

## アナリティカルレポート

携帯型アスピレーション式イオンモビリティスペクトロ  
メーターの化学剤検知性能丸子 恒<sup>1,3</sup>, 関口 浩<sup>1,3</sup>, 瀬戸 康雄<sup>®1</sup>, 佐藤 晃祥<sup>2</sup>Detection Performance of Chemical Warfare Agent with Portable  
Aspiration-Type Ion Mobility SpectrometerHisashi MARUKO<sup>1</sup>, Hiroshi SEKIGUCHI<sup>1</sup>, Yasuo SETO<sup>1</sup> and Akiyoshi SATO<sup>2</sup><sup>1</sup> National Research Institute of Police Science, 6-3-1, Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba 277-0882<sup>2</sup> Teikoku Sen-i Co., LTD., 2-5-13, Nihonbashi, Chuo-ku, Tokyo 103-0027

(Received 14 October 2005, Accepted 6 December 2005)

The detection performance of a portable aspiration-type ion mobility spectrometer (ChemPro100, Environics) was investigated with nerve gases, blister agents, blood agents and related compounds. The vapors of sarin, soman, tabun were recognized as "Nerve (nerve gas)" after about 10~20 s sampling, and the detection limits were below 0.1 mg/m<sup>3</sup>. The vapors of mustard gas and lewisite I were recognized as "Blister (blister agent)" after about 10~20 s sampling, and the detection limits were several mg/m<sup>3</sup>. The gases of hydrogen cyanide and cyanogen chloride were not recognized as "Blood (blood agent)". The vapors of nerve gas simulants, such as dimethylmethylphosphonate and *N,N*-dimethylformamide, were recognized as "Nerve", and the vapors of blister agent simulants, such as 2-chloroethylethylsulfide, ethanol, toluence and chloroform, were recognized as "Blister". The other solvents were recognized as "Unknown chemical".

**Keywords** : chemical warfare agents; on-site detector; detection performance; ion mobility spectrometer.

## 1 緒 言

化学剤（化学兵器用剤, chemical warfare agent）は、即効性であり、微量で殺傷性、無能力性を示し<sup>1)2)</sup>、神経ガス、びらん剤、窒息剤、血液剤、くしゃみ剤、催涙剤等に分類される<sup>3)</sup>。第一次大戦から戦争で使用されてきたが、1992年に化学兵器の開発、生産、貯蔵及び使用の禁止並びに廃棄に関する条約が国連総会において採択され<sup>4)</sup>、1995年に我が国で化学兵器の禁止および特定物質の規制等に関する法律（化学兵器禁止法）が成立し、1997年に化学兵器禁止条約が発効した<sup>5)</sup>。一方、1995年東京地下鉄において不特定の民間人をターゲットとしてサリンが散布

され多数の死傷者を出し、全世界に衝撃を与え<sup>6)7)</sup>、2001年に米国で航空機による同時多発テロ、郵便物炭疽菌によるテロ事件が発生し、生物剤、化学剤等の大量殺傷型兵器を用いたテロの脅威は顕在化している。化学剤テロ事件の危機管理対応として<sup>8)</sup>、被害者救命、初動捜査の必要上一刻も早い原因物質の特定が要求される。また、テロ現場における初動措置隊の個人防護的観点から、現場検知が最重要となる。現在、軍用仕様の化学剤検知器が市販化されているが<sup>9)</sup>、実際に性能を発揮するか否か保証はない。著者らはこれまでに、実剤又は擬剤を用いて市販の生物・化学兵器用剤検知装置等の性能を検証してきた<sup>10)~16)</sup>。現場で有効に活用されうる化学剤検知器の性能として、携帯性、簡便性、検知迅速性、化学剤に対する検出感度、選択性、耐久性等が要求されるが<sup>9)</sup>、感度が低い、誤判定（偽陽性、偽陰性を含めて）が多い、吸着により応答が遅延したり復

<sup>1</sup> 科学警察研究所: 277-0882 千葉県柏市柏の葉 6-3-1<sup>2</sup> 帝国繊維株式会社: 103-0027 東京都中央区日本橋 2-5-13<sup>3</sup> 現在所属 警視庁: 100-8929 東京都千代田区霞が関 2-1-1

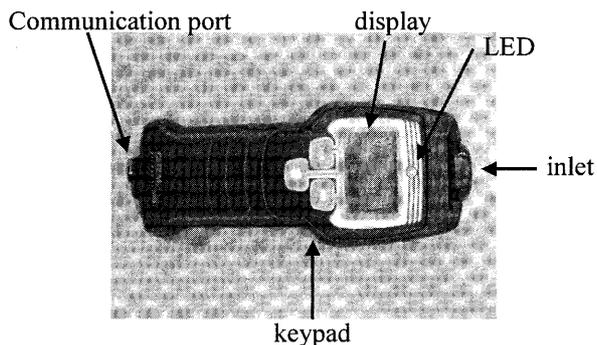


Fig. 1 The picture of ChemPro100

旧が長引く等の性能上の問題点が指摘される。本論文では、市販のイオンモビリティ (IMS) 検知器<sup>17)</sup>のひとつである ChemPro100 について、化学剤に対する検知性能を検証したので報告する。

## 2 材料及び方法

### 2.1 装置

フィンランド EnviroNics 製<sup>18)</sup>の ChemPro100 は、長さ 23 cm, 幅 10 cm, 高さ 5.5 cm, 本体重量約 800 g, バッテリー (充電式電池で 8 時間以上動作, 充電は communication port に専用の充電アダプターを接続) 駆動の携帯型化学剤検知器である (Fig. 1)。電源 (keypad 部) をオンにすると、検知モード {パネル (display) 部 AIR 表示} になり、本体前面の吸入口 (inlet, フィルター付きキャップあり) から外部空気を連続的に吸引 (1 l/min) し、本体内部の放射線源 (<sup>241</sup>Am, 80  $\mu$ Ci, 2.96 MBq) で検知対象物はイオン化を受け、IMS の原理で検知対象物由来イオンを分離、検出する。吸引ガスは本体前面の排気口から排出される。化学剤として認識されると警報が表示され、発光ダイオード (LED) の点滅と警告音が発せられる。パネル上で、化学剤の種別 (Nerve: 神経ガス, Blister: びらん剤, Blood: 血液剤, Unknown chemical: 認識されない化合物), 危険レベル (High - Med - Low) を表示する。警報表示後、吸引は続き残留化学剤の汚染度が低下すれば、警報が停止し、検知モードに復帰する<sup>19)</sup>。

### 2.2 試薬

サリン (*O*-isopropyl methylphosphonofluoridate, GB), ソマン (*O*-pinacolyl methylphosphonofluoridate, GD), タブン (*O*-ethyl *N,N*-dimethyl phosphoramidocyanidate, GA), VX (*O*-ethyl = *S*-diisopropylaminoethyl = methylphosphonothiolate), マスタードガス {bis(2-chloroethyl)sulfide, HD} 及びルイサイト 1 (2-chlorovinyl-dichloroarsine, LI) は、オランダ TNO Prins Maurits Laboratory より輸入した。6 品共に常温で無色透

明液体であり、純度は 98% 以上 (TNO 保証) であった。クロルピクリン (PS) は、三井化学製<sup>く</sup>蒸剤 (東京) を用いた。その他の試薬は、市販の特級品を用いた。

### 2.3 ガスの調製

既知濃度の化学剤 (GB, GD, GA, VX, HD, LI, PS) の *n*-ヘキサン溶液 5  $\mu$ l を GL サイエンス製 500 ml 容セミニードルバルブ付き気体採取容器 (500 ml ガス採取管) に取り、密封してドライヤーで 1 分加熱し蒸発させ、気化ガスを調製した。既知濃度の青酸カリウム水溶液 (1 ml 以内) をシャーレに取り、101 容パイレックスガラス容器に入れ、青酸に対してモル量以上の 10% 硫酸 (水素イオンとして約 2 M) 水溶液をシャーレに加え素早くふたをし密閉にして、青酸 (AC) ガスを調製した。同様に、既知濃度の青酸カリウム水溶液をシャーレに取り 101 容器に入れ、青酸に対して 1.2 モル量以上の 0.2 M クロラミン T 水溶液を加え素早くふたをして、塩化シアン (CK) ガスを調製した。

### 2.4 検知実験

化学剤の検知実験は、ChemPro100 本体を検知モードで待機させ、化学剤気化ガス入りの 500 ml ガス採取管の片方の口を ChemPro100 本体の吸入口に近づけ、もう一方の口からシリコンチューブで連結したガラス注射筒 (100 ml 容) で連続的に押し出し (約 500 ml/min), 気化ガスを ChemPro100 吸入口に噴射した。警報が表示されると、気化ガスの噴射を停止した。気化ガス噴射時間は最長 1.5 分とした。また、ChemPro100 本体の吸入口のふた及び焼結フィルターを外し、同様の検知実験を行った。

AC ガス, CK ガスの検知実験は、気化ガス入り 101 容器に素早く ChemPro100 本体を入れ密閉にし、警報が表示されるとすぐに本体を容器から取り出し、検知の表示を観察した。気化ガスへの暴露時間は最長 5 分とした。

有機溶媒の検知実験は、溶媒入り試薬瓶のふたを開け、ChemPro100 本体の吸入口に近づけ、検知の表示を観察した。有機溶媒蒸気への暴露時間は最長 3 分とした。

### 2.5 特定物質使用に関する注意

化学剤は猛毒であり、化学兵器禁止法<sup>5)</sup>に従い経済産業大臣より認可を受け、スクラバー式ドラフトチャンバー内で、適切な防護マスク, 服, 手袋を装着して実験を行った。

## 3 結果

### 3.1 吸入口のフィルターを外した場合の化学剤の検知結果

吸入口のふた及び焼結フィルターを外した状態で、化学

Table 1 Detection of chemical warfare agents by ChemPro100 (without filter)

Agent	Concentration/ mg m <sup>-3</sup>	Alarm/trial	Response time/s	Recovery time/s	Class	Alarm	Hazard level
GB	0.02	1/3	25	15	Nerve		Low
	0.1	1/3	75	5	Nerve		Low
		2/3	22	24	Unknown chemical		Low
	0.5	3/3	14~18	17	Nerve		Med
	5	1/1	11	20	Nerve		Med
	20	1/3	20	176	Nerve		High
		1/3	15	51	Blister		High
		1/3	17	73	Unknown chemical		High
GD	0.02	3/3	18~19	9	Nerve		Low
	0.1	3/3	17~22	18~21	Nerve		Low 1/3, Med 2/3
	0.5	3/3	10~19	21~26	Nerve		High
	1	3/3	15~17	25~48	Nerve		High
	5	3/3	16~18	19~36	Nerve		Med 2/3, High 1/3
	50	3/3	17~19	143~212	Nerve		High
GA	0.02	1/3	52	15	Nerve		Low
	0.1	3/3	19~21	16~19	Nerve		Low
	0.5	3/3	12~34	21~30	Nerve		Low 1/3, Med 2/3
	1	3/3	18~19	25~46	Nerve		Med 1/3, High 2/3
	10	3/3	6~17	77~159	Nerve		Med 1/3, High 2/3
VX	2	1/3	90	7	Nerve		Low
	2 <sup>a)</sup>	3/3	14~15	11~13	Nerve		Low
	20	3/3	19~52	7~86	Nerve		Low 2/3, Med 1/3
HD	0.48	0/3			— <sup>b)</sup>		
	1.2	1/3	55	7	Blister		Low
	2.4	1/3	46	1	Blister		Low
	6	3/3	17~18	7~15	Blister		Low
	12	2/3	19~20	19~20	Blister		Low
		1/3	35	1	Unknown chemical		Low
	48	3/3	15~21	11~15	Blister		Med
	120	3/3	17~27	34~71	Unknown chemical		Low
L1	0.76	0/3			—		
	1.9	1/3	18	8	Blister		Low
	9.5	3/4	18~19	6~16	Unknown chemical		Low 2/3, Med 1/3
	19	1/6	25	19	Blister		Low
		5/6	18~37	1~12	Unknown chemical		Low
	57	3/3	13~22	20~27	Blister		Low 2/3, Med 1/3
	95	3/6	12~16	22~136	Blister		Low
		3/6	19~27	2~16	Unknown chemical		Low 2/3, Med 1/3
190	3/3	16~29	4~16	Unknown chemical		Low	
AC	990	0/1			—		
	2990	0/1			—		
	7040	0/2			—		
CK	800	0/3			—		
	1070	1/1	47	31	Nerve		Low
	3070	1/1	24	19	Nerve		Low
	5330	1/1	43	25	Nerve		Low
PS	7090	1/1	40	18	Nerve		Low
	83	0/3			—		
	332	3/3	19~33	1~5	Unknown chemical		Low
	vapor	1/3	16	7	Blister		Low
	1/3	45	1	Unknown chemical		Low	

a) Heating time for evaporation of agents in gas container was extended to 3 min instead of 1 min. b) No alarm was displayed.

剤の気化ガスを ChemPro100 に吸引させた場合の検知結果を Table 1 に示す。神経ガスである GB の気化ガスは、0.5 mg/m<sup>3</sup> の濃度において十数秒の吸引で警報率 100% で“Nerve”の警報が表示された。GB 濃度が低下するにつれて警報率は低下し、高濃度の場合には一部“Unknown chemical”の警報が表れた。GD の気化ガスは、検討したすべての濃度において十数秒の吸引で“Nerve”の警報が

警報率 100% で表示された。GA の気化ガスは、0.1 mg/m<sup>3</sup> 以上の濃度において十数秒の吸引で“Nerve”の警報が警報率 100% で表示され、0.02 mg/m<sup>3</sup> の濃度において警報率は 1/3 であった。VX の気化ガスは、20 mg/m<sup>3</sup> の濃度において十数秒の吸引で“Nerve”の警報が警報率 100% で表示され、2 mg/m<sup>3</sup> の濃度において警報率は 1/3 と低下したが、500 ml ガス採取管のドライヤー加熱時間を 3

Table 2 Detection of chemical warfare agents by ChemPro100 (with filter)

Agent	Concentration/ mg m <sup>-3</sup>	Alarm/trial	Response time/s	Recovery time/s	Class	Alarm	Hazard level
GB	0.02	0/1			— <sup>a)</sup>		
	0.1	0/3			—		
	0.5	3/3	11~15	15~19	Nerve		Low
	20	3/3	9~12	48~65	Nerve		Med
GD	0.02	0/3			—		
	0.1	1/3	16	9	Nerve		Low
	0.5	3/3	10~19	16~18	Nerve		Med
	1	3/3	14~16	14~23	Nerve		Med
	5	3/3	9~11	36~63	Nerve		Low 1/3, Med 2/3
	50	3/3	11~23	>300	Nerve		Low 2/3, High 1/3
GA	0.02	0/3			—		
	0.1	0/3			—		
	0.5	3/3	14~20	15~22	Nerve		Low 2/3, Med 1/3
	1	3/3	13~19	13~24	Nerve		Low 2/3, Med 1/3
	10	3/3	11~15	78~139	Nerve		Med
VX	20	0/3			—		
	20	1/3	40	1	Unknown chemical		Low
HD	0.48	0/1			—		
	1.2	0/3			—		
	2.4	0/3			—		
	6	1/3	30	1	Blister		Low
	12	2/3	17~18	13	Blister		Low
	48	3/3	14~16	7~22	Blister		Low
	120	2/3	12~14	28~33	Blister		Med
L1	0.95	0/3			—		
	1.9	0/5			—		
	9.5	0/3			—		
	19	1/3	72	137	Blister		Low
	57	3/3	19~24	7~39	Blister		Low
	95	6/6	15~58	19~46	Blister		Low

a) No alarm was displayed.

分に延長することにより警報率は100%に上昇した。

びらん剤であるHDの気化ガスは、6~48 mg/m<sup>3</sup>の濃度において十数秒の吸引で“Blister”の警報が警報率はほぼ100%で表示された。低濃度では警報率は1/3に低下し、高濃度では“Unknown chemical”の警報が表れた。L1の気化ガスは、57 mg/m<sup>3</sup>の濃度において十数秒の吸引で“Blister”の警報が警報率100%で表示されたが、高濃度又は低濃度で誤判定“Unknown chemical”の警報が増加し、0.76 mg/m<sup>3</sup>の濃度においては警報が示されなかった。

神経ガス及びびらん剤に関しては、濃度が高くなるにつれて、警報後復旧するまでの時間は長くなり、警報の危険レベルは上がる傾向にあった。

血液剤であるACガスは、検討したすべての濃度において警報は表れなかった。CKガスは、1000 mg/m<sup>3</sup>の以上の濃度において20秒以上の比較的長い時間の吸引で“Nerve”の警報が表示された。AC及びCKガスともに“Blood”の警報は認められなかった。

窒息剤であるPSの気化ガスは、332 mg/m<sup>3</sup>の濃度において十数秒の吸引で警報率100%で“Unknown chemical”の警報が表示され、自然蒸気の吸引では“Blister”の警報

が警報率33%で表示された。

### 3.2 吸入口のフィルターを装着した場合の神経ガス、びらん剤の検知実験

吸入口のふた及び焼結フィルターを装着した状態で、神経ガス及びびらん剤の気化ガスをChemPro100に吸引させた場合の検知結果をTable 2に示す。ふた及び焼結フィルターを外した場合(Table 1)と比較して、警報を引き起こす濃度は1けた程度高くなり、誤報率(false negative, unknown chemicalと表示)の割合は低下した。危険レベルの表示は、化学剤の濃度が高くなるにつれて上がったが、その傾向はフィルターを外した場合と比較して顕著ではなかった。

ふたやフィルターへの吸着が低いと思われる血液剤及び窒息剤に関しては、本実験は割愛した。

### 3.3 化学剤擬剤の検知実験

吸入口のふた及び焼結フィルターを外した状態で、化学剤擬剤の自然蒸気をChemPro100に吸引させた場合の検知結果をTable 3に示す。神経ガスの擬剤として頻繁に

Table 3 Detection of chemical warfare agent simulant vapors by ChemPro100 (without filter)

Agent	Alarm/trial	Response time/s	Recovery time/s	Class	Alarm	Hazard level
dimethylmethylphosphonate	3/3	8~11	>300	Nerve		Med
trimethylphosphate	3/3	11~15	219~>300	Nerve		Low 1/3, Med 2/3
triethylphosphate	2/3	7~8	226~>30	Nerve		Med 1/2, High 1/2
2-chloroethylethylsulfide	1/3	21	10	Unknown chemical		Low
	2/3	6~22	22~42	Blister		Low 1/2, High 1/2
1,4-thioxane	1/3	12	12	Unknown chemical		High
	1/3	12	19	Blister		Low
1,4-dithiane	2/3	14~24	4~8	Unknown chemical		Low
	1/4	10	10	Blister		Low
2-mercaptoethanol	3/4	13~19	6~11	Unknown chemical		Low
	2/3	10~12	18~23	Blister		Low 1/2, High 1/2
	1/3	13	16	Unknown chemical		Low

Table 4 Detection of organic solvent vapors by ChemPro100 (without filter)

Agent	Alarm/trial	Response time/s	Recovery time/s	Class	Alarm	Hazard level
methanol	5/5	11~15	9~23	Unknown chemical		Low 2/5, Med 3/5
ethanol	1/4	10	>300	Blister		High
	3/4	12~13	11~13	Unknown chemical		Low 1/3, High 2/3
<i>n</i> -propyl alcohol	3/3	6~12	12~20	Unknown chemical		Low 2/3, Med 1/3
2-propylalcohol	3/3	13~17	8~10	Unknown chemical		Low
<i>n</i> -butanol	3/3	5~13	9~14	Unknown chemical		Low 2/3, Med 1/3
isobutylalcohol	3/3	5~14	8~16	Unknown chemical		Low 2/3, Med 1/3
acetone	3/3	11~13	9~11	Unknown chemical		Low 1/3, Med 1/3, High 1/3
ethyl acetate	3/3	12	10~13	Unknown chemical		Med
diethyl ether	3/3	12~15	9~11	Unknown chemical		Low
acetonitrile	3/3	21~68	2~6	Unknown chemical		Low
<i>n</i> -hexane	0/3			— <sup>a)</sup>		
benzene	1/3	30	13	Blister		Low
toluene	2/4	14~19	12~>300	Blister		Low
xylene	2/4	20~48	1~8	Unknown chemical		Low
	1/3	12	17	Blister		Low
dichloromethane	2/3	11~14	8~11	Unknown chemical		Low 1/2, Med 1/2
	1/3	74	1	Unknown chemical		Low
chloroform	2/3	15~19	6~16	Blister		Low 1/2, Med 1/2
	1/3	16	6	Unknown chemical		Low
acetic acid	3/3	12~20	7~14	Unknown chemical		Low
HCl	3/3	13~15	15~28	Unknown chemical		Low
ammonia	3/3	7~9	7~37	Unknown chemical		High
formaldehyde	3/3	17~45	1~6	Unknown chemical		Low
acetaldehyde	3/3	9~12	11~47	Unknown chemical		Low 2/3, Med 1/3
diethylamine	3/3	9~12	3~37	Unknown chemical		Low 1/3, Med 1/3, High 1/3
triethylamine	3/3	12~13	3~19	Unknown chemical		Low
<i>N,N</i> -dimethylformamide	1/3	17	16	Nerve		Low
	2/3	19~41	1~4	Unknown chemical		Low
pyridine	2/3	7~175	1	Unknown chemical		Low

a) No alarm was displayed.

用いられる dimethylmethylphosphonate (DMMP) やリン酸化合物の trimethylphosphate (TMPO), triethylphosphate (TEPO) は“Nerve”の警報が表示され、蒸気濃度が高いこともあり、警報後の復旧時間は非常に長いものであった。HD の擬剤である 2-chloroethylethylsulfide, HD の分解副産物である 1,4-thioxane, 1,4-dithiane, 硫黄化合物 2-mercaptoethanol は、“Blister”又は“Unknown chemical”の表示を示した。

### 3・4 有機溶媒の検知結果

吸入口のふた及び焼結フィルターを外した状態で、有機溶媒を ChemPro100 に吸引させた場合の検知結果を Table 4 に示す。検討した有機溶媒の蒸気は、おおむね“Unknown chemical”の警報が示された。エタノール、トルエン、クロロホルム、ベンゼンは“Blister”の警報が、*N,N*-dimethylformamide は“Nerve”の警報が示される場合も認められた。*n*-ヘキサンは、その自然蒸気を 3 分吸引

したが警報は表れなかった。

#### 4 考 察

化学剤の現場検知には、検知紙やガス検知管が古典的なマニュアル資機材として活用されているが、1990年代から市販され始めたIMS検知器が現在ミリタリー用検知器の主流となっている<sup>20)</sup>。IMS検知器の原理は、吸引された化学剤が大気圧下で $\beta$ 線源によりイオン化を受け化学剤に特徴的な複数の複合イオン（水分子クラスターとの複合等）を形成し、電子シャッター部で瞬間的にドリフト領域（長さ数cm）に送られ、電荷がかかったドリフト領域（おおむね200V/cm）を数msでイオンの大きさに応じたイオン移動度（ion mobility）で移動しファラデーイオンプレートでのイオン検出までの時間、強度を測定して化学剤の種別と濃度を判定する<sup>21)~23)</sup>。イオン化を受けやすい神経ガス（有機リン系化合物）、爆発物（ニトロ化合物）の検出感度は高く、また連続的な瞬時検知が可能であり、装置的にもコンパクトであり衝撃にある程度耐えられ、理想的な携帯型危険物検知器と見なされている<sup>17)</sup>。最近、放射線源の使用規制を避けてイオン化にコロナ放電を採用した装置も製造されて<sup>24)</sup>。しかし、IMSの分離分解能は高くなく、物質同定性能には限界があり、現場検知運用に関してしばしば誤判定が起こる<sup>11)16)</sup>。また、化学剤の中でもイオン化を受けにくいびらん剤や血液剤は検出感度が低く、特に分子量の小さな血液剤等のIMS分離識別は困難であり、結果的に化学剤の検出感度は、神経ガス、びらん剤、血液剤の順となっている。これは、ほぼこれらの吸入毒性値<sup>1)</sup>と相関しており、毒性が高い神経ガスを高感度に測定でき、現実的である。検出原理が異なるアレイ型表面弾性波（SAW）検出器<sup>14)</sup>や質量分析計<sup>16)</sup>とは化学剤の間での検出感度の傾向が異なる。

本実験では、EnviroNics製<sup>18)</sup>のIMS型検知器ChemPro100について化学剤を用いて検知性能を検証した。本装置は、IMS検知器のなかでもAspiration型と称し、イオン移動時間を測定する代わりに、ドリフト領域にイオン化部からの距離が異なるセル（正負）を16個配列し、そのイオン検知パターンを解析して物質を識別するものである<sup>19)</sup>。著者らは既に、同社のIMS型検知器であるM90についてその性能を検証し、神経ガス及びびらん剤は正しく認識検知され、血液剤は検知されないという成績を得ている<sup>11)</sup>。

本論文では、SAW型検知器JCADの性能評価<sup>14)</sup>で行った化学剤ガスの調製方法である、化学剤の*n*-ヘキサン溶液の500mlガラス採取管内での気化操作を用いた。*n*-ヘキサンは、ChemPro100に対しては全く反応を示さなかった（Table 4）。500mlガラス採取管内での化学剤の吸着があり、低濃度（おおむね0.1mg/m<sup>3</sup>以下）の気化ガスの濃度保証は現実的に困難と思われる。特に、蒸気圧の低

い物質（VX等）は実際気化している割合が低いものと思われる。

また、化学剤は検知器の材質の表面（流路等）に吸着しやすく<sup>11)14)</sup>、IMS検知部分の検出性能を評価するために、吸入口のふた及び焼結フィルターを外した状態及び装着した状態で検知実験を実施した。更に化学剤気化ガスをChemPro100の吸引口に噴射する実験評価系<sup>14)</sup>を採用した。ChemPro100は吸引時に圧が負荷されると正常に作動しないので、直接センサー部分にガスを通気できない。本実験ではガスを吸入口に噴射し、定量的にガスが検知器に吸引されないという限界はあるが、検知結果は再現性の高いものであった（Table 1, 2）。

フィルターを外した場合（Table 1）、神経ガスはおおむね0.1mg/m<sup>3</sup>の濃度で“Nerve”と、びらん剤はおおむね数mg/m<sup>3</sup>の濃度で“Blister”と認識された。両化学剤群共に低濃度又は高濃度領域において一部誤判定（“Unknown chemical”）を示す場合も認められた。一方、フィルターを装着して測定をした場合には（Table 2）、検出感度は低下したが、これはフィルター部分への吸着が原因と思われる。屋外で使用するにはフィルターを装着して粉塵様の物質によるセンサー部の汚染を防がざるを得ない。実際の検知器の性能はフィルターを装着した場合の検知結果を反映するものである。

化学剤の擬剤に関しても検討したところ（Table 3）、有機リン系化合物は“Nerve”と認識された。リン酸系化合物はイオン化されると神経ガスと比較的類似したクラスターイオンを形成し、IMSにおいて“Nerve”と認識されるように識別プログラムを構築しているものと思われる。HD関連化合物はおおむね50%の割合で“Blister”と認識されたが、硫黄化合物もイオン化されるとHDと比較的類似したクラスターイオンを形成するものと思われる。窒息剤のPSガスは“Blister”と識別された。

血液剤に関しては（Table 1）、同系統の機種であるM90と同様<sup>11)</sup>、“Blood”の警報は示されず、ACガスに至っては全く警報がなかった。CKガスは高濃度において“Nerve”と誤判定を示した。本装置のイオン化には80 $\mu$ Ciの<sup>241</sup>Amが採用されているが、欧米での仕様は160 $\mu$ Ciであり、我が国の放射線取り扱ひの規制の関係上、密封型放射線源の届け出規制下限である100 $\mu$ Ciを下回る80 $\mu$ Ciを用いている。当然、本来の仕様と比較して放射線源は半減しており、イオン化能が低下し血液剤の検知が不可能となったことが考えられる。なお、ChemPro100の検出感度は、神経ガスに対しては0.05mg/m<sup>3</sup>以下、HDに対しては0.2mg/m<sup>3</sup>、L1に対しては0.01mg/m<sup>3</sup>、ACに対しては20mg/m<sup>3</sup>とカタログ上に記載されている<sup>19)</sup>。

有機溶媒の蒸気に対しては（Table 4）、蒸気圧の関係でその濃度にばらつきがあるが、大半が“Unknown

chemical”と識別された。例外として、エタノール, トルエン, クロロホルム, *N,N*-ジメチルホルムアミドが偽陽性を示した。偽陽性率は, 他の装置 M90<sup>11)</sup>, JCAD<sup>14)</sup>, 炎光光度検知器型の AP2C<sup>16)</sup> と比較して低いものであった。

GB, GD, GA, VX, HD, L1, AC 並びに CK の 1 分間吸入半数致死濃度は 70~100 mg/m<sup>3</sup>, 70~100 mg/m<sup>3</sup>, 200~400 mg/m<sup>3</sup>, 50 mg/m<sup>3</sup>, 1500 mg/m<sup>3</sup>, 1200~1500 mg/m<sup>3</sup>, 2000~4500 mg/m<sup>3</sup>, 11000 mg/m<sup>3</sup> であり<sup>1)</sup>, ChemPro100 の最低検知濃度は血液ガスを除いてこの半数致死濃度より十分低いものであり, 偽陽性反応も擬剤を除いて比較的少なく, 神経ガス及びびらん剤の検知に対しては現場で十分活用できると結論される。

## 文 献

- 1) C. E. Stewart, J. B. Sullivan, Jr.: “*Hazardous Materials Toxicology - Clinical Principles of Environmental Health*”, Edited by J. B. Sullivan, Jr., G. R. Krieger, p. 986 (1992), (Williams & Wilkins, Baltimore).
- 2) S. M. Somani (Ed.): “*Chemical Warfare Agents*”, (1992), (Academic Press, San Diego).
- 3) 生物化学テロ災害対処研究会: “必携 生物化学テロ対処ハンドブック”, (2003), (診断と治療社).
- 4) Organization for the Prohibition of Chemical Weapons: Chemical weapon convention. <http://www.opcw.org>.
- 5) 経済産業省: 化学兵器禁止法の概要 [http://www.meti.go.jp/policy/chemical\\_management/cwc/200kokunai/202horitu\\_gaiyo.htm](http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/cwc/200kokunai/202horitu_gaiyo.htm).
- 6) 警察庁: 警察白書, 平成 7 年, 8 年.
- 7) Y. Seto, N. Tsunoda, M. Kataoka, K. Tsuge, T. Nagano: “*Natural and Selected Synthetic Toxins - Biological Implications*”, Edited by A. T. Tu, W. Gaffield, p. 318 (2000), (American Chemical Society, Washington, DC.).
- 8) 内閣官房副長官補付: NBC テロ対策の推進について, 平成 13 年 4 月 18 日, <http://www.kantei.go.jp/jp/kikikanri/nbc/index.html>.
- 9) J. P. Fittch, E. Raber, D. R. Imbro: *Science*, **302**, 1350 (2003).
- 10) 糸井輝雄, 片岡美江子, 瀬戸康雄, 川原一芳, 飯島潤一: 鑑識科学, **9**, 9 (2004).
- 11) 瀬戸康雄, 井浦一光, 糸井輝雄, 柘浩一郎, 片岡美江子: 鑑識科学, **9**, 39 (2004).
- 12) K. Iura, K. Tsuge, Y. Seto, A. Sato: *Jpn. J. Forensic Toxicol.*, **22**, 13 (2004).
- 13) Y. Fujinami, M. Kataoka, K. Matsushita, H. Sekiguchi, T. Itoi, K. Tsuge, Y. Seto: *J. Health Sci.*, **50**, 126 (2004).
- 14) 松下浩二, 関口裕之, 瀬戸康雄: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **54**, 83 (2005).
- 15) K. Tsuge, I. Ohsawa, K. Matsushita, H. Sekiguchi, Y. Seto, A. Sato: *Jpn. J. Forensic Toxicol.*, **23**, 18 (2005).
- 16) Y. Seto, M. Kanamori-Kataoka, K. Tsuge, I. Ohsawa, K. Matsushita, H. Sekiguchi, T. Itoi, K. Iura, Y. Sano, S. Yamashiro: *Sens. Actuat. B*, **108**, 193 (2005).
- 17) G. A. Iceinan, J. A. Stone: *Anal. Chem.*, **76**, 390A (2004).
- 18) Environics: Personal protection. <http://www.environics.fi/>.
- 19) Environics: ChemPro100 技術資料. 23.01.2002.
- 20) R. Fanney (Ed.): “*Jane’s Chem-Bio Handbook*”, 2nd ed., Ch. 8.1, (2003), (Jane’s Information Group, Surrey).
- 21) F. W. Karasek: *Anal. Chem.*, **46**, 710A (1974).
- 22) H. H. Hill, Jr., W. F. Siems, R. H. St. Louis: *Anal. Chem.*, **62**, 1201A (1990).
- 23) R. H. St. Louis, H. H. Hill, Jr.: *Crit. Rev. Anal. Chem.*, **21**, 321 (1990).
- 24) K. Cottingham: *Anal. Chem.*, **75**, 435A (2003).