

與現場檢驗法之進展 對化學戰劑之分析 日本科學警察研究所

提要

日本係目前曾遭受化學恐怖主義為害的國家之一，其有關化學武器之鑑定則由日本科學警察研究所負責此項業務。另在二戰期間遺留在中國大陸的各式化學武器亦需負清理之責，這些因素都是促使日本重視有關化學戰劑之現場檢測與實驗室分析之主因。

化學戰劑即使是在低濃度情況下亦可快速作用並可造成致死，一般將其分類為神經戰劑、糜爛戰劑、窒息戰劑、血液戰劑、噴嚏戰劑、催淚戰劑、喪能戰劑等。為防制化學武器恐怖主義，偵檢與鑑定則極為重要。在危機管理時，公共場所、領土邊境之安全檢查、重大事件之通道與重要設施進行化學武器監測以阻絕恐怖主義；在結果管理時，首抵人員之現場偵檢並採樣後送至實驗室分析則可降低恐怖主義之傷害，並立即進行人員防護、啟動偵查及緊急生命搶救；在事件管理階段，實驗室之分析則提供法庭審判之證據並防止此類犯罪之發生。實驗室分析包括從現場或致死檢體之前處理與氣相層析質譜法(GC-MS)進行儀器分析。然而，化學戰劑易於降解而難以直接偵測，通常利用矽化衍生物進行氣相層析質譜法或直接以液相層析質譜法(LC-MS)檢測其代謝物或降解產物。商售之氣體檢知管(Gas Detection Tube)及離子遷移光譜儀(Ion mobility Spectrometer)可用於現場之檢測。評估這些現場檢測設備的效能發現，無任何的設備在偵測靈

敏度、準確性、回應時間與操作上可完美的滿足化學戰劑檢測的需求。為克服這些缺陷，選用檢測試紙方法(Tape Method)與逆流導入大氣壓化學游離質譜，並推薦結合商用偵測設備與新技術以同時快速檢測所有化學戰劑。

關鍵詞：化學武器、恐怖主義、現場檢測

壹、前言

化學戰劑之特性為微量也能致人於死或無法行動，屬於速效性毒物。於1994年在日本松本市及1995年東京地下鐵由奧姆真理教對一般民衆施放沙林毒氣事件，結果造成19人死亡、超過5000人以上中毒之慘劇，此事件在國際間引起極大震撼。^{1,2}然日本亦為目前曾遭受化學武器恐怖主義危害之國家，雖由當初無任何防備及認知，至今在日本科學警察研究所十餘年的研究努力下，對化學戰劑之偵檢與現地偵測等均有令人刮目相看之成果，因而本文以此為主軸，就其在化學戰劑之分析與現場檢驗法之進展加以探討介紹。

當遭受化學戰劑之恐怖攻擊時，在危機處理中判定起因物質之成分屬於極為重要之項目。能在第一時間判斷出起因物質將有助於醫療團隊的急救動作、第一線工作人員的防護、災後的清理消除工作以及事後的犯罪偵防作業，將災損降到最低。其他如(1)受攻擊前之

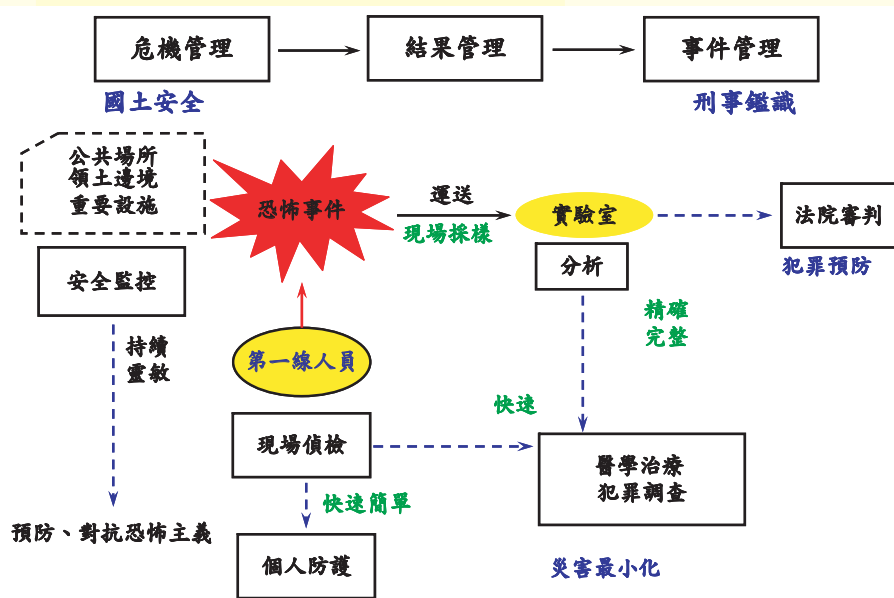
跡象，(2)發生後之防護、急救，(3)現場採證、送驗等上列各項均有關連性(關連性示於圖一)。

現場證物含有污染物或生物組織，需迅速展開篩選、前處理、儀器分析、鑑定等工作。化學戰劑屬於易分解之物，隨時間之遷移檢測越困難，因此對分解物及代謝物之分析成為重要課題，其他如合成過程中之副產物及關連物質亦為研判之重要指標。

貳、化學戰劑之認知

一、化學戰劑之定義

在軍事作戰中所用之化學物質，以固體、微粒、液體、氣體、蒸汽方式散播，透過對人體的生理反應使人致命、重傷殘廢或



圖一 恐怖事件偵處作業管理示意圖(筆者自繪)

1 National Police Agency, White Paper (1995), (1996).

2 Seto Y., Tsunoda N., Kataoka M., Tsuge K., Nagano T., "Natural and Selected Synthetic Toxins - Biological Implications," eds. by Tu A. T., Gaeld W., American Chemical Society, Washington, DC., (2000), 318-332.

無行為能力。所謂生理反應主要是指毒劑對人體的效應，如流淚、頭暈、腹痛、痙攣、皮膚潰爛、呼吸困難等等。^{3,4,5}依毒劑進入人體後對人體的生理作用所構成的傷害機制分類，可將化學戰劑分為神經毒劑(阻礙乙醯膽解酯酶(Acetylcholinesterase, AChE)活性，由乙醯膽鹼(Acetylcholine, ACh)蓄積破壞神經傳導系統)⁶、腐爛毒劑(對皮膚、眼睛及呼吸系統作用，如芥氣)、窒息毒劑(對鼻、喉、肺作用，引起呼吸困難，如光氣)、血液毒劑(阻礙細胞之氧氣正常供應，如氫氰酸)、噴嚏毒劑(刺激呼吸系統黏膜、眼睛如二芳香基氯肟)、催淚毒劑(刺激眼、鼻、咽喉黏膜引起流淚、咳嗽，如氯化乙醯苯)、喪能戰劑(對身體或精神上造成暫時性失去活動力，如BZ)。常見之化學戰劑結構示於圖二。

其中除辣椒素(Capsaicine)以外均屬於化學合成製造，其用途僅當作化學武器之用途。凡是能用於合成化學武器之物質，被定義為『特定物質』。無論是製造、持有及使用均需受法律上之管制。⁷於圖三中自物性

(揮發性、穩定性)及毒性(體內動力性、ChE抑制力之立場)被登錄為化學戰劑。

二、化學戰劑之性質

化學戰劑之物性不同、毒性及作用方式也有不同，具代表性之化學戰劑其物性及毒性示於表一。

遭受恐怖攻擊之現場，化學戰劑能分散於各地，可能的散播模式有(1)土製爆裂物爆炸後之現場，(2)化學戰劑以霧狀擴散，(3)被灑佈後由自然蒸發擴散，(4)受污染之食物被攝取。大規模施放毒劑時中毒以吸入為主要途徑，因此毒劑之揮發度(mg/m^3)與半數致死濃度(LCt_{50} , $\text{mg} \cdot \text{min}/\text{m}^3$)成為判斷毒劑之重要指標。以沙林毒劑為例，其揮發度為 $23000 \text{ mg}/\text{m}^3$ 、半數致死濃度為 $150 \text{ mg} \cdot \text{min}/\text{m}^3$ ，表示此毒劑極易揮發散播於空氣之中，並且能以極少量即能致人於死，因此在恐怖攻擊時，一般民眾在無防備下遭受施放量超過致死濃度時，其危險性之大可想而知，日本東京地下鐵事件即為一實例。

三、對化學戰劑恐怖攻擊之對策

以事前預防之立場建議重要設施地點如

3 Stewart C. E., Sullivan Jr. J. B., "Hazardous Materials Toxicology - Clinical Principles of Environmental Health," eds. by Sullivan Jr. J. B., Krieger G. R., Williams & Wilkins, Baltimore, (1992), 986-1014.

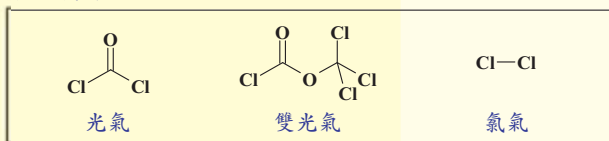
4 Somani S. M., "Chemical Warfare Agents," Academic Press, San Diego, (1992).

5 Marrs T. C., Maynard R. L., Sidell F. R., "Chemical Warfare Agents: Toxicology and Treatment," John Wiley & Sons, Chichester, (1996).

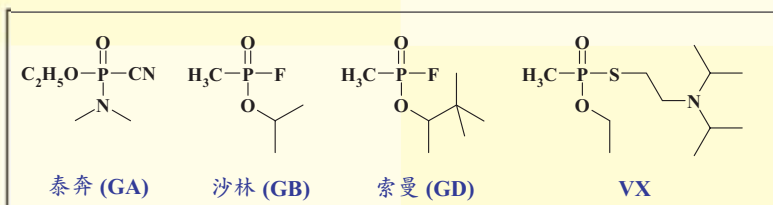
6 Tayler P., "Goodman & Gilman's Pharmacological Basis of Therapeutics," 9th ed., eds. By Hardman J. G., Limbird L. E., McGraw-Hill, New York, (1995), 161-176.

7 Ministry of Energy, Trade and Industry, (http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/cwc/200kokunai/202horitu_gaiyo.html), Outline of The Law of the Prohibition of Chemical Weapons and the Regulation of Specific Substances, 9 April, (2003).

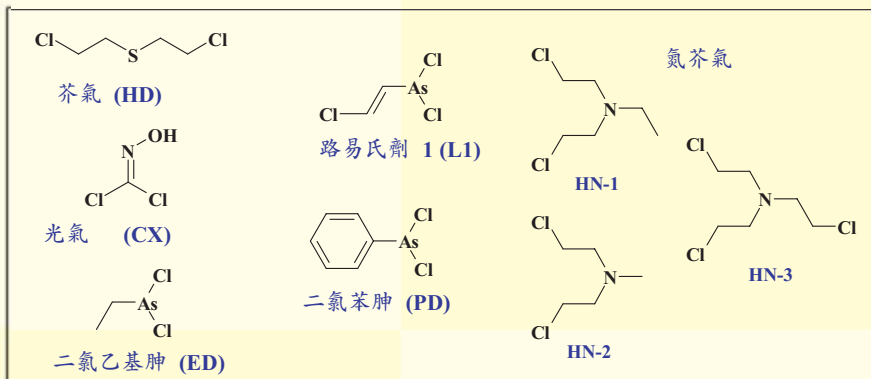
窒息戰劑



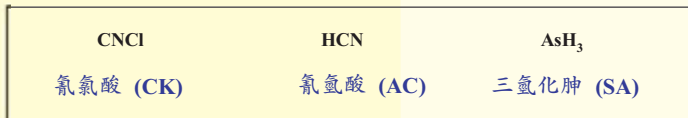
神經戰劑



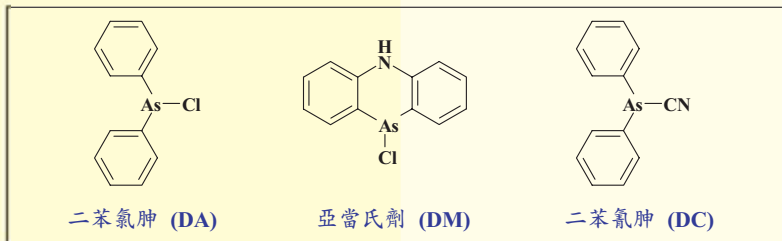
糜爛戰劑



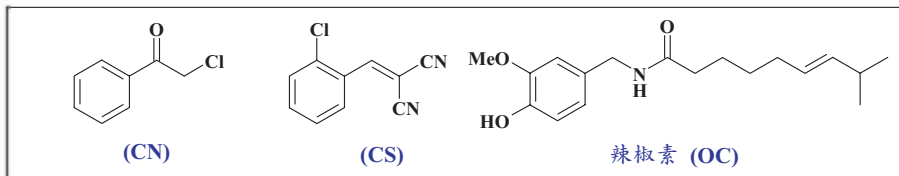
血液戰劑



噴嚏戰劑



催淚戰劑



圖二 易為恐怖攻擊所使用之代表性化學戰劑之化學結構(筆者自繪)

機場、港口、車站、捷運、地下鐵及人群聚集處所必須設置多種偵測系統，能在第一時間發出警訊並在最短時間內疏散人群，而鑑識單位必須在黃金時段內檢測中毒原因為何。研判方法可分為現場檢測及採證檢驗，而化學戰劑易分解，因此第一現場採證人員之取樣及送驗步驟必需正確運作。⁸

參、化學戰劑之分析

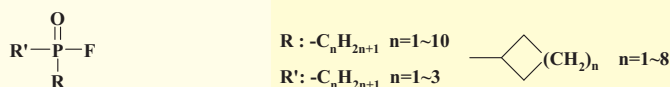
大部分化學戰劑屬於不穩定之物質，而隨著發現時間之長短、採樣、送驗過程等因素都將增加檢測之難度。化學戰劑遇水易分解，當進入體內後經過代謝、分解之後能直接驗出未變化之原始化學戰劑之可能性很低。目前國際

上仍然以氣相層析質譜分析法(GC-MS)被公認為標準分析方法之一。

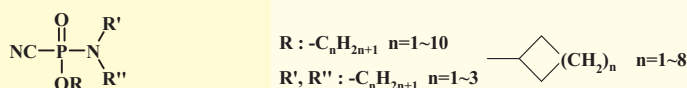
^{9,10,11}日本目前有化學物質評估研究機構負責開發及檢查相關實務，並有

8、9、10、11 於下頁。

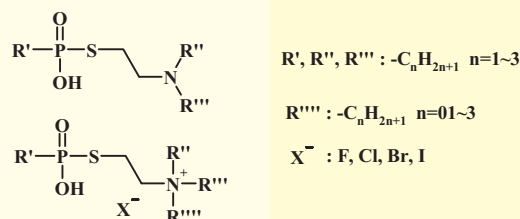
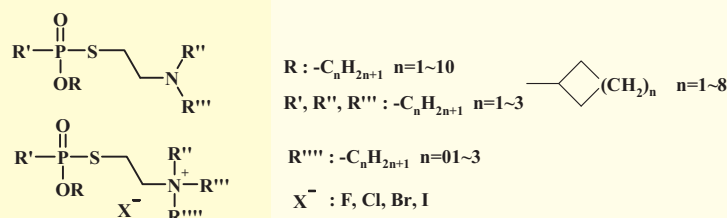
- (1) 烷基（甲基、乙基、正丙基或異丙基）氟磷酸烷（少於或等於 10 個碳原子，包含環烷）酯。例如：沙林、梭曼



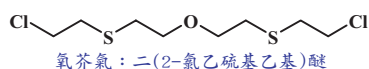
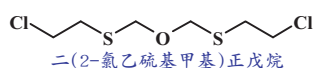
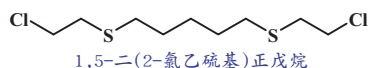
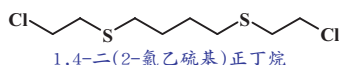
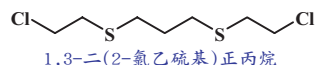
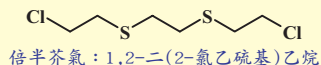
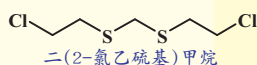
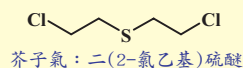
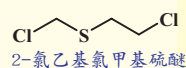
- (2) 二烷（甲基、乙基、正丙基或異丙基）氨基氟磷酸烷（少於或等於 10 個碳原子，包含環烷）酯。例如：泰奔



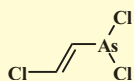
- (3) 烷基（甲基、乙基、正丙基或異丙基）硫代磷酸烷基（氫或少於或等於 10 個碳原子，包含環烷）-S-2-二烷酯（甲、乙、正丙或異丙）氨基乙酯及相應烷基化鹽或質子化鹽。例如：VX



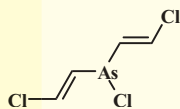
- (4) 硫芥氣（Sulfur Mustards）



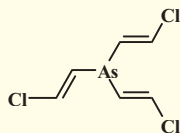
(5) 路易氏劑 (Lewisites)



路易氏劑1
2-氯乙烯基二氯砷

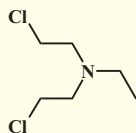


路易氏劑2
二(2-氯乙烯基)氯砷

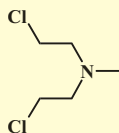


路易氏劑3
三(2-氯乙烯基)砷

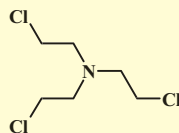
(6) 氮芥氣 (Nitrogen Mustards)



HN-1
N,N-二(2-氯乙基)乙胺

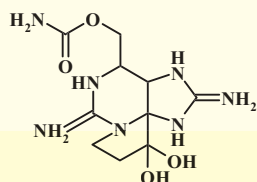


HN-2
N,N-二(2-氯乙基)甲胺



HN-3
三(2-氯乙基)胺

(7) 石房蛤毒素 (Saxitoxin)



石房蛤毒素

(8) 蓖麻毒素 (Ricin)



圖三 聯合國管制化學武器相關聯化合物列表 (參考文獻9)

日本藥毒物試驗法註解一書可供參考。¹²

除 VX 戰劑及芥氣外大部分化學戰劑溶解於水則分解，並在鹼性下快速分解。

神經毒劑如沙林、梭曼、VX 水解後成為甲基烷基膦酸(IMPA、PMPA、EMPA)，最後變成甲基林膦酸(Methyl Phosphonic Acid,

- 8 Society for Countermeasure against Biological and Chemical Terrorism Disaster, "Biological and Chemical Terrorism Countermeasure Handbook," Shindan To Chiryo Sha, Tokyo, (2003).
- 9 Organization for the Prohibition of Chemical Weapons,(<http://www.opcw.org>), Chemical Weapon Convention, 29 July, (2005).
- 10 Rautio M., "Recommended Operating Procedures for Sampling and Analysis in the Verification of Chemical Desarmament," The Ministry of Foreign Affair of Finland, Helsinki, (1994).
- 11 Hanaoka N., "Drugs and Poisons in Human-A Handbook of Practical Analysis," eds. by Suzuki O., Watanabe K., Springer, Berlin, (2005), 69-90.
- 12 The Pharmaceutical Society of Japan, "Standard Methods of Analysis in Poisoning with Commentary 2006," Tokyo Kagaku Dojin, Tokyo, 2006, 283-294.

表一 代表性之化學戰劑之物性及毒性

化學戰劑	嘔吐戰劑	血液戰劑		糜爛戰劑			神經戰劑		
	CG	AC	CK	HD	L1	GA	GB	GD	VX
分子量	99	27	61	159	207	162	140	182	267
熔點 (°C)	-118	-15	-7	15	-18	-49	-57	-42	-39
沸點 (°C)	8	26	16	217	190	240	151	198	298
蒸氣壓 (mmHg)	1565	816	1002	0.092	0.525	0.084	1.97	0.35	0.00014
揮發度 (mg/m ³)	6 10 ⁶	0.9 10 ⁶	3 10 ⁶	600	4500	560	23000	2000	1.6
蒸氣密度	1.42	0.69	1.22	1.27	1.89	1.07	1.09	1.01	1.03
LCt ₅₀ (mg*min/m ³)	3200	4500	11000	1500	1500	300	150	60	40
LCt ₅₀	1600	2000	7000	1000	300	100	75	25	5
皮膚穿透性				3-5			10-15	10-15	5-7
氣味	枯草味	杏仁味	刺激性		刺激性	水果味		水果味	
水溶性 (%)	0.9	∞	6.4	0.8	0.05	12	∞	1.5	1-4
影響	肺	呼吸困難		眼、皮膚糜爛		瞳孔縮小、呼吸困難、嘔吐、發汗			

MPA)。而泰奔(Tabun, GA)之分解途徑略有不同，並分為酸性下分解及鹼性下分解，雖然酸、鹼性分解之中間物不同但是最終分解產物均為磷酸(Phosphonic Acid)(分解機制見圖四)。¹³

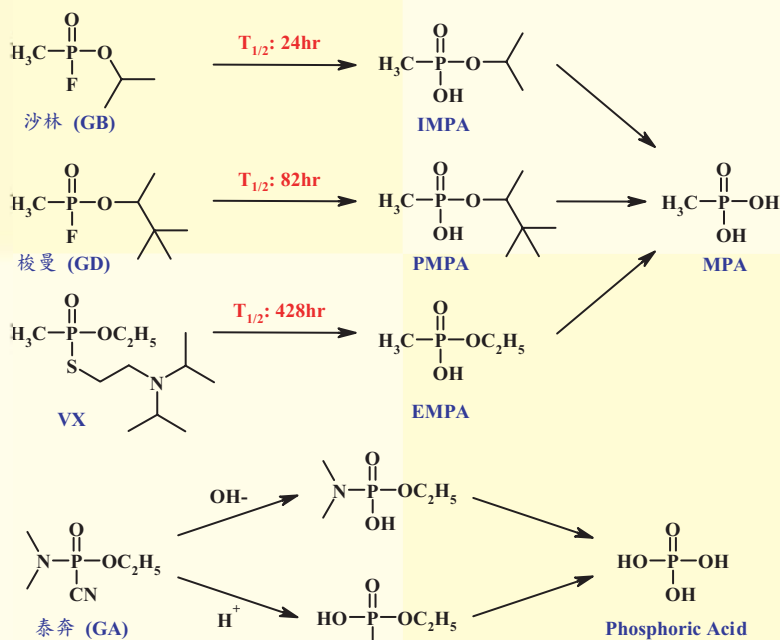
芥氣在水中經過脫氯反應後成為硫陽離子(Sulphonium Cation, S⁺)及氯陰離子(Cl anion, Cl⁻)，之後水再介入反應而轉變為醇(-OH)，重複相同反應最後生成水溶性硫二醇(Thiodiglycol)；氮芥氣與芥氣相似，經相同反應機制最終生成二乙醇胺(Ethanol Amine)。路易氏劑1易水解而生成2-氯乙

CVAA)，之後再經氧化、縮合反應生成2-氯乙基胂酸(2-Chlorovinyl Arsonic Acid, CVAOA)、2-氯乙基氧化胂(2-Chlorovinyl Arsinic Oxide, CVAO)(圖五)。

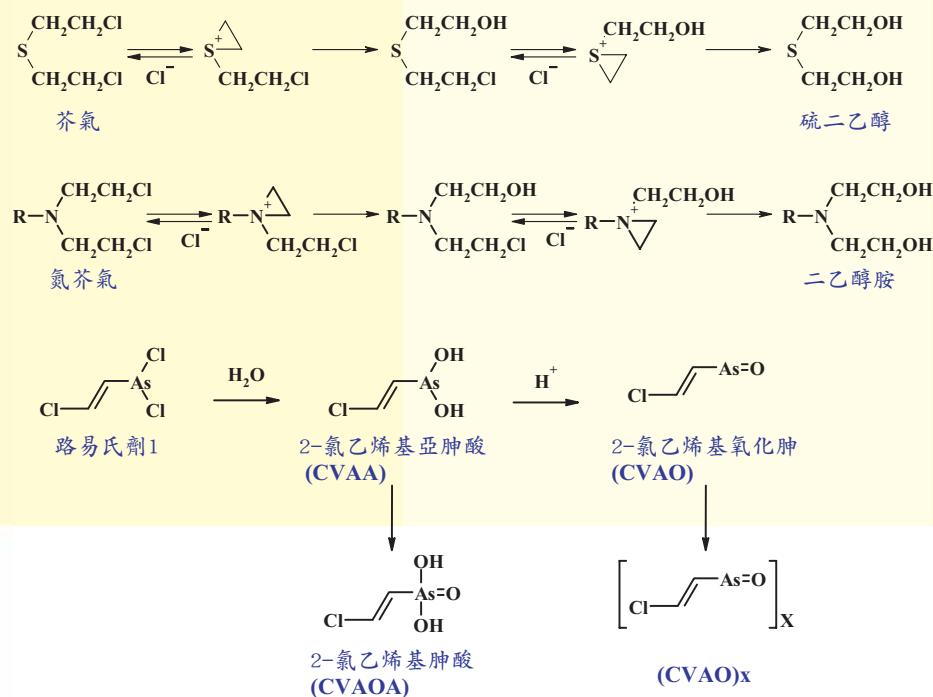
噴嚏毒劑二苯基氯胂(Diphenylchloroarsine)、二苯基氰胂(Diphenylcyanoarsine)水解後先反應生成為二苯胂(Diphenylarsine)再轉變為二苯基次胂酸(Diphenylarsinic Acid)。催淚毒劑2-氯乙醯苯(2-Chloroacetophenone)或CS(o-Chlorobenzylidene Malononitrile)受水解最後成為安息香酸類。

不同種類之化學毒劑及現場採集樣品

13 Kataoka M., Tsunoda N., Ohta H., Tsuge K., Takesako H., Seto Y., Effect of cation-exchange pretreatment of aqueous soil extracts on the gas chromatographic-mass spectrometric determination of nerve agent hydrolysis products after tert.-butyldimethylsilylation. J. Chromatogr. A, 824, 211-221, (1998).



圖四 神經毒劑分解機制



圖五 芥氣、路易氏劑分解機制

之分析法示於表二。血液毒劑及窒息毒劑屬於低沸點化合物，在事故現場易揮發於空氣之中而不易採集。氫氰酸(HCN)在現場可用鹼液吸附後而用頂空氣相層析法(HS-GC, Head-Space Gas Chromatography)分析，又Tenax具有良好之吸附能力，可加以善用。除此之外，高沸點化合物則可由擦洗工具著手取樣進行分析。當使用高效能液相層析質譜儀(LC-MS)時，可檢測出甲基磷酸、硫二醇、二乙醇胺等化合物以鑑定毒劑種類。

14,15,16,17,18

4-2 氰酸之分析

使用極性毛細分離管分離與氮磷偵出器(NPD)以頂空氣相層析(HS-GC)法則可獲得迅速、正確之結果。其方法簡介於圖六。^{19,20,21,22}

4-3 揮發性化學戰劑之分析

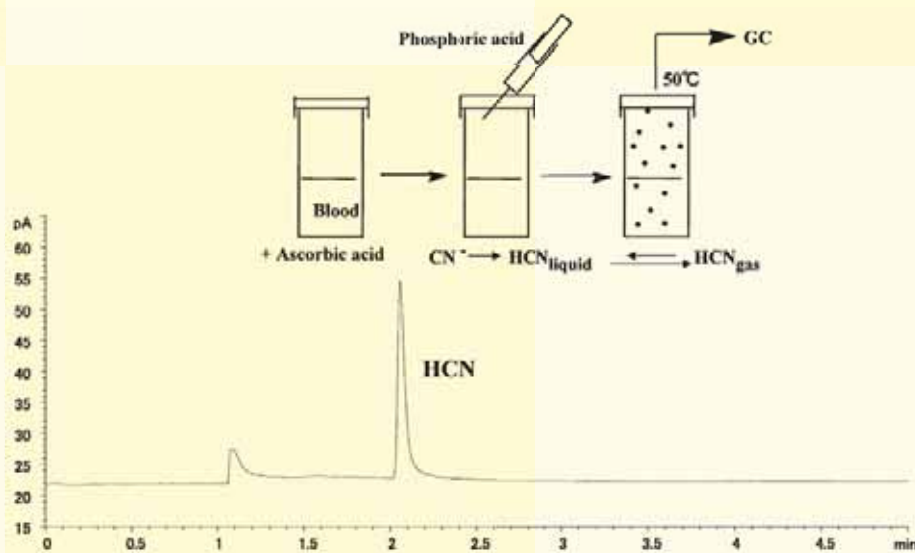
東京地鐵沙林事件之主要鑑識目標為對於所採集之

14、15、16、17、18、19、20、21、22 於下頁。

表二 化學毒劑之種類及採集證物之分析方法

化學戰劑	現地空氣樣品		現地環境樣品		生物樣品		
	空氣	集中濃縮	化學戰劑	降解產物	化學戰劑	降解代謝產物	加成產物
窒息戰劑	GDT	X	X		X		LC-MS (albumin)
氰氫酸	GC	Alkaline / HS-GC	HS-GC		HS-GC		
氰氫酸/ AsCl_3	GC/GDT	X	X		X		
神經戰劑	Δ	Tenax / GC-MS	GC-MS	Der. GC-MS LC-MS		Der. GC-MS LC-MS	LC-MS, GC
芥氣	Δ	Tenax / GC-MS	GC-MS	Der. GC-MS LC-MS		Der. GC-MS LC-MS	LC-MS (hemoglobin)
氮芥氣	Δ	Tenax / GC-MS	GC-MS	Der. GC-MS LC-MS		Der. GC-MS LC-MS	
路易氏劑	X	Dithiol /Der. GC-MS	GC-MS	Der. GC-MS		Der. GC-MS	
嘔吐戰劑	X	X	GC-MS	LC-MS LC-ICP/MS		LC-MS LC-ICP/MS	
催淚瓦斯	X	X	GC-MS		Δ (OC)	Δ (OC)	

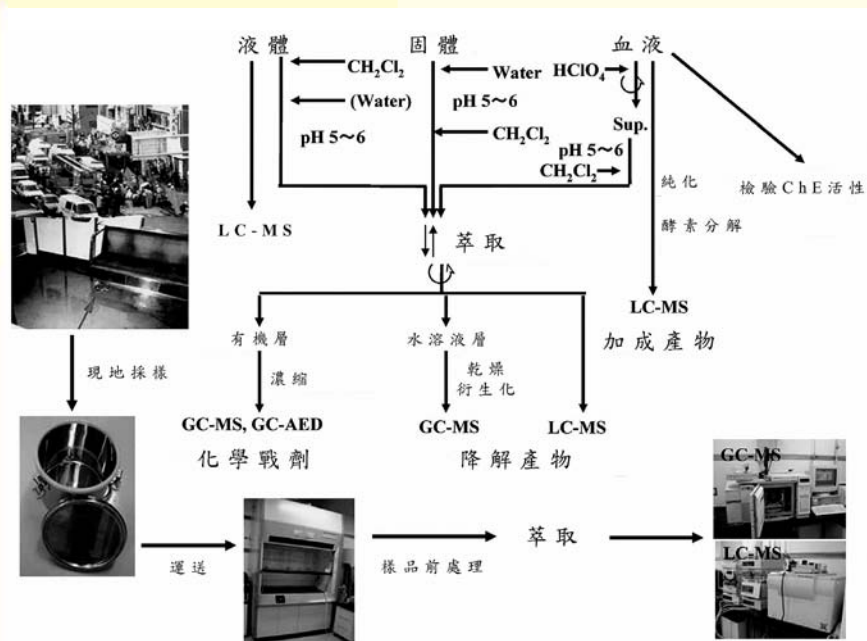
證物是否能檢驗出沙林毒劑及其水解產物之存在。沙林在水中之半減期約為一天，當沙林進入人體後將迅速分解，因此檢驗沙林毒劑之水解產物之存在為分析鑑定之主要目標，圖七為日本科學警察研究所實驗室現行之檢測流程圖可供參考。



圖六 血液戰劑氫氰酸(HCN)之分析鑑定方法(參考文獻20)

由現場所採集之證物如砂土或水可裝在玻璃製樣品瓶內，以具有鐵氟龍材質墊片瓶蓋旋緊。對接觸到化學戰劑之物體其表面，可用脫脂棉擦拭後將脫脂棉裝入上述之樣品瓶內。如為防止輸送過程中

有洩漏問題之虞，可將此樣品瓶置入備有活性碳之不銹鋼密閉容器中。若懷疑為神經毒劑中毒時，可採取患者血液以離心機將血球及血漿分離，分別用乙醯基硫膽鹼 (Acetyl Thiocholine) 及丁醯基硫膽鹼 (Butyryl



圖七 日本科學警察研究所實驗室現行之檢測毒劑樣品流程圖(參考文獻24)

血漿採用普魯卡因醯胺親合(Procaineamide Affinity)層析法以及SDS聚丙烯醯胺凝膠電泳分離出丁醯基膽鹼酯酶(Butyryl Choline Esterase)，並用解朊消化酵素(Chymotrypsin)分解後以LC-MS分析。¹⁸

若是採集對象為液體證物時，可將溶液之pH調成中性後以二氯甲烷萃取。以脫脂棉擦拭之證物及砂土亦可用 CH_2Cl_2 溶出待分析物再加入水並將溶

液之pH調為中性後一併振搖萃取分離。血液樣品則需先以過氯酸去蛋白後將pH值調

液之pH調為中性後一併振搖萃取分離。血液樣品則需先以過氯酸去蛋白後將pH值調

- 14 Polhuijs M., Langenberg J. P., Benschop H. P., New Method for Retrospective Detection of Exposure to Organophosphorus Anticholinesterases: Application to Alleged Sarin Victims of Japanese Terrorists. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 146, 156-161, (1997).
- 15 Read R. W., Black R. M., Analysis of beta-lyase metabolites of sulfur mustard in urine by electrospray liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J. Anal. Toxicol.*, 28, 346-351, (2004).
- 16 Noort D., Benschop H. P., Black R. M., Biomonitoring of Exposure to Chemical Warfare Agents: A Review. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 184, 116-126, (2002).
- 17 Tsuge K., Seto Y., Analysis of organophosphorus compound adducts of serine proteases by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr. B*, 776, 79-88, (2002).
- 18 Tsuge K., Seto Y., Detection of human butyrylcholinesterase-nerve gas adducts by liquid chromatography-mass spectrometric analysis after in gel chymotryptic digestion. *J. Chromatogr. B*, 838, 21-30, (2006).
- 19 Seto Y., Determination of volatile substances in biological samples by headspace gas chromatography. *J. Chromatogr. A*, 674, 25-62, (1994).
- 20 Seto Y., Tsunoda N., Ohta H., Shinohara T., Determination of blood cyanide by headspace gas chromatography with nitrogen-phosphorus detection and using a megabore capillary column. *Anal. Chim. Acta*, 276, 247-259, (1993).
- 21 Seto Y., *Jpn. J. Toxicol. Environ. Health*, 42, 319-325, (1996).
- 22 Seto Y., False Cyanide Detection. *Anal. Chem.*, 74, 134A-141A, (2002).
- 23 Seto Y., Shinohara T., Structure-activity relationship of reversible cholinesterase inhibitors including paraquat. *Arch. Toxicol.*, 62, 37-40, (1988).

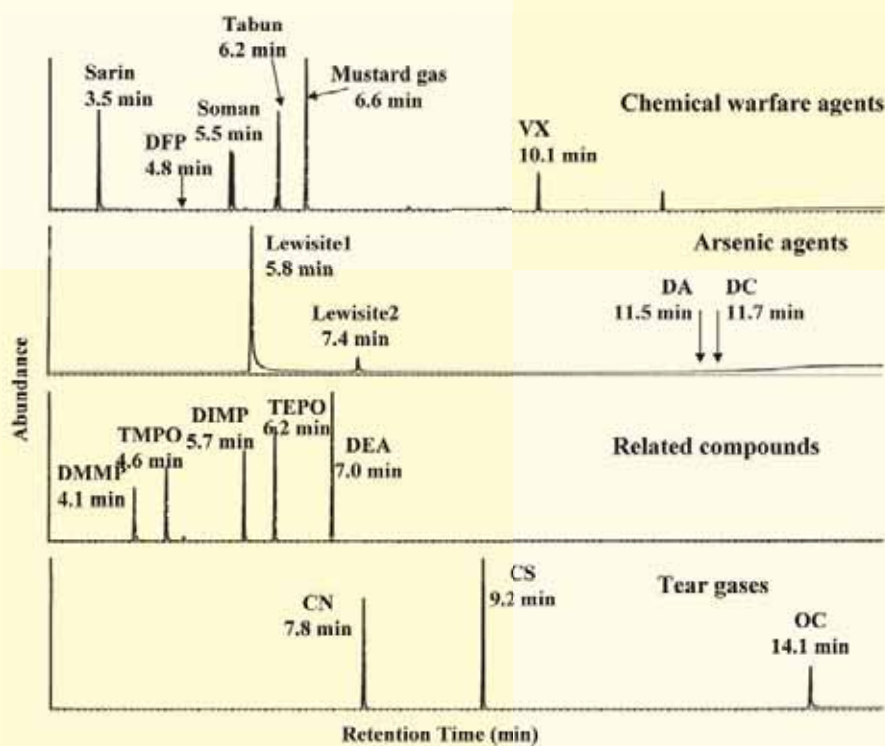
為中性再以二氯甲烷萃取。經上述處理之有機溶劑部分可在40℃下減壓濃縮以供作GC、GC-MS分析用，經由上述處理後可能檢驗出化學戰劑合成過程中之副產物或中間體等非極性化合物。上述處理之水溶液部分則可能含有化學戰劑之水解產物。自有機溶劑萃取出之部分可用微極性之層析管柱在40℃下以升溫模式進行分析。欲確認何種化學戰劑可以將所獲得之滯留指數(RI)、電子撞擊質譜、化學游離質譜與資料庫比對，此方法之檢出之靈敏度約在1.0 µg/ml左右。化學戰劑與其相關連之化合物之全離子層析圖示於圖八。²⁴

4-4 揮發性化學戰劑之水解物分析

非極性之化學戰劑(例如神經戰劑、腐爛戰劑：芥氣、氮芥氣)經過水解後轉變為極性化合物如甲基磷酸、硫二醇、二乙醇胺等，此類化合物無法直接

以GC-MS進行分析，必需進行衍生化反應轉變為相關衍生化合物後始可以GC-MS進行分析。所謂衍生化反應通常以烷化、酯化、矽化等反應為主，在此以TBDMS(*tert*-Butyldimethyl Silyl)之矽化反應為例解釋衍生化反應之過程。²⁵TBDMS矽化反應之實驗內容及流程示於圖九。

水溶液試樣經乾固後溶於50 µL CH₃CN，並加入50 µL MTBSTFA衍生試劑



圖八 化學戰劑及與化學戰劑相關聯化合物之全離子層析圖(參考文獻24)

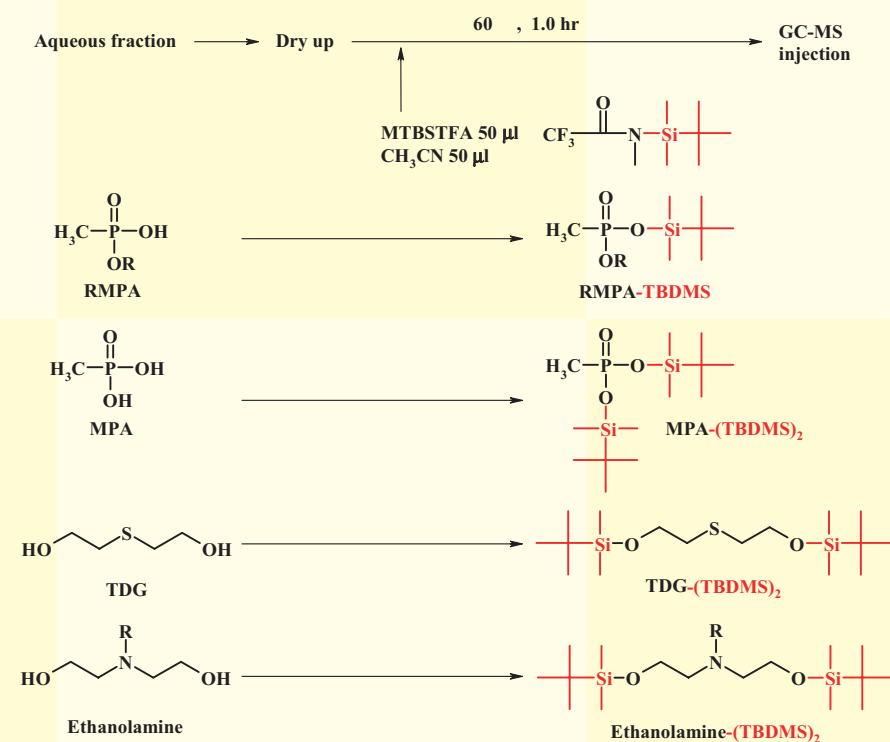
24 Seto Y., Iura K., Kanamori-Kataoka M., Jpn. J. Forensic Sci. Technol., 10, 49-61, (2005).

25 Purdon J. G., Pagotto J. G., Miller R. K., Preparation, stability and quantitative analysis by gas chromatography and gas chromatography-electron impact mass spectrometry of *tert*-butyldimethylsilyl derivatives of some alkylphosphonic and alkyl methylphosphonic acids. J. Chromatogr., 475, 261-272, (1989).

進行矽化反應，加溫至60℃後反應1小時，取出部分試樣以GC-MS進行分析。在此系列反應中VX最終分解產物為EMPA(Ethyl Methyl Phosphonic Acid)；沙林最終分解產物為IMPA(Isopropyl Methyl Phosphonic Acid)；梭曼最終分解產物為PMPA(Pinacolyl Methyl Phosphonic Acid)經矽化衍生反應轉變為單一矽化產物(monoTBDMS)。²⁶硫二醇、二乙醇胺經矽化衍生反應轉變為二矽化產物(diTBDMS)。²⁷除此之外，由於硫二醇在乾固過程中易揮發，因此可加500 μ M KCl以防消失，而二乙醇胺之水試樣在乾固過程中可先加入0.2 mM HCl以防止其揮發消失。沙林毒劑與芥氣分解物之TBDMS衍生物之GC-MS圖示於圖十。以此方法檢驗由現場採取之液態試樣0.5 ml之偵測極限濃度分別為：磷酸

酯類化合物(RMPA)約20 μ g/ml、硫二醇約5.0 μ g/ml、二乙醇胺類化合物約為2.5~10 μ g/ml。

關於神經戰劑分解物之檢驗依日本東京沙林事件之經驗得知，不同來源之試樣需經過適當之前處理始可進行分析。由於砂土中之鹼土類金屬(鎂、鈣)易與MPA結合，因此由現場採集之砂土試樣之萃取液在乾



圖九 神經戰劑、腐爛戰劑：芥氣、氮芥氣之TBDMS矽化反應之實驗內容及流程

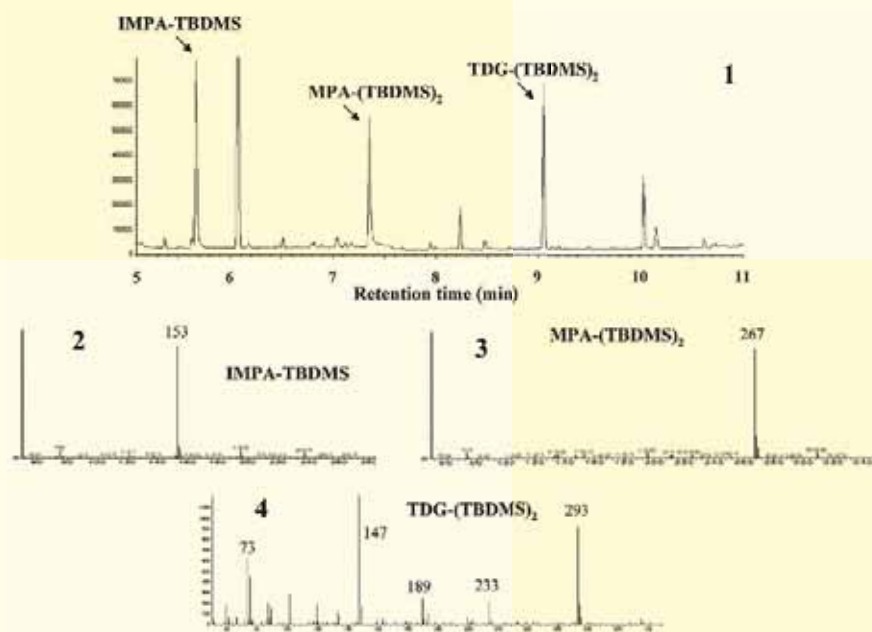
- 26 Kataoka M., Tsuge K., Seto Y., Efficiency of pretreatment of aqueous samples using a macroporous strong anion-exchange resin on the determination of nerve gas hydrolysis products by gas chromatography-mass spectrometry after tert.-butyldimethylsilylation. J. Chromatogr. A, 891, 295-304, (2000).
- 27 Ohsawa I., Kanamori-Kataoka M., Tsuge K., Seto Y., Determination of nitrogen mustard hydrolysis products, ethanolamines by gas chromatography-mass spectrometry after tert-butyldimethylsilyl derivatization. J. Chromatogr. A, 1061, 235-241, (2004).

固處理後將無法進行矽化衍生反應。而解決此問題之方法可將樣品經過強陽離子交換樹脂之前處理，將鹼土類金屬移除後將可提升偵測之靈敏度。試料中若含有極性化合物時，將會與MTBSTFA形成競爭反應而抑制矽化反應之結果。而使用強陰離子交換樹脂純化磷酸酯類化合物(RMPA)後將可提升偵測之靈敏度。

除了陰、陽離子及雜質之影響外，神經戰劑之分解物可能因受砂土強力吸附之影響，只用水將無法達到萃取之目的，此現象尤其在火山質系土壤更加明顯。²⁸砂土對磷酸吸收係數與神經戰劑分解物之水萃取率間之關係可經由毛細管電泳定量法進行確認。²⁹砂土試料用鹼性水溶液萃取後用強陰離子交換樹脂(SAX)固相萃取處理精製所得神經戰劑分解物用GC-MS分析時能得到高

回收率之結果。³⁰另外血漿中之神經戰劑分解物之TBDMS衍生物用GC-MS分析時，除蛋白所使用之過氯酸鉀會影響MPA檢測靈敏度，可利用前處理之方法解決此問題，對RMPA改用氰甲烷除蛋白後用SAX固相萃取，MPA以三氯醋酸(TCA)除蛋白，過剩之三氯醋酸用乙醚萃取去除，最後用SAX純化供作GC-MS分析用試樣。³¹

隨著LC-MS之普遍化，對化學劑分解



圖十 沙林毒劑與芥氣分解物之矽化衍生物之GC-MS圖(參考文獻26, 27)

- 28 Kataoka M., Tsuge K., Takesako H., Hamazaki T., Seto Y., Effect of Pedological Characteristics on Aqueous Soil Extraction Recovery and tert-Butyldimethylsilylation Yield for Gas Chromatography-Mass Spectrometry of Nerve Gas Hydrolysis Products from Soils. Environ. Sci. Technol., 35, 1823-1829, (2001).
- 29 Kataoka M., Tsuge K., Seto Y., Jpn. J. Sci. Technol. Ident., 4, 67-75, (2000).
- 30 Noami M., Kataoka M., Seto Y., Improved tert-Butyldimethylsilylation Gas Chromatographic/Mass Spectrometric Detection of Nerve Gas Hydrolysis Products from Soils by Pretreatment of Aqueous Alkaline Extraction and Strong Anion-Exchange Solid-Phase Extraction. Anal. Chem., 74, 4709-4715, (2002).
- 31 於下頁。

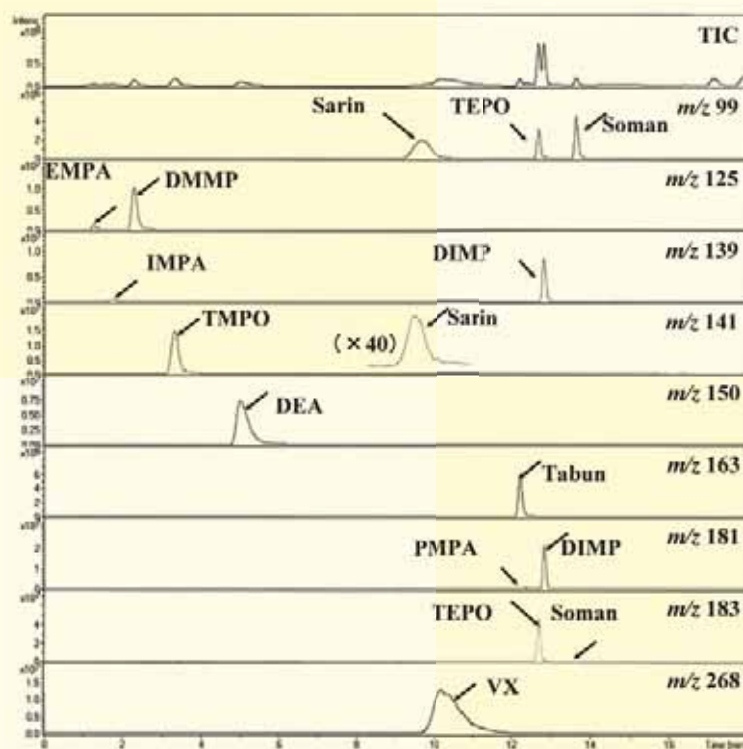
物已進步到可直接用LC-MS分析，但是由於試樣成分複雜而不易得到高再現性之離子化結果，因此到目前為止仍停留在篩選之階段。以LC-MS對神經毒劑之水解物及其非極性相關化合物進行分析時，固定相層析管柱可使用碳十八分離管柱，移動相溶液可選用醋酸銨-氰甲烷以濃度提升方式分離，並以電灑游離(Electro Spray Ionization, ESI)進行分析，其分析結果示於圖十一。³²神經戰劑及其非極性相關化合物以正離子模式(Positive Mode)進行分析，例如沙林毒劑以正離子模式之偵測極限約為 $1.0 \mu\text{g/ml}$ ；而磷酸酯類化合物(RMPA及MPA)可以負離子模式(Negative Mode)分析，例如RMPA以負離子模式偵測時其極限約為 $0.16 \mu\text{g/ml}$ ，MPA之偵測極限約為 $1.0 \mu\text{g/ml}$ 。³³

肆、化學劑之現場檢驗

一、現場檢驗概要

以化學戰劑之毒性時間為指標時，可將化學戰劑分為『速效性化學戰劑』及『遲效性化學戰劑』。

速效性化學戰劑類有：血液戰劑、窒息戰劑、神經戰劑、糜爛戰劑、噴嚏戰劑、催淚戰劑；遲效性化學戰劑類有：光氣、芥氣及氮芥氣。當化學戰劑被高濃度施放時將出現中毒現象並有死傷產生，但遲效性化學戰劑濃度不高時中毒現象不明顯，僅在接觸液體或長時間暴露在低濃度毒劑時延至數小



圖十一 以電灑游離(ESI)對神經戰劑之水解物及其非極性相關化合物進行液相層析質譜儀(LC-MS)分析之結果(參考文獻32)

- 31 Kataoka M., Seto Y., Discriminative determination of alkyl methylphosphonates and methylphosphonate in blood plasma and urine by gas chromatography-mass spectrometry after tert.-butyldimethylsilylation. J. Chromatogr. B, 795, 123-132, (2003).
- 32 Read R. W., Black R. M., Rapid screening procedures for the hydrolysis products of chemical warfare agents using positive and negative ion liquid chromatography-mass spectrometry with atmospheric pressure chemical ionisation. J. Chromatogr. A, 862, 169-177, (1999).
- 33 Kanamori-Kataoka M., Seto Y., Jpn. J. Forensic Toxicol., 23, 21-28, (2005).

時後才會有中毒跡象。因此化學戰劑之檢驗，依化學戰劑之種類、濃度、散佈方式則有所不同。

遭受化學戰劑恐怖攻擊之現場，可用檢知管法偵測散佈在空氣中之毒劑種類及濃度。另外可在重要設施地點如機場、港口、車站、捷運、地下鐵及人群聚集處設置固定型連續偵檢系統，例如：離子遷移光譜偵測器(Ion Mobility Spectrometer, IMS)或表面聲波式偵測器(Surface Acoustic Wave, SAW)，能於遭受化學戰劑攻擊的第一時間發出警訊並在最短時間內疏散人群以降低人員傷亡，作為防範恐怖攻擊之事前管理。

遭受毒劑攻擊現場之第一線危機處理小組應具備攜帶型偵測器材，以初步檢驗毒氣類型及飄散在空氣中之概略濃度。一般常見之攜帶型器材有：毒劑偵檢試紙、毒劑檢知管、離子遷移光譜偵測器(IMS)、表面聲波式偵測器(SAW)、光離子化偵測器(PID)、火焰光度偵測器(FPD)等。可移動型偵測設備是將實驗室內之儀器材質輕量化、功能簡化後仍具備儀器本身分析之基本功能，以達到『可移動』及『準確性』雙重功能的『活動實驗室』。此類型設備有氣相層析儀(GC)、質譜儀(MS)、氣相層析質譜儀(GC-MS)、傅立葉轉換紅外光譜儀(FT-IR)等設備，此等級設備較為昂貴屬於高層級防衛機構之設備。除此之外也可能編配車載型偵測設備以作為事故現場的臨時指揮中心，作為災害現場管理、災後處理作為及復原監控之

用。這些設備除了應用在面對恐怖攻擊事件外，亦出現在環境監測之偵測裝置上。在經過東京沙林事件後目前日本相關單位如日本警察、消防、海上保安廳等最先到達現場之單位，已配備此類裝備以應付可能面臨的狀況。

沒有明確之犯行聲明時，化學恐怖攻擊之對策則可攜帶現場偵測設備，但屬於秘密攻擊時未有被害者出現前無法採取適當作業。現場對化學戰劑之偵測工作示於表三。

最先到達災害現場的緊急應變小組需對災難現場仔細觀察，對於案發現場的可疑事物詳加記錄，例如被害者之異常中毒症狀之生理反應：瞳孔縮小、嘔吐物、皮膚腐爛等異常中毒症狀，可藉由這些現象來推測屬於何種類型的化學戰劑恐怖攻擊，並且配合使用現場偵測器材以初步研判屬於何種化學戰劑。同時亦需採取現場樣品迅速送往專業單位進行鑑定。樣品進入實驗室經過適當的樣品前處理手續後，即可使用具有層析功能、光譜功能之精密儀器加以證實屬於何種化學物質。現場偵測並研判化學戰劑種類之目的在於有利於危機管理上，使得能對最先到達的第一線工作人員提供必要的保護措施以及準備傷患可能需要的急救物資。當判斷對現場工作人員有危險性時，提供工作人員必要的防護措施如防護面具、防護衣等，並且針對被害者、被污染散佈區域以及消除作業地區周遭設置警戒管制線以劃分出熱

表三 對抗恐怖主義化學戰劑之偵測與鑑定對策

現地調查	災害（不正常死亡及傷害），可疑物質（霧、煙） 中毒症狀（瞳孔縮小，四肢扭曲，腐蝕，嘔吐，頭痛，咳嗽）
感官	氣味（杏仁味，大蒜味，枯草味） 神經周圍反應（瞳孔縮小，咳嗽，皮膚黏膜疼痛，發冷）
迅速	雷射螢光光譜儀 遙測紅外線光譜儀
現地初步偵測	氣體偵測器，光離子化偵測器（PID），偵檢試紙 離子遷移光譜偵測器（IMS），火焰光度偵測器（FPD） 表面聲波式偵測器（SAW）
現地偵測-鑑定	質譜儀，氣相層析質譜儀，氣體檢知管
實驗室鑑定	初步篩檢，樣品前處理，儀器分析

區、暖區、冷區以及安全區域。

災難現場的毒劑檢測由最先出動對應變小組工作人員穿著必要的防護裝備後進入最具危險性的第一現場進行。理想的偵測儀器應具備之條件為：希望能夠檢驗出所有類型的化學戰劑、偵測靈敏度設定在環境毒劑濃度達到致死濃度的1/100時即能發出警報、偵測的反應時間應具備即時之反應功能、在操作上必須簡便及自動化、裝置發出警報後能迅速回到待機並繼續執行偵測的狀態。

二、化學戰劑偵測器材之功能

日本科學警察研究所曾對市面上販售的化學戰劑偵檢器材以化學戰劑實毒為對象進行檢驗及測試並記述其功能。^{34,35,36,37,38}毒劑偵檢試紙主要應用在檢驗液態物質之毒劑定性檢驗，³⁹在試紙的纖維素上塗附二種色素及pH指示劑，當試紙吸收到G系毒劑(沙

林、梭曼、泰奔)時與其中一種色素反應而表現出橙色；當H系毒劑(芥氣、路易氏劑等)時與另外一種色素反應而呈現出紅色；當是V系毒劑時(VX)由pH值之改變使得pH指示劑的顯色由橙色轉變為黑色，但是毒劑偵檢試紙的缺點為：可能對於水以外之有機溶劑也具有變色的反應而表現出毒劑的偽陽性結果。

毒劑檢知管主要針對於氣態或氣溶膠狀的化學戰劑進行定量的檢測，⁴⁰例如具有軍用規格之法國Dräger公司的產品。毒劑檢知管的原理為在玻璃管中密封矽膠吸附之偵測試劑，使用前折斷兩端後由抽氣筒吸入定量之大氣，當空氣中有毒劑存在時將會與管內矽膠上的偵測試劑反應而有變色的反應來定性得知為何種毒劑，再由管內矽膠反應層變色之長度利用管上之刻度讀出該物質之含量。必須依據不同的毒劑選擇使用對應的檢知管進行偵測，當偵測神經毒劑時需選用磷酸酯檢知管、芥氣用硫醚檢知管、路易氏劑用有機胂化合物檢知管，此方法之偵測靈敏度約在 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

火焰光度偵測器(FPD)為一種高靈敏度且能迅速檢測大氣中化學戰劑之裝置，⁴¹目前市面上有法國Proengine公司製造的品

34、35、36、37、38、39、40、41 於下頁。

AP2C。此儀器的原理為當化學戰劑以氫氣($H_{2(g)}$)燃燒時，測定硫原子燃燒時所產生之焰色反應來判定化學戰劑，檢測模式有偵測磷化合物的『磷模式(P mode)』以及偵測硫化合物的『硫模式(S mode)』。以偵測芥氣為例其靈敏度約在 $100 \mu g / m^3$ ，但是常常容易得到偽陽性誤報的結果，但對於血液毒劑或路易氏劑則較易得到偽陰陽性誤報的結果。

光離子化偵測器(PID)為一種能對大氣中工業用毒性化學物質(TIC)進行自動檢測之攜帶型裝置，⁴²目前市面上有美國公司RAE system所製造的ppb RAE。此儀器之原理為由紫外線將吸入之化學毒劑變為離子化並測定電流的變化，偵測靈敏度約在 $100 \mu g / m^3$ 。

離子遷移光譜偵測器(IMS)為目前最普

遍採用之攜帶型化學偵測裝置，吸入儀器的化學毒劑在大氣壓下以 β 射線離子化並測量化學毒劑離子在不同電壓下之離子移動度(Ion Mobility)以鑑別毒劑種類。⁴³市面上有芬蘭EnviroNics OY公司的抽氣型商品。此儀器之特點為對於容易離子化之毒劑的偵測靈敏度高，例如偵測神經毒劑時靈敏度在 $100 \mu g / m^3$ 以下；對腐爛毒劑的偵測靈敏度約 $100 mg / m^3$ ，但是對於血液毒劑之偵測靈敏度較低，雖具有吸入毒劑後數秒內能反應，但有時會有偽陽性誤報的結果。

表面聲波式偵測器(SAW)為一種手提式自動偵測器，市面上有BAE system公司所製造的商品JCAD(ChemSentry™)。其原理為將吸入之化學毒劑吸附於10個塗有不同種類聚合物的感應器上，依吸附質量增加表面彈性波之周波數起變化，經過解析數據與資

- 34 Seto Y., Iura K., Itoi T., Tsuge K., Kataoka M., Jpn. J. Sci. Technol. Ident., 9, 39-47, (2004).
- 35 Matsushita K., Sekiguchi H., Seto Y., Performance of Portable Surface Acoustic Wave Sensor Array Detector for Chemical Agents. Bunseki Kagaku, 54, 83-88, (2005).
- 36 Seto Y., Kanamori-Kataoka M., Tsuge K., Ohsawa I., Matsushita K., Sekiguchi H., Itoi T., Iura K., Sano Y., Yamashiro S., Sensing technology for chemical-warfare agents and its evaluation using authentic agents. Sens. Actuat. B, 108, 193-197, (2005).
- 37 Maruko H., Sekiguchi H., Seto Y., Sato A., Detection Performance of Chemical Warfare Agent with Portable Aspiration-Type Ion Mobility Spectrometer. Bunseki Kagaku, 55, 191-197, (2006).
- 38 Sekiguchi H., Matsushita K., Yamashiro S., Sano Y., Seto Y., Okuda T., Sato Y., On-site determination of nerve and mustard gases using a field-portable gas chromatograph-mass spectrometer. Forensic Toxicol., 24, 17-22, (2006).
- 39 Organization for the Prohibition of Chemical Weapons, (<http://www.opcw.org/resp/html/detect.html>), Detection of Chemical Weapons, 2006.
- 40 Dräger safety, (http://www.draeger.com/ST/internet/Products/Detection/Tubes/draeger_tubes.jsp), Dräger Tubes, (2006).
- 41 Proengin, (<http://www.proengin.com/indexpro.html>), AP2C, (2006).
- 42 RAE Systems, (<http://www.raesystems.com/products/pid>), PID, (2006).
- 43 Iceman G. A., Stone J. A., Ionmobility spectrometers in national defense. Anal. Chem., 76, 390A-397A, (2004).

料庫內之神經毒劑、腐爛毒劑、血液毒劑、窒息毒劑數據比對後能識別出毒劑之種類及濃度並發出警報。⁴⁴此儀器的偵測靈敏度較低($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上)但是反應時間及反應後回復時間較長且對多種有機溶劑呈現偽陽性反應。

紅外線光譜儀(FT-IR)之特點為能將大氣中之樣品以非破壞性的紅外線吸收光譜方式進行檢測，並且此儀器有移動型及固定型機種可供選擇應用。⁴⁵當大氣中有大量的水分或二氧化碳時(CO_2)存在時會產生干擾，因此宜先針對不同化學戰劑之特定吸收波域進行定義及設定，例如：神經毒劑 1000 cm^{-1} ；芥氣： 900 cm^{-1} ；路易氏劑： 800 cm^{-1} ，此儀器之偵測靈敏度約為 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

氣相層析儀(GC)，新型偵檢用GC為將傳統型改良設計為小型化、耐衝擊、攜帶方便，⁴⁶例如美國O. I.公司製造的MINI-CAMS，⁴⁷吸入大氣中之樣品經吸附-脫附後注入GC進行分析，以滯流時間及偵測器(FPD，XSD)加以識別為何種毒劑，約10分鐘即可分析出結果，並且可以同時偵測多種

物質，神經毒劑、腐爛毒劑能以在低濃度時(約數個 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)進行檢測。

質譜儀(MS)亦有小型化、耐撞性之設計成為攜帶型儀器，⁴⁸可由質譜研判化學毒劑種類。其特點為試劑進入口具有疏水膜去以去除大氣中之氮氣(N_2)及氧氣(O_2)，因採用此疏水膜所以限制樣品沸點必須在 250°C 以下之揮發性成分，因此主要分析對象限定於中、低沸點化合物。美國公司Inficon所生產之商品Hapsite具有使用Tenax濃縮功能及自動檢索質譜資料庫之功能，⁴⁹沙林、梭曼、泰奔、芥氣等化學戰劑即使在低濃度時(以約 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)也能在10分鐘內檢測出。

三、現場偵測器材比較與應用

針對不同類型偵測器材對各種化學戰劑(血液毒劑、窒息毒劑、神經毒劑、腐爛毒劑)之偵測靈敏度、精密度(偽陽性率)、反應時間、回歸時間、操作性能等為指標比較目前市面上販售的偵測器材之性能示於表四。表現良好著以○表示；表現不佳著以X表示；能使用但是仍然有改善必要者以△表示。

雖然我們希望一種理想的萬用偵測器，

44 Harris C. M., Seeing SAW potential. Anal. Chem., 75, 355A-358A, (2003).

45 Mukhopadhyay R., Portable FTIR spectrometers get moving. Anal. Chem., 76, 369A-372A, (2004).

46 Henry C., Taking the Show on the Road. Portable GC and GC/MS. Anal. Chem., 69, 195A-200A (1997).

47 Analytical, (<http://www.oico.com/default.aspx?id=productline?PLID=21>), GC Continuous Monitoring Systems, (2006).

48 Wise M. B., Guerin M. R., Direct Sampling MS for Environmental Screening Anal. Chem., 69, 26A-32A, (1997).

49 Inficon, (<http://www.inficonchemicalidentificationsystems.com/en/hapsitechemicalidentification.html>), HAPSITE Smart Chemical Identification System, (2006).

能同時對各種毒劑進行偵測並且具有高準確性、高靈敏度、反應時間迅速、回歸時間短而且操作簡單，但是能滿足所有條件之萬能偵測器材應該還沒出現，各種不同的偵測器材各有其優缺點。例如：PID、SAW、FT-IR偵測靈敏度偏低；而毒劑檢知管再使用時需在第一現場且穿著全套防護衣操作因此使用上較為不便；對於偵測神經毒劑、腐爛毒劑有開發出攜帶型偵測器其中IMS相當有效。

化學戰劑之揮發度及分子量分佈圖示於圖十二，同時也於圖上也列舉了各種偵測器材所能偵測的範圍與其個別在性能上及使用上之缺點。對於化學戰劑中毒性較強之神經毒劑及腐爛毒劑需要能在現場即時偵測的功能，目前在市面上也有類似功能的偵測器

材，但是到目前為止仍缺少對毒性較弱而普遍應用在工業上之化學物質的偵測器材。

最先到達災害現場的單位有必要具有多種現場檢測器材例如先測量氧氣濃度及確認現場是否存在有毒瓦斯(例如CO、H₂S)並判斷可能的毒劑種類。在事件爆發的初期原因不明階段時，雖然可以使用IMS偵測現場的化學戰劑種類，但是同時可以觀察被害者之中毒症狀也可推測化學戰劑之種類。如果在現場有MS時，對於確認為何種化學物質有非常大的幫助。對污染物可用試紙、IMS、PID、FPD相當有用，在現場所得資訊對實驗室進行分析工作而言極有價值。

四、現場偵測法之開發

日本科學警察研究所持續對部分市面

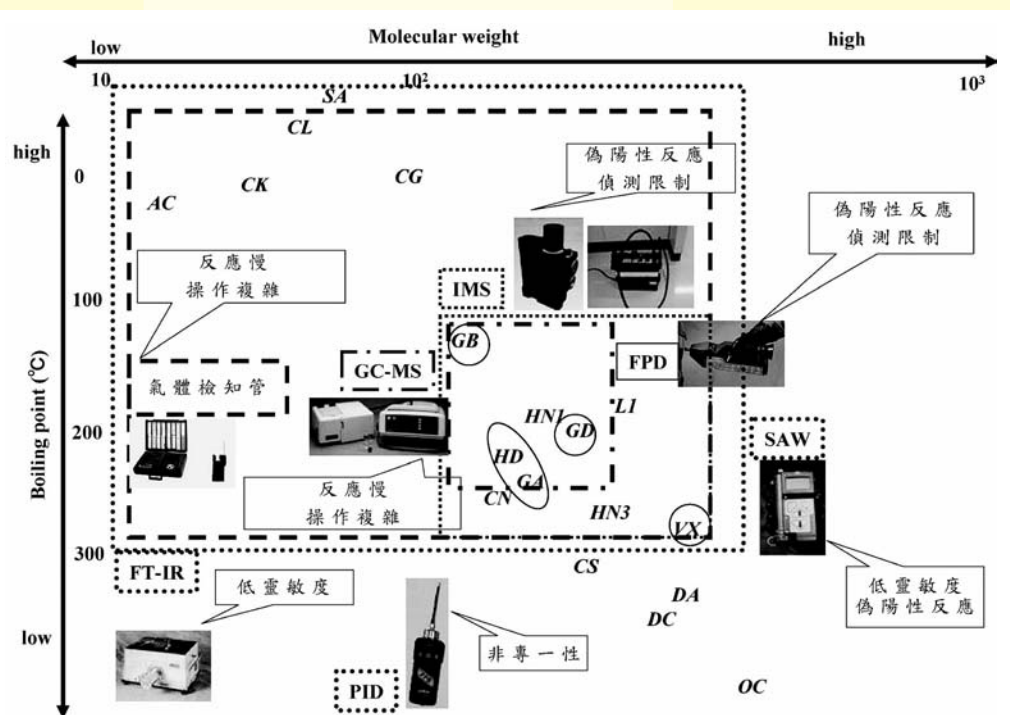
表四 目前市面上販售的不同類型偵測器材對各種化學戰劑之性能比較

設備	瓦斯 偵測極限	神經毒劑 偵測極限	腐爛毒劑 偵測極限	假訊號	回應時間	回復時間	操作
偵檢試紙	X	△ 液體	△ 液體	X	○ 秒	—	○
氣體檢知管	○ 0.2 mg/m ³	○ 0.1 mg/m ³	○ 5 mg/m ³	△	△ 1—5分	—	X
電泳光譜偵測器 IMS	△	○ 0.2 mg/m ³	△ 5 mg/m ³	△	○ 3—20秒	△ 秒—分	○ 攜帶型
火焰光度偵測器 FPD	X ND	○ 0.1 mg/m ³	△ 1 mg/m ³	X	○ 2—5秒	○ 秒	○ 攜帶型
光離子化偵測器 PID	△ 100 mg/m ³	△ 100 mg/m ³	△ 100 mg/m ³	X	○ 5—10秒	△ 秒	○ 攜帶型
表面聲波偵測器 SAW	△ 50 mg/m ³	△ 50 mg/m ³	△ 100 mg/m ³	X	△ 15—30秒	△ 4—5分	○ 攜帶型
傅立葉紅外線光譜儀 FT-IR	△	△ 10 mg/m ³	△ 10 mg/m ³	△	○ 秒	—	△ 移動型
氣相層析儀 GC	X ND	△ (易揮發)	△ (腫除外)	○	△ 10—15分	—	△ 移動型
氣相層析質譜儀 GC-MS	X ND	○ 0.1 mg/m ³	△ (腫除外) 0.1 mg/m ³	○	X 10—15分	—	△ 移動型

上販售之化學檢測器材加以評估其功能，如靈敏度不足、誤判、警報遲鈍、操作複雜等，對於不適合應付恐怖攻擊現場分析作業著，都加以闡明其缺點。事實上目前對於恐怖攻擊現場之化學分析能力仍然不足，因此歐美各國目前正在研發

未來新世代可用之進行現場偵檢技術及儀器，例如：應用毛細管電泳對細微碎片樣品進行神經毒劑分解物之檢測，⁵⁰並且希望日後能得到Lab-on-a-chip的成果。

日本科學警察研究所一直希望能善用日本本土所開發之檢測技術，冀望以不會在現場遺漏任何一項生化戰劑原則下，努力開發新的技術及裝置。例如中野研計器公司⁵¹所開發之以帶光電光度法對氣態化學戰劑之檢測儀器，此法可應用於氯氣、光氣、氫氰酸、路易氏劑等毒劑並且能得到相當好之靈



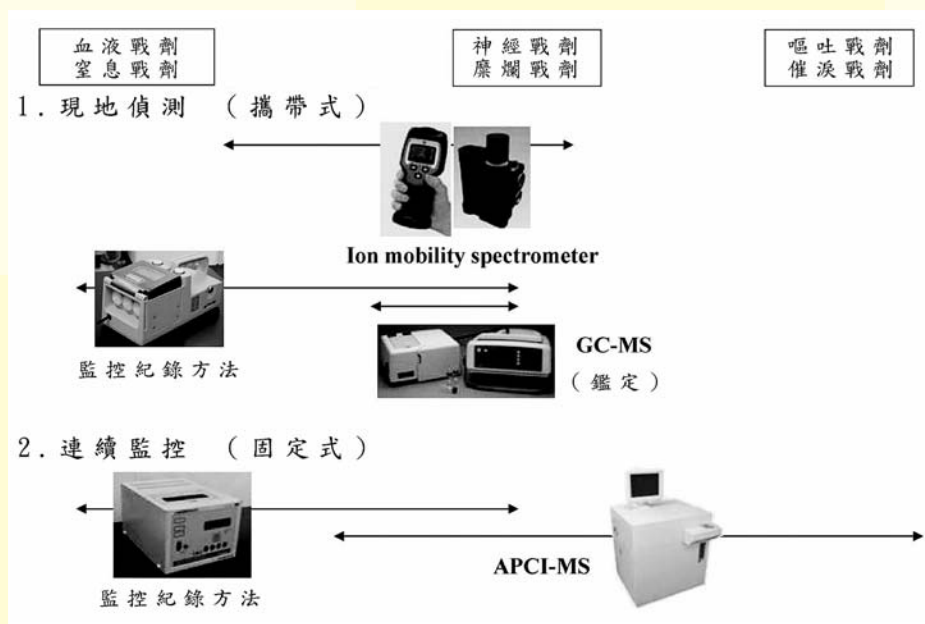
圖十二 化學戰劑之揮發度及分子量分佈圖

敏度。對於揮發性及難揮發性之化學戰劑能以高靈敏度連續檢測者有日立製作所⁵²所創逆流型大氣壓CI-MS法(化學劑由電擊放電得離子化、並自二次離子化領域排除生成之官能基，並設計逆流型離子化室以防止一次離子之減少)。對於神經毒劑、腐爛毒劑、催淚毒劑等都有相當高的靈敏度並且能連續檢測。針對市面上所販售、開發中及試驗中之儀器設備進行現場檢測之建議示於流程圖，圖十三。依此流程希望能在短時間內不遺漏任何一項訊息的原則下能迅速驗出各種

50 Wang J., Microchip devices for detecting terrorist weapons, Anal. Chim. Acta, 507, 3-10, (2004).

51 Nakano N., Nagashima K., テープ光電光度法に用いる有害ガス定量テープの開発, Bunseki, 7-14, (2001).

52 Takada Y., 安全で快適な生活を支える分析化学、爆発物の迅速な検出, Bunseki, 328-332, (2006).



圖十三 儀器設備進行現場檢測之建議流程圖(參考文獻52)

傳統性安全的防護，尤其是有關國家關鍵基礎建設及資產之防護，更需加以重視，若由國土安全之目標在增強國家對於天災急難的準備與因應、國境安全的維護與管制、重大危機事件的預警與處理、關鍵基礎建設的保護等角度觀察。台灣不能因恐怖主義之目前安全威脅不大，乃輕視或忽略長期

化學劑。

伍、結論

當遇到使用化學戰劑為手段之恐怖攻擊時，一般的處理方式為現場採樣並將資料傳送專業單位進行現場檢測及實驗室分析，因此對於化學戰劑之檢測及鑑識在危機處理上極為重要。日本以其國內之專業學會來整合相關之資源以進行國土安全之任務，例如藥學會在環境、衛生領域之研究成果與實驗室之分析工作有密切關係，物理系藥學(分析化學)領域之研究成果則可提供現場檢測法之開發重要資訊。對於應付恐怖攻擊時所需之基本對策、鑑定法及標準作業程序之開發，社會仍然高度期待專業學會能對預防恐怖攻擊及國家安全之架構有所貢獻。

台灣安全所面對之威脅，必需重視非

反恐的重要性與必要性。因而日本之經驗及其努力，可作為我國之借鏡，除強化執法、急難應變及反恐能力，並應鼓勵民間發展對抗恐怖事件後果之處理能力與設備，執法人員更應充分運用高科技鑑識及偵測儀器，以強化國土安全之防護。

作者簡介

柳如宗

中正理工學院應用化學系正49期
中央警官學校警政研究所刑事科學組碩士
國立師範大學化學研究所博士
前憲兵司令部刑事鑑識中心主任

作者簡介

許銘華

國立清華大學化學研究所博士
前憲兵司令部刑事鑑識中心少尉參謀