	James Wang, Neal Durant, Gavin Grant, Suzanne OHara, Stephen Rosansky, Sam Moore, Russell Sirabian	此研究為先行測試現地熱處理法對於燃料油去除的效益，污染場址為海軍特殊燃料油污染的場址，由於這種油品黏性大，且密度高，很難以一般方式處理，當前是以蒸汽加熱的方式進行處理，但此方式維護費用高，且根據估計約需 30 年才能整治完成。STAR(Self-sustaining Treatment for Active Remediation)是使用悶燒的方法，同時在水位面上方及下方進行加熱，藉以處理 NAPL。STAR 的設計原理是利用悶燒加熱，在加熱後，只要有適當的控制，即可自行維持適當溫度以進行整治。加熱方法是利用加熱井，自底部通入熱蒸氣，使熱蒸氣自然向上，達到加熱的效果，加熱至 600 度時停止加熱，並使環境維持加熱狀態。根據試驗結果顯示，試驗前污染 TPH 濃度為 14400 mg/kg 的土壤，經過處理後，TPH 濃度減少 93%，顯示此方法可有效降低 TPH 濃度。
23	近期超及基金場址土壤、地下水及底泥整治選擇趨勢	Linda Fiedler, Carlos Pachon Patricia Sinski	此演講為 USEPA 報告美國超級基金報告(Superfund report)的彙整情形，此次演講彙整 1988~2014 年間 Superfund 整治場址的相關資料，共有 4088 處場址進行整治，其中 84% 的場址具有地下水污染、81%

項次	題目	作者	重點摘要																				
	Recent Trends in the Selection of Remedies for Groundwater, Soil, and Sediment at Superfund Sites.	Danielle Wohler	的場址有土壤的污染，30%場址有底泥污染。污染種類以 VOC、sVOC、重金屬為主，三者共占 53% 以上，其中地下水污染以含鹵有機物占最大宗。土壤的整治工法部分，以 SVE、化學處理、現地熱處理(處理污染源)三項為主；地下水整治工法是以生物整治與化學氧化為主。最新一期的 Superfund report 預計於 2017 年 6 月公開至 USEPA 網站上。																				
24	對於複雜 DNAPL 污染場址的多元整治技術決策 Decision Framework for Selecting Multi-Technology Remedy for Complex DNAPL Remediation	Rebecca Cardoso Danielle Janda Tamzen Macbeth Mitra Fattahipour	<p>本研究由美國海軍所執行，美國海軍為處理舊金山造船廠周邊一處複雜污染的場址，污染包含混合油品污染、氯苯、多環芳香烴、多氯聯苯以及芳香族磷酸鹽等。先導試驗的測試結果說明，適合此場址的整治技術包含現地熱處理法(ISTR)與現地固化穩定化法(ISS)，美國海軍利用 Criterium Decision Plus (CDP) 軟體評估兩種處理方法的成效，以及有效性、可行性、永續性、風險、環境足跡與成本等因素。根據模擬結果，ISTR 需花三年的時間完成整治，而 ISS 僅需 2 年。ISS 有著較低的風險與成本，而 ISTR 所產生的風險相對較高，根據評估結果，美國海軍選擇使用 ISS 做為整治的工具。</p> <table border="1"> <caption>Table 1. Summary of Technology Evaluation</caption> <thead> <tr> <th>Criteria</th> <th>Metric</th> <th>ISTR</th> <th>ISS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Feasibility and Risk</td> <td>Qualitative score based on hazardous materials generation, handling, and disposal</td> <td>Moderate</td> <td>Low</td> </tr> <tr> <td>Sustainability</td> <td>Numeric score based on SiteWise™</td> <td>High</td> <td>Moderate</td> </tr> <tr> <td>Implementability and Permanence</td> <td>Qualitative score that measures the complexity of implementation</td> <td>Difficult</td> <td>Moderately Difficult</td> </tr> <tr> <td>Capital Cost</td> <td>Capitol Cost (\$M)</td> <td>\$14.7</td> <td>\$13.8</td> </tr> </tbody> </table>	Criteria	Metric	ISTR	ISS	Feasibility and Risk	Qualitative score based on hazardous materials generation, handling, and disposal	Moderate	Low	Sustainability	Numeric score based on SiteWise™	High	Moderate	Implementability and Permanence	Qualitative score that measures the complexity of implementation	Difficult	Moderately Difficult	Capital Cost	Capitol Cost (\$M)	\$14.7	\$13.8
Criteria	Metric	ISTR	ISS																				
Feasibility and Risk	Qualitative score based on hazardous materials generation, handling, and disposal	Moderate	Low																				
Sustainability	Numeric score based on SiteWise™	High	Moderate																				
Implementability and Permanence	Qualitative score that measures the complexity of implementation	Difficult	Moderately Difficult																				
Capital Cost	Capitol Cost (\$M)	\$14.7	\$13.8																				
25	傳統水力控制方法整合生物整治加強處理 TCE 污染源的案例 Combined Remedy Bioremediation Enhancement to Address a Trichloroethene Source at a Legacy Hydraulic Containment Site	Jim Langenbach, Joseph Bartlett, Siva Thotapalli	此案例整合兩種不同的整治方法，用於同一個場址中，場址為地下水中的三氯乙烯污染，污染自 2002 年開始進行整治，最開始是利用 pump & treat 整治地下水中的 DNAPL，但效益不佳，且每年需花費 60,000 美金進行維護，因此在執行整治十年後，決定增加加強性生物整治的工作，加強整治效益。生物整治工作包含灌注電子供應者，以及培養脫氯菌，搭配原有的 pump & treat 工作進行整治工作。此案例中注入的電子供應者為乳化植物油(Terra System's SRS FRL)，並加入共 10 L 的脫氯菌群(SiREM Laboratories KB-1)，再注入藥劑後，將系統關閉 3 個月以確定還原脫氯反應的進行。整治結果顯示，兩者的搭配達到非常有效的整治結果，不但降低了整治成本(總成本小於 50,000 美金)，且發現 TCE 有顯著的脫氯情形，濃度自 71,000 ug/L 降低至 14 ug/L，且脫氯產物乙烯有增加情形，證明生物脫氯反應持續進行中，證明此技術可有效運用於現地整治。																				

項次	題目	作者	重點摘要
26	應用生物整治及化學還原方法處理 DNAPL 的近期發展 Concurrent Application of Biological and Chemical Reduction Technologies to Treat DNAPLs in Groundwater: An Update	Abe Northup Terry Feng Alan Hodges	此演講說明了一個同時使用化學與生物整治技術的整治工作成功案例，整合的工法包含了三項，分別為現地化學整治、加強式生物脫氯、以及零價鐵滲透反應牆。場址的污染物為含氯污染，包含四氯乙烯、三氯乙烯、順-二氯乙烯以及氯乙烯，濃度約 1~200mg/L，且有自由相存在，此外在某些區域中，有六價鉻與揮發性有機物並存的情形。整治結果顯示，場址污染物濃度從 137,000 ug/L 降低至 75 ug/L，大部分場址皆完成處理。此案例指出，三項工法的整合可以有效清除地下水中含氯污染物，但此演講也提到，環境控制，尤其是環境中的 pH 值對於整治是非常重要的。
27	整合過硫酸鹽、現地產鐵離子及生物整治的方法 Combining Persulfate, In Situ Ferrate Generation and Enhanced Bioremediation for Safer, More Effective Remedial Actions	Jim Mueller, Kevin Finneran, Ramona Darlington, Michael Scalzi	Provectus 公司自行研發的化學氧化藥劑，與一般過硫酸鹽(persulfate)或其他現地氧化藥劑表現的差異。一般而言，現地化學氧化法(in-situ chemical oxidation, ISCO)在執行時具有可快速氧化污染物的能力，但常會伴隨著氧化不完全，而造成污染物濃度的回升。若將 ISCO 結合生物整治，即可抑制污染物濃度回升的現象。Provectus 公司研發的藥劑 Provect-OX 為一種混合過硫酸鹽與三氧化二鐵的氧化藥劑，在添加至污染區域進行反應後，持續生成的鐵酸鹽將可以延長氧化的時間，另外殘留的鐵與硫酸鹽，則可以做為生物降解時所需的物質，藉以提升整治效率。
28	污染源區已熱處理方法處理後之下游 PCE 污染團自然衰減特性調查：生物方法及雙同位素分析 Integrated Characterization of NA of PCE Plume after Thermal Source Zone Remediation: Microbial Techniques and Dual Isotope Analysis	Mette Martina Broholm Alice Badin, Jordi Palau, Daniel Hunkeler Carsten S. Jacobsen Phil Dennis Niels Just	此研究是探討經由熱處理整治後利用自然衰退法處理場址中剩餘的污染物，再利用微生物技術與同位素分析評估場址的狀態。污染場址為一處乾洗設施，主要的污染物為四氯乙烯，且污染流至地下水中並移動至別處，移動的污染是利用蒸氣萃取法(vaper extraction)，而污染源則是利用熱處理整治。整治後殘留的污染物利用自然衰退降解，此研究目的即為評估自然降解的情形。在碳氯同位素的檢測結果顯示，生物降解為分解污染物的主要機制，而微生物分析也發現 <i>Dehalococcoides</i> 為主要的分解菌。
29	利用蛋白質體學分析工具評估一氧氣注入生物反應牆系統對 MTBE 監測式自然衰	Kate H. Kucharzyk Craig Bartling Kenda Neil	此研究案例為美國國防部 ESTCP 其中一項研究計畫，探討利用氧氣注射系統，建立一個雙層生物屏障，以驗證場址中甲基第三丁基醚 (MTBE) 的自然降解情形。此研究共於 2 個不同地點中執行，為分析場址中生物降解情形是否作用，本研究共執行不同分析項目，包含基

項次	題目	作者	重點摘要
	減的效果 The Use of Omic-based Tools to Aid in the Assessment of Monitored Natural Attenuation of MTBE Contaminated Sites with Biobarrier Oxygen Injection Systems		因組分析、穩定同位素分析、蛋白質分析等，以確定生物降解的情形。分析結果指出，受到生物屏障後，污染區域僅剩下原有的菌種，而此類型菌種仍會持續降解 MTBE，由蛋白質體分析可進一步得知，此類菌種具有可分解 MTBE 的蛋白質存在，解分解 MTBE 的機制為共代謝分解。
30	在母岩污染團及污染源區的生物族群功能性宏基因體分析 Functional Metagenomics of Microbial Communities in Groundwater for a Bedrock Plume and Source Area	Regina Lamendella, Justin R. Wright Tamzen Macbeth, David A. Marabello	此研究場址為一處二氯甲烷污染場址，場址原為一處二氯甲烷的儲槽，過去因洩漏造成此處的二氯甲烷污染，最初使用 Pump & Treat 成效不彰，後續改使用生物整治，為確認生物整治的成效，本計畫使用基因體學與功能性基因分析的方式判斷生物降解的成效，此外，也利用穩定同位素評估生物降解的情形。研究結果顯示，從菌相分析的結果可看出，某些菌種具有降解二氯甲烷的能力，包含 Dehalobacterium、Acetobacterium 與 Desulfobivrio，上述菌種的數量與二氯甲烷代謝物的濃度呈現正相關，另外在基因體學的分析結果指出，有數種不同的菌種組成一個族群，共同降解二氯甲烷。本研究另外使用 qPCR 分析降解二氯甲烷的功能基因，以判別不同菌種於降解時所扮演的角色。
31	在甲烷生成及硫酸鹽還原情況下 BTEX 地下水污染的永續生物整治方式 A Sustainable Bioremediation Approach for BTEX-Contaminated Groundwater under Methanogenic and Sulfate-Reducing Conditions	Leslie M. Pipkin, Vijaikrishnah K. Elango, John H. Pardue	本研究探討一種由泥炭和沙組成的生物反應器，探討其對於水中高濃度 BTEX 的降解能力。此研究分別探討在實驗室中單純使用生物反應器以及添加硫酸鹽做為電子接受者的降解情形。研究結果發現，無論是否添加硫酸鹽，生物反應器皆有整治效用，但經由次世代定序確認菌種後，發現是否添加硫酸鹽會影響菌種的活性，生物降解作用在不同機制下會由不同的菌種執行。
32	利用膠體活性碳管理及處理低滲透區的污染物 Management and	Kevin Saller Kristen Thoreson	本研究為美國 CDM Smith 公司所發表之新型污染整治工具 Plumestop, PS，探討其成效與應用。Plumestop 為一種膠體活性碳，可加入地下水中後吸附水中揮發性有機物，達到整治的成效。本研究共設置四組實驗以進行比對，分別為對照組、只添加 PS、添加微生物

項次	題目	作者	重點摘要
	Treatment of Contaminants in Low Permeability Zones With Colloidal Activated Carbon		物及乳酸鹽、添加微生物、乳酸鹽與 PS 四組。試驗結果顯示，污染物的吸收程度會與 K 值有相關性，且若只使用微生物進行降解，會有污染物回升的現象，在添加了 PS 後，則可持續吸附污染物，使污染物濃度不會回升。
33	萘穩定同位素探針於硫酸鹽藥劑促進一個天然氣工廠生物整治的應用 Naphthalene Stable Isotope Probing Illustrates That Sulfate Amendment Enhances Biodegradation at a Former Manufactured Gas Plant	Monica Heintz Jeff McDonough John Brussel, Catherine Geraci, Matt Hysell James Morgan	本研究利用穩定同位素探針(Stable Isotope Probing, SIP)探討紐約一處天然氣工廠中萘的生物降解情形。SIP 是利用 ^{13}C 標記萘，將 SIP 放入土裡後，評估 ^{13}C -萘的降解情形，並同時進行菌種的分析。場址整治是添加硫酸鹽誘導生物整治，同位素分析 ^{13}C -萘與其代謝物，以評估生物降解情形。分析結果指出，SIP 中的 ^{13}C -萘濃度有降低的情形，且其降解產物濃度有升高情形，顯示此處存在生物降解情形。
34	生物降解的明確數據：利用穩定同位素探針的實務研究 Generating Definitive Data for Biodegradation: Case Studies on Practical Use of Stable Isotope Probing	Matthew Burns Christine Warford Judy Andrews Daniel Liwicki	此研究利用穩定同位素探針，評估誘導生物降解與監測式自然衰退法中，兩者的整治成效與生物降解情形。本研究共有三個案例，1)利用 ^{13}C -苯作為穩定同位素標記以評估整治成效，2)評估生物降解的步驟，3)評估化學氧化與生物降解的成效。
35	利用多種證據證明 MTBE 生物降解的特性：平衡分配、CSIA 及生物族群分析 Characterization of MTBE Biodegradation Using Multiple Lines of Evidence: Equilibrium Partitioning, CSIA, and Microbial Analysis.	David Collins, P.E. Nicole Longinotti	此研究利用多種不同分析項目，包含同位素、菌相分析、揮發性有機物分析等，評估一處漏油場址之甲基第三丁基醚(MTBE)整治與生物降解情形。同位素是利用 BioTrap 進行評估，並利用第三丁基醇(TBA)與 MTBE 比例判斷降解情形。分析結果指出，在污染源與外圍污染的區域降解情形有所不同，污染源中心較高濃度的位置，MTBE 降解主要是溶解作用造成，而外圍濃度較低的位置主要機制為生物降解，距離污染源越遠，生物降解情形越增加。

項次	題目	作者	重點摘要
36	利用最佳化場址審查使得污染場址整治策略得以符合計畫目標並朝向永續整治方向前進 Applying Lean to Optimize Site Reviews for Project Strategy Alignment and Sustainable Remedial Approaches	Bethany Zinni, Susan L. Boyle Jeffrey M. Baker	本演講說明利用場址的審查機制，以優化調查與整治策略。目前的審查機制大多昂貴與不夠精細，因此在此演講中，團隊提出一個共同審查的概念，由同行的人員進行場址的審視，判斷場址污染情形，以擬定後續的策略與最佳化整治工作。審查人員稱作”Gatekeeper”，這些人員在審查場址資料後，需提出相關的後續建議，包含增加土地產值、減少廢棄物等相關策略，並產出報告。
37	利用 ^{14}C 分析探討地下水中 TCE 共氧化的速率 Use of a ^{14}C Assay to Determine Rates of TCE Co-oxidation in Groundwater.	J.C. Mills, D.L. Freedman, J.T. Wilson, and T.H. Wiedemeier.	此研究為利用 ^{14}C 同位素探討地下水中三氯乙烯降解情形，並量化其反應速率。研究方法是從不同地點採集水樣，再加入以 ^{14}C 標記之三氯乙烯，後續評估降解情形。根據三氯乙烯的降解情形，以及二氧化碳的生成情形，可利用統計公式計算三氯乙烯在水中的降解反應速率。
38	利用多深度監測調查 PCE 在抽出處理前後的動態變化建立殘留污染物的場址概念模型 Conceptualization of Residual Contamination Using Depth Discrete Monitoring of Dynamic PCE Concentration Changes during and after Remedial Pumping and Pumping Test	Mette Martina Broholm , Annika S. Fjordbøge, Klaus Mosthaf, Philip J. Binning, Bentje Brauns, Theodora Tsitseli, Poul L. Bjerg Henriette Kern-Jespersen	此研究為一處丹麥四氯乙烯污染場址，過去曾使用 P&T 整治污染源，但因地下水流向與地質複雜，造成場址污染區域複雜，難以判斷污染位置，因此進行高解析度場址調查，方法是利用多深度採樣，進行不同處的地下水調查，並利用多深度採樣的結果，建立場址污染分布的場址概念模型，並以 3D 模型判斷污染源位置與較高濃度之位置。
39	利用光學影像技術探測燃料油螢光圖：一個全新的 LNAPL 直接貫入工具高解析度	Daniel Pipp Thomas M. Christy Jonathon Wiley Sheryl Doxtader	本研究是利用美國 Geoprobe 公司新發展的儀器：Optical Imaging Profiler (OIP)，其原理是利用 UV 誘導螢光，在偵測螢光的強度，此方法主要用於偵測油品類的污染物，特別是以 LNAPL 存在的自由相。此方法與 LIF 相似，而此研究比較兩種技術的差異處，兩種方法

項次	題目	作者	重點摘要
	探測工具 Fuel Fluorescence Logging Using the Optical Imaging Profiler (OIP): A New High Resolution Direct Push Tool for Delineating LNAPL	John Fontana	具有相似的結果，此結果也提供了另一種可使用的新技術。
40	高解析度調查基線資料的影響：甘迺迪航空中心一個重機械設備場址案例 Impact of High-Resolution Characterization during Baseline Sampling at Contractors Road Heavy Equipment Area, Kennedy Space Center, Florida	Anne Chrest Rebecca Daprato Mike Burcham, Jill Johnson,	本研究為一處利用高解析度場址調查之案例，利用基線抽樣(Baseline sampling)的方式進行細密的地下水污染調查。此場址污染為三氯乙烯污染，在 2014 年時測得最高污染濃度為 160 mg/L，但在利用高解析度場址調查後，測得最高濃度為 570 mg/L，且發現其他的污染來源。
41	地層通量：應用連續地層調查和高解吸吐場址調查來建立污染物通量 Stratigraphic Flux: Applying Sequence Stratigraphy and High-Resolution Site Characterization to Find Contaminant Flux	Joseph A. Quinnan Eric R. Killenbeck Patrick Curry Lynden Peters Catharine Varley Kent Glover Mark Rodriguez	此研究利用透水性分析儀(Hydraulic Profiling Tool, HPT)，測量場址中不同位置之水利傳導係數，進行水文傳導的調查，評估水中污染物的通量，並藉此判斷污染團的流向與分布。
42	比較不同的環境評估工具來減少底泥整治計畫的社會經濟衝擊 Comparison of Environmental Evaluation Tools and	Michael E. Miller Melissa A. Harclerode	本研究探討底泥整治的生命週期評估，利用 SiteWise™這套軟體進行評估，可評估污染的整治與經濟面的影響。此研究探討兩處場址，分別利用此套軟體，評估整治對於環境面與經濟面的影響。結果發現，在整治的過程中，工程控制的執行對於環境面與經濟面的影響最大。

項次	題目	作者	重點摘要
	Incorporation of Monetized Socioeconomic Damages for Sediment Remediation Projects		
43	利用生命周期評估來選擇石化污染場址的整治技術 Using Lifecycle Analysis to Select Remediation Technologies for Petroleum-Impacted Sites	Hong Jin, Roopa Kamath, Amy Gropp, Sara McMillen	此研究是利用生命週期評估，評估一個油品污染場址中，利用不同的技術整治可能產生的溫室氣體量，並將之作為一個環境指標，利用此方法，評估最符合 GSR 精神之整治技術。
44	美國陸軍應用 GSR 最佳管理措施至所有場址的成效 District-Wide Incorporation of Green and Sustainable Remediation (GSR) into Formerly Used Defense Site (FUDS) Program Projects in the USACE Louisville District	Corey D. White Joshua O. Van Bogaert Carol L. Dona	此演講為美國國防部一處使用 GSR 評估進行整治工作的案例，並以此修改國防部於 2012 年所建立之電子表單，用於作為 GSR 評估的依據。此演講說明了於 2012 及 2013 年執行的成果與實施最佳管理措施 (Best Management Practice, BMP) 後所造成的影響，並計算了整治過程中之環境足跡。
45	即時土壤氣體監測作現地生物整治的證據 Real-time Field Monitored Soil Gas Data as Inexpensive Line of Evidence for In Situ Bioremediation	Kevin A. Morris	此研究為利用監測土壤氣體的數據，作為現地生物整治情形之指標。一般而言，現地生物整治主要的監測項目包含水質項目溶氧量、氧化還原電位、pH 值、離子等，有時為確認整治成效，還會使用穩定同位素、背景螢光分析、qPCR 等分析項目，但這類分析項目往往花費較高，因此此研究利用土壤氣體分析，分析氣體中二氧化碳、甲烷、氧氣、硫化氫等，評估生物整治的成效。原理是利用厭氧反應後生物會將污染物降解，產生相關氣體，即可利用氣體濃度評估污染物降解情形。

項次	題目	作者	重點摘要
46	綠色及永續整治分析：一個燃煤灰渣表面填埋場關閉策略 Green and Sustainable Remediation Analysis: Coal Ash Surface Impoundment Closure	Ali Boroumand and Kurt Herman	本研究利用 SiteWise™來計算一個灰渣填埋場的關廠決策。對一個燃煤發電廠而言，灰渣的處理大多都是採用 in lined 或是 unlined surface impoundments (Sis)，但隨著社會、環保團體及法規的壓力，迫使這些灰渣處理場必須要選擇關廠，主要的方案有 2 個，第一個是現地處理 (closure inplace, CIB)：除水、覆蓋及工程控制，另一個則是離場處理 (closure byremoval, CBR)：開挖、運送至掩埋場掩埋，由於兩個方案影響甚鉅，故應用 GSR 評估方法，評估工作人員及社會安全、能量消耗、溫室氣體排放及相關的環境公平因子。如果以無作為(no action)為基線進行比較，2 種方法都會產生負面效益，但整體而言，CBR 的負面影響大約都是 CIP 的 2-20 倍。
47	運作中加油站利用線地整治系統處理溶解態碳氫化合物污染的永續整治 Sustainable Remediation of Dissolved-Phase Hydrocarbons at an Active Fuel Service Station Using an Integrated In Situ Remedial System	Barry Rakewich Kyle Jackson Edmonton, Alberta, Kris Bradshaw Jay Grosskleg	本研究說明加拿大某一個加油站的整治工作，該場址在 2012 年發現油品洩漏污染地下水，且其污染團已經擴散至場外。此研究在 2012 年時確認在此研究場址周邊的飲用水遭受總石油碳氫化合物污染，因此開始展開土壤及地下水的污染調查計畫，以確認污染程度，以及周邊居民健康風險的控制。場址主要地質為黏土夾砂及礫石，主要污染位置約為地下 2.3m，在地下水水位附近。地下水流向是由東向西，水力坡降約為 0.02m/m，考量加油站經營的永續性，污染整治方法則是需選用永續性與非侵入性的整治方法，整治方法整合了多個現地整治的技術，包含 SVE、AS、加強式生物整治、化學氧化等。整治時間從 2015 年到 2016 年，共回收了 138,000 m ³ 的地下水，經由活性碳過濾系統處理後再排入下水道中，根據質量平衡計算的結果顯示，約有 3,000 kg 的總石油碳氫化合物被移除，整體場址的污染物約移除了 84%。在溶解態的總石油碳氫化合物中，也發現有生物降解的情形發生，由整治區域的二氧化碳濃度增加，以及硝化反應的抑制等，皆可證明此現象。
48	利用生物刺激處理碳氫化合物污染團的永續生物整治：微生物族群及生物地球化學 Sustainable Bioremediation of a Legacy Hydrocarbon Plume Using Biostimulation: Microbiology and Biogeochemistry	Scott D. Colville, Joyce M. McBeth, Viorica F. Bondici, Kris Bradshaw, Jay Grosskleg, Wenhui Xiong, Chris Mathies, Marshall Pachal, Trevor Carlson	本研究是 Federated Co-operatives Limited's commitment to the Sustainable In-Situ Remediation Co-operative Alliance (SIRCA)支持的研究計畫。研究場址是一個 1950-1980 年代位於加拿大 Saskatoon, Saskatchewan 的早期地下油槽洩漏，由於污染團已經擴散至旁邊的建物下方，因此在整治時，需要考慮對建物的影響及土壤氣體入侵的問題。過去的整治方法是利用多相抽除法 (Multi-phase Extraction, MPE)進行抽除，並且利用生物通氣法促進生物反應，但仍有許多殘留相無法處理。在本研究中則是利用生物刺激法，添加含有三聚磷酸鈉，硝酸鹽和檸檬酸鐵銨的生物基質來刺激地下水中的地質化學特性及礦化特性，來強化微生物族群。生物刺激從 2016 年 7 月開始，抽出之地下水加入生物基質後回灌，定期監測離子濃度、pH 值、氧化還原電位、總有機碳、總無機碳及有機物組成，

項次	題目	作者	重點摘要
			底泥礦化情況則是利用 X 光散色。微生物族群分析則是高通量 16S rRNA 基因定序，計畫的結果將可以發展類似場址生物整治的環境控制方法，來強化整治的效果，並且發展出一套監測模式，了解地質化學、礦化情況及微生物族群監測的變化，以精確整治老舊油槽的污染問題。
49	<p>整合綠色及永續整治評估、費用分析方法及風險評估方法作為清理決策的有效溝通工具</p> <p>Combining Green and Sustainable Remediation Evaluations with Cost/Risk Analysis as Effective Communication Tools to Drive Cleanup Decisions</p>	<p>Ian Lo, Melissa Harclerode, John Wondolleck</p>	<p>本研究利用成本分析、風險分析及 GSR 評估方法，來進行美國能源部位於加州范杜拉縣的 Santa Susana Field Laboratory (SSFL)場址的第五區及北側緩衝區的污染整治方法的決策。本區域主要的核心工法是開挖/移除掩埋，但設定不同的整治目標，這些整治目標是利用風險評估的方式進行計算與設定，因此可區別成無作為(no action)、移除 148000 cy 或移除 192000 cy 的污染土壤等三類，分別去評估殘留的健康風險、費用、短期及長期的環境影響。在評估上，風險的方法是利用美國環保署的風險評估方法，費用則是利用 DOE 的費用計算工具，環境足跡則是利用 sitewise™進行計算，以此 3 個數據來進行 GSR 的評估，計算環境足跡的影響、經濟及社會的影響。其中環境足跡的部分除了能源消耗、水資源消耗、溫室氣體排放、NOx、SOx 及 PM10 以外，另外還考慮掩埋場空間消耗、客土使用量及覆土用量。另利用生命週期評估工具計算長期的社會經濟影響，包含氣候變遷、農業產量、能源產生、人類健康、生物多樣性等指標，來評估短期與長期的影響。整體而言，如果直接整治到符合整治目標(開挖 192000 cy)，僅可稍微減少大約 1%(開挖 14800 cy)及 1-22%的風險(no action)，但卻要花 3 倍以上費用、且會產生大量的環境足跡、極高的短期社會影響，也需要花費較長的時間才能達到總體的最佳效益。本研究指出，利用這些工具進行評估，並且利用視覺化或數字化的呈現，可以讓政府單位或是社會大眾了解短期及長期的影響，更能接受整治的決策。</p>
50	<p>利用系統性的思考及廢棄物在利用來促進場址清理工作環境足跡的永續性：零環境足跡排放的技術</p> <p>Using Systems' Thinking and Waste Materials to Improve the Sustainability Footprint of a Cleanup: The Drive for a Zero</p>	<p>Paul Favara Jeff Gamlin</p>	<p>Paul Favara 為 CH2MHill 公司中，參與 GSR 推廣工作最為活躍的一員，他在 SURF USA 中扮演舉足輕重的角色。本次的議題中，他認為目前對於執行整治中的場址，在進行 GSR 時，大多會選擇採用兩種方式，1:評估及選擇最佳管理措施，2 評估環境足跡，並且尋找主要的環境足跡排放原因，進而透過管理減少環境足跡排放。在應用 GSR 時，這樣的方法比較類似於 top down 的方法，而關鍵在於隨時要把永續的觀點放在心中去執行，在本研究中建議一個系統化的思考方法，達到最大化的應用廢棄物或原料，也許可以讓總體的永續性達到最大。在本研究中，選定一個海軍的空軍基地的整治場址，從原來的 mulch/vegetable oil biowall 中，重新思考，設計一個太陽能生物地球化學反應槽(solar powered biogeochemical reactor, SBGR)，來處理多氯乙烷的問題，這個 SBGR 使用的生物藥劑、建造是來自於鄰近區域</p>

項次	題目	作者	重點摘要
	Footprint Cleanup Technology		所獲得的廢棄物(如回填的礫石來自鄰近區域)，並且與被認為是永續的生物整治方法(添加 EVO)進行比較，在 SBGR 中，太陽能板生產的環境足跡與能資源消耗、水資源消耗一併進行比較，利用 LCA 評估探討兩者之間的效益，同時尋找排放主因，未來在管理時進行修正。
51	利用永續性篩選表及三角權重決策系統篩選整治技術 Remedial Alternatives Screening by Incorporating Sustainability Metrics and Using Weighting Triangle Decision Support System	Harvinder Singh	在本研究中，AECOM 公司提出了一套整合 GSR 的概念及 CERCLA 篩選邏輯的整治決策的評估邏輯。第一步是須要先篩選出一系列包含效率、可執行性及費用的整治工法，分別在這 3 個項目權重中(1-10 分)給與分數，並繪製三角形圖進行討論及篩選。接著再利用現行 GSR 評估工具計算如環境足跡排放、空氣污染物排放等指標，放進現行的 CERCLA 方法中進行整治工法選擇。利用這些指標，可以「效率」的指標如毒性減少、整治造成的移動性、污染體積減少、風險降低程度、短期影響等，並且區分主要影響及次要影響，主要影響是只對於場址現地的影響，而次要影響則是討論整治過程的影響，因此 GSR 的指標如能源消耗、溫室氣體 (green house gas—GSG)、污染物排放、水資源消耗、資源消耗、工人的安全及社會的影響等，則可以在次要影響中討論。因此在前面提到的三角圖中，便可以有效的將 GSR 的概念放進 CERCLA 的整治技術篩選中。
52	美國陸軍綠色及永續整治資料庫系統：可填寫及上傳的最佳管理措施表 Database System Utilizing a Fillable Best Management Practice Spreadsheet to Follow and Upward Report Army Green and Sustainable Remediation	Carol L. Dona, Richard J. Meyer, Kevin P. Roughgarden, Laurie B. Haines-Eklund, M.L. Williams	本研究美國陸軍兵工署(USACE)所提出，於美國陸軍場址中執行 GSR 做法。由於無論是美國國防部(DOD)或美國環保署(USEPA)，對於 GSR 都並非是強制執行，因此要設計一個省時間、少資源的方式，來讓各單位執行 GSR，USACE 設計了一套最佳管理措施的考量流程及選擇方法，首先 USACE 建立了一套總共 66 項的 BMPs spreadsheet，由各個 USACE 整治計畫進行評估，選定適合該場址的 BMPs 執行，並且需要在這個 spreadsheet 中紀錄為何不選取此一 BMPs 的原因，如此便可以很容易的產出一個有效的表格來追蹤處理，並且可以將這一個表格上傳到 upcoming Headquarters Army Environmental Systems (HQAES) database (尚未上線)中，在本研究中則是說明目前這個 spreadsheet 在各整治計畫的應用情形，未來將會把這樣的工作內容放入 USACE 在各整治計畫的合約文件中，要求合約商執行。
53	熱處理的永續性?利用模擬使設計最佳化 Can Thermal Remediation Be Sustainable? Use of Modelling to Optimize Design	James Baldock, Joanne Pennell, Jay Dablow	本研究探討現地熱處理技術的永續性。在熱處理技術中蒸氣注入常用於 LNAPL 的整治，本研究中討論 2 個在美國與英國的場址利用現地熱處理技術的永續性評估，在研究中也利用 PetraSim™ software 來評估熱處理及相關的能源消耗，了解最佳的井場配置及相應的處理溫度、能源使用效率。

項次	題目	作者	重點摘要																																				
			<p>在英國的場址中，比較蒸氣注入及現地熱脫附兩個技術的永續性及技術可行性：</p> <table border="1" data-bbox="710 338 1520 779"> <thead> <tr> <th></th> <th>方案 1</th> <th>方案 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>組合</td> <td>Steam + ISTD</td> <td>Steam</td> </tr> <tr> <td>溫度</td> <td>150 度 C</td> <td>70-90 度 C</td> </tr> <tr> <td>井場</td> <td>ISTD 3m ROI，36 口井，通氣層，113kg heat/hr/well Steam 8m ROI，飽和層，40kg -steam/hr/well</td> <td>Steam, 19 口井 4m ROI，通氣量 79 kg/hr/well</td> </tr> <tr> <td>總能</td> <td>3 個月</td> <td>3 個月</td> </tr> <tr> <td>耗</td> <td>9,434,920 kg</td> <td>3,285,000 kg</td> </tr> </tbody> </table> <p>在美國的場址中，比較蒸氣注入兩不同影響半徑的永續性及技術可行性：</p> <table border="1" data-bbox="710 920 1520 1263"> <thead> <tr> <th></th> <th>方案 1</th> <th>方案 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>組合</td> <td>Steam</td> <td>Steam</td> </tr> <tr> <td>溫度</td> <td>70 度 C</td> <td>70 度 C</td> </tr> <tr> <td>井場</td> <td>50 口井 5m ROI，通氣量 2050 kg/hr total flow</td> <td>41 口井 7m ROI，通氣量 5000 kg/hr total flow</td> </tr> <tr> <td>總能</td> <td>19 周</td> <td>19 周</td> </tr> <tr> <td>耗</td> <td>4,200,000 kg</td> <td>6,543,600kg</td> </tr> </tbody> </table>		方案 1	方案 2	組合	Steam + ISTD	Steam	溫度	150 度 C	70-90 度 C	井場	ISTD 3m ROI，36 口井，通氣層，113kg heat/hr/well Steam 8m ROI，飽和層，40kg -steam/hr/well	Steam, 19 口井 4m ROI，通氣量 79 kg/hr/well	總能	3 個月	3 個月	耗	9,434,920 kg	3,285,000 kg		方案 1	方案 2	組合	Steam	Steam	溫度	70 度 C	70 度 C	井場	50 口井 5m ROI，通氣量 2050 kg/hr total flow	41 口井 7m ROI，通氣量 5000 kg/hr total flow	總能	19 周	19 周	耗	4,200,000 kg	6,543,600kg
	方案 1	方案 2																																					
組合	Steam + ISTD	Steam																																					
溫度	150 度 C	70-90 度 C																																					
井場	ISTD 3m ROI，36 口井，通氣層，113kg heat/hr/well Steam 8m ROI，飽和層，40kg -steam/hr/well	Steam, 19 口井 4m ROI，通氣量 79 kg/hr/well																																					
總能	3 個月	3 個月																																					
耗	9,434,920 kg	3,285,000 kg																																					
	方案 1	方案 2																																					
組合	Steam	Steam																																					
溫度	70 度 C	70 度 C																																					
井場	50 口井 5m ROI，通氣量 2050 kg/hr total flow	41 口井 7m ROI，通氣量 5000 kg/hr total flow																																					
總能	19 周	19 周																																					
耗	4,200,000 kg	6,543,600kg																																					
54	<p>美國環保署對於綠色整治提升的策略、政策及工具：目前的現況 EPA Strategies, Policies, and Tools to Advance Greener Cleanups: Evaluating Progress to Date</p>	<p>Deborah Goldblum, Daniel Kaufman, Carlos Pachon, Karen Scheuermann Hilary Thornton Sid Wolf</p>	<p>本研究說明了目前美國環保署推動綠色整治的成果，美國環保署自 2006 年起推動綠色整治概念，發展評估方法論、評估工具及最佳管理措施，並且持續累積不同的案例，從環保署的統計資料顯示，有關 GSR 的網站造訪人數歷年有增加趨勢，而 2007-2016 年間有 146 篇 GSR 文獻發表，此外，SURF 的成立、ASTM 指引的建立與發表，也讓 GR 的推動有明顯的成效。此外，美國環保署也發表如何將綠色整治觀點放入超級基金整治場址的手冊，顯示美國政府推動綠色整治的成果顯著。</p>																																				

本次會議的內容重點及觀察分析結果說明如下：

1. 次世代分子生物技術（next generation molecular biological technology, next generation MBTs）工具已逐步整合應用於現地生物整治工作的診斷及判定中，並發展出「精確生物整治（precision bioremediation）」的概念。
2. 綠色及永續整治的概念被廣泛應用在不同的場址上，在環境足跡計算工具上被應用的最多的是美國海軍設計的 GSR 評估軟體—SiteWise，而經濟面則主要探討不同整治策略規劃的整治成本。社會面及技術面則探討風險管理、最佳管理措施、技術最佳化、生態風險及風險溝通等主題。
3. 監測式自然衰減法（Monitored Natural Attenuation, MNA）受惠於次世代分子生物（next generation MBTs）技術及新穎數據分析方法之發展，於多項案例中證明 MNA 的可行性與效果，在風險可接受前提下，有越來越多難處理的場址選擇此方法。
4. 不同功能與效果的現地藥劑被大量開發與應用，無論是生物方法或化學方法，都需要依據場址的污染特性、水文地質狀況、污染範圍、污染濃度、預定處理的整治目標等，設計合適的工法，才能達到最佳的效果，
5. 透過高解析度場址調查取得精確的場址概念模型為設計後續場址整治工作極為重要的出發點，目前高解析度場址調查多用各種不同現地快篩工具，包含薄膜界面探測（Membrane Interface Probe, MIP）與水文地層剖析儀（Hydraulic Profiling Tool, HPT）的結合，稱之為 MiHPT（A combined MIP-HPT probe）、OIP（Optical Imaging Profiler）等工具，詳細調查場址中污染物的分布情形與水文地質資料，建立精確且完整之場址概念模型。
6. 許多主題在探討現地注藥的方式與效果，以及破裂母岩污染整治工作。

7. 蒸氣入侵 (Vapor Intrusion) 議題仍非常熱門，除了傳統上討論污染團產生的揮發性氣體入侵的監測工具、減輕方法、氣體傳輸途徑等，亦有許多主題討論污染物經過生物降解後產生的甲烷所造成的土壤氣體入侵問題。
8. 新興污染物的部分則以全氟烷基物質 (Per- and Poly Fluorinated Alkyl Substance, PFAS) 為最主要討論的對象，包含其宿命傳輸、採樣分析、污染處理、毒性、風險等議題，為次世代分子生物技術外中另一項熱門主題。
9. 生物整治成效評估的部分，除了一般利用污染物濃度降低之情形評估外，目前也發展利用穩定同位素之比例評估整治的成效。

伍、心得及建議

一、推動高解析度場址調查，落實綠色及永續整治：

目前歐美先進國家場址整治工作已發展極為細緻，先經過「高解析度場址調查」建立精確的場址概念模型，並於整治策略決策過程應用綠色及永續整治觀點，決定後續整治工法及管理策略。建議未來可透過整治計畫/控制計畫撰寫指引修正或審查機制修正，推動高解析度場址調查，在整治工法規劃階段，仔細考量環境面、社會面與經濟面影響，落實綠色及永續整治。

二、持續補助整合性的次世代分子生物技術應用研究：

依據現地生物族群、特定族群、功能性基因表現、酵素分析等，選定適合該場址的生物整治藥劑、調整生物整治藥劑配方、添加微生物族群或調整注藥策略，為目前歐美先進國家生物整治的主流發展方向，稱之為「精確生物整治」。但我國目前仍於添加基質性藥劑、監測污染物及環境因子等方法階段，建議次世代分子生物技術之應用可持續納入基金補助研究與模場試驗專案計畫進行研究，強化我國污染

整治技術能力。

三、搭配實施風險管理推動 MNA 進行污染改善：

監測式自然衰減法 (Monitored Natural Attenuation, MNA) 的效果與監測方式在本次研討會中被大量討論，因歐美國家風險管理概念發展較為完整，故 MNA 技術可被接受應用。建議我國未來推動 MNA 來進行污染改善時，可搭配實施風險管理。

四、持續投入新興課題與技術之可行性研究：

蒸氣入侵 (Vapor Intrusion) 及新興污染物—全氟烷基物質 (Per- and Poly Fluorinated Alkyl Substance, PFAS) 為本次研討會廣泛討論的議題，但我國對於蒸氣入侵少有研究，PFAS 也缺乏採樣分析經驗，建議未來可將該 2 項議題納入基金補助研究與模場試驗專案計畫，依我國國情進行相關可行性研究。

五、與加州州際技術和法規委員會 (The Interstate Technology and Regulatory Council, ITRC) 建立聯繫管道：

本次在商展認識加州環保部毒化物控制工程及地質調查局張寧武博士。張博士從事土壤及地下水污染整治領域 30 餘年，為美國州際技術和法規委員會成員，亦為綠色及永續整治 (GSR) 手冊主要編撰者，並專案參與加州各項污染整治及褐地再利用執行計畫，具豐富實際污染整治經驗。建議未來可視需求邀請回國分享美國相關技術與案例執行經驗。

附件一

Battelle 研討會

議程

附件二

Battelle 研討會

發表簡報

2.1 Application of Phytoforensics and Phytoscreening for a PCE contaminated site

2.2 The application of GSR evaluation tools in Taiwan and prospects