

第3回 Spring-8 安全安心のための分析評価研究会

最近のテロ対策について 特に、生物化学剤の現場検知技術開発

科学警察研究所 ・ 法科学第三部
部付主任研究官
瀬戸康雄

平成22年10月8日
東京理科大学・森戸記念館



大規模テロ災害事例

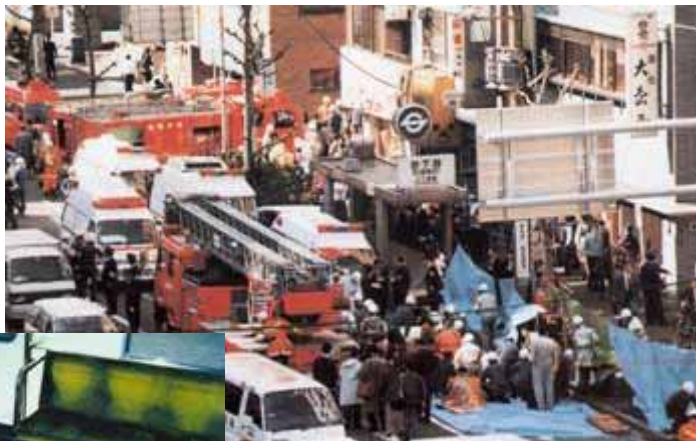
- 1984 インドボパール工場事故 メチルイソシアネート
2,000 名以上死亡
- 1986 カメルーンニオス湖 二酸化炭素 1,700 名以上死亡
- 1986 チェルノブイリ原発事故 放射性物質 31 名死亡（直後）
- 1995 阪神淡路 大地震 5,000 名以上死亡
- 1995 東京地下鉄 サリン 12 名死亡 5,000 名以上負傷
- 1995 オクラホマ連邦ビル 爆破 168 名死亡
- 1999 東海村臨界事故 中性子 3 名被爆 2 名死亡
- 2001 合衆国 航空機 6,000 名以上死亡
- 2001 合衆国 炭疽菌 4 名死亡 17 名感染
- 2003 韓国テグ市地下鉄 放火 196 名死亡
- 2005 ロンドン同時爆破テロ 56 人死亡

CBRN テロ事案の情勢

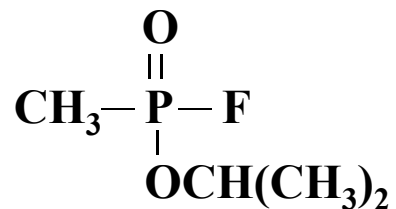
- **化学兵器テロの現実性**
 - 松本、東京地下鉄サリン事件
 - 化学兵器禁止条約（化学兵器は全世界に拡散）
- **生物兵器テロ発生への脅威**
 - ソ連で製造・開発、崩壊後生物剤・技術流出
 - 新興再興感染症の集団発生
 - オウム真理教は、炭疽・ボツリヌス菌散布（未遂）
 - イラク、北朝鮮でミサイル開発
 - 右翼過激派リシン130 g所持（1993 米）
 - 郵便物炭疽菌感染（2001 米）
 - リシン所持発覚（2002 英、2003 仏）
 - リシン郵便物事件（2004 米）
- **核（テロ）事案発生への可能性**
 - 東海村臨界事故（原子力安全神話の崩壊）
 - 汚い爆弾
 - ポロニウム中毒（2006 英）

生物化学テロ

地下鉄サリン事件



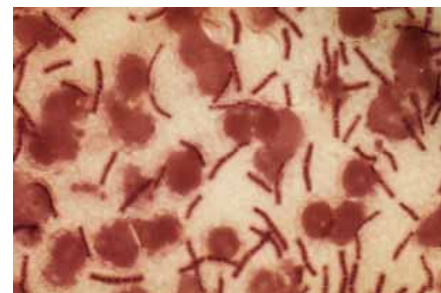
1995.3.20 午前 8 時
東京営団地下鉄 5 車両内
12 名死亡、5,000 名以上負傷
サリンバック (約 3 kg サリン)



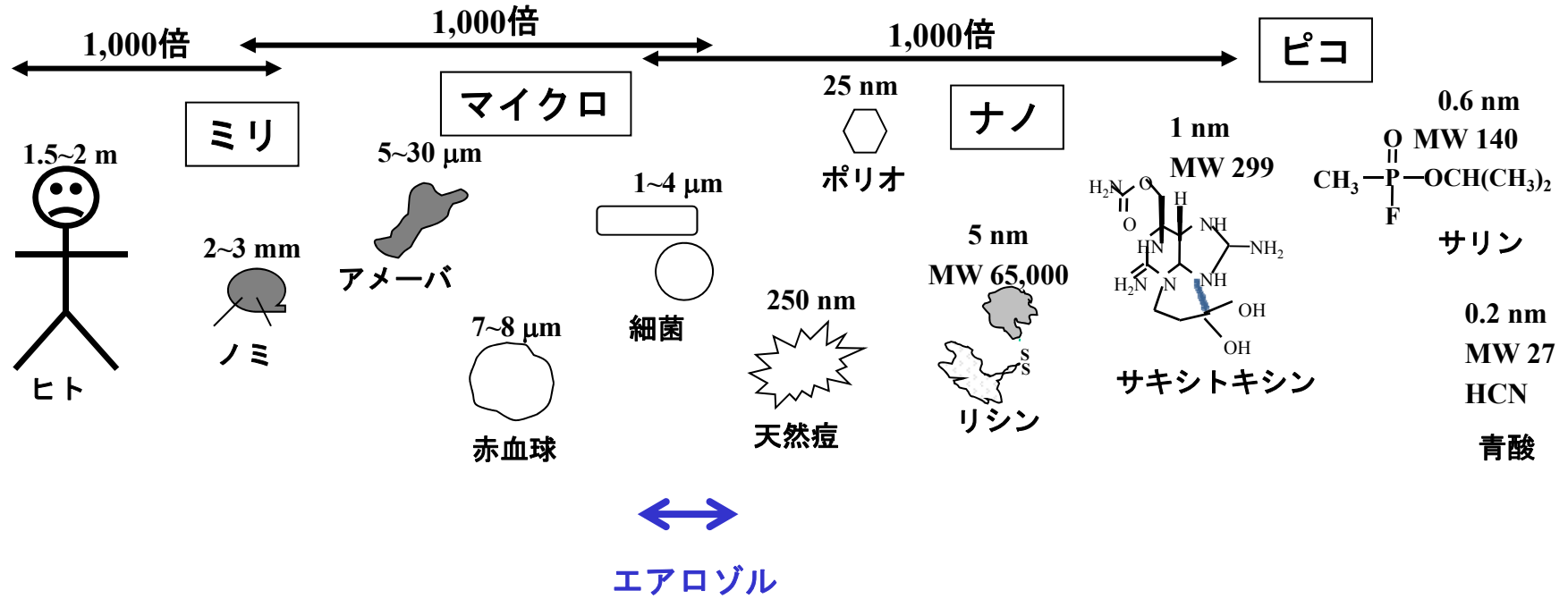
郵便物炭疽菌事件



2001.10
米国東海岸
5 名死亡、17 名負傷
封筒内炭疽菌芽胞



生物化学剤の大きさ



化学剤の構造と性質 (1)

(A) 血液剤

Cyanogen chloride (CK)	Hydrogen cyanide (AC)	Arsine (SA)
CNCl	HCN	AsH_3
蒸発度: $3 \times 10^6 \text{ mg/m}^3$ LCt ₅₀ : $11,000 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 即効性	$9 \times 10^5 \text{ mg/m}^3$ $4,500 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 即効性	$5 \times 10^8 \text{ mg/m}^3$ $5,000 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 即効性

(B) 窒息剤

Phosgene (CG)	Chlorine (CL)	Chloropicrin (PS)
COCl_2	Cl_2	CNO_2Cl_3
蒸発度: $6 \times 10^6 \text{ mg/m}^3$ LCt ₅₀ : $3,200 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 遅効性	$1.9 \times 10^7 \text{ mg/m}^3$ $19,000 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 速効性	$1.7 \times 10^5 \text{ mg/m}^3$ $2,000 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 速効性

(C) 神経ガス

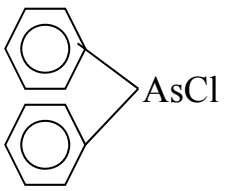
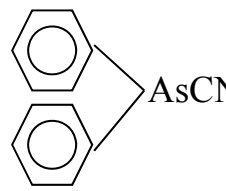
Sarin (GB)	Tabun (GA)	Soman (GD)	VX
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 - \text{P} - \text{F} \\ \\ \text{OCH}(\text{CH}_3)_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C}_2\text{H}_5\text{OP} - \text{CN} \\ \\ \text{N}(\text{CH}_3)_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 - \text{P} - \text{F} \\ \\ \text{OCHC}(\text{CH}_3)_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 - \text{P} - \text{SCH}_2\text{CH}_2\text{N} \\ \qquad \qquad \qquad / \quad \backslash \\ \text{OC}_2\text{H}_5 \qquad \qquad \text{CH}(\text{CH}_3)_2 \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{CH}(\text{CH}_3)_2 \end{array}$
蒸発度: $23,000 \text{ mg/m}^3$ LCt ₅₀ : $150 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 速効性	560 mg/m^3 $300 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 速効性	$2,000 \text{ mg/m}^3$ $60 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 速効性	1.6 mg/m^3 $40 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 速効性

化学剤の構造と性質 (2)

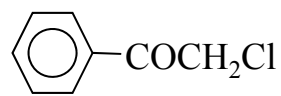
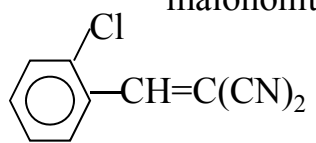
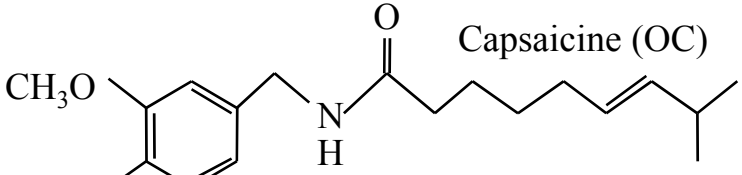
(D) びらん剤

Mustard gas (HD)	Lewisite 1 (L1)	Nitrogen mustard
$(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{S}$	$\text{ClCH}=\text{CHAsCl}_2$	HN-1 $(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{NC}_2\text{H}_5$
蒸発度: 600 mg/m^3 LCt ₅₀ : $1,500 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 遅効性	4,500 mg/m^3 1,500 $\text{mg} \cdot \text{min/m}^3$ 即効性	HN-2 $(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{NCH}_3$
		HN-3 $(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$
		130 ~ 1,100 mg/m^3 1,500 ~ 3,000 $\text{mg} \cdot \text{min/m}^3$ 遅効性

(E) くしゃみ剤

Diphenylchloroarsine (DA)	Diphenylcyanoarsine (DC)
	
AsCl	AsCN
蒸発度: 0.68 mg/m^3 LCt ₅₀ : $15,000 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 即効性	2.8 mg/m^3 $10,000 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 即効性

(F) 催涙剤

2-Chloroacetophenone (CN) 	o-Chlorobenzylidene malononitrile (CS) 	Capsaicine (OC) 
蒸発度: 34 mg/m^3 LCt ₅₀ : $7,000 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 即効性	0.71 mg/m^3 $61,000 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 即効性	$13,000 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$ 即効性

化学剤種、試料と分析可能性

	現場検知		環境試料分析		生体試料分析		
	大気	吸着	化学剤	分解物	化学剤	代謝物	アダクト
COCl ₂	各種 検知器	×	×		×		LC-MS (アルブミン)
HCN	各種 検知器	×	HS-GC		HS-GC		
CNCl/ AH ₃	各種 検知器	×	×		×		
神経ガス	IMS	Tenax / GC-MS	GC-MS	der. GC-MS LC-MS	×	der. GC-MS LC-MS	LC-MS GC-MS (ChE)
HD	IMS	Tenax / GC-MS	GC-MS	der. GC-MS LC-MS	×	der. GC-MS LC-MS	LC-MS (Hb)
HN	IMS	Tenax / GC-MS	GC-MS	der. GC-MS LC-MS		der. GC-MS LC-MS	
L1	IMS	Dithiol / der. GC- MS	GC-MS	der. GC-MS	×	der. GC-MS LC-MS	
くしゃみ 剤	APCI-MS	Thiol / der. GC-MS	GC-MS	LC-ICP/MS LC-MS	×	LC-ICP/MS LC-MS	
催涙剤	APCI-MS	Tenax / GC-MS	GC-MS				

揮発性化学剤の実験室分析



現場採証



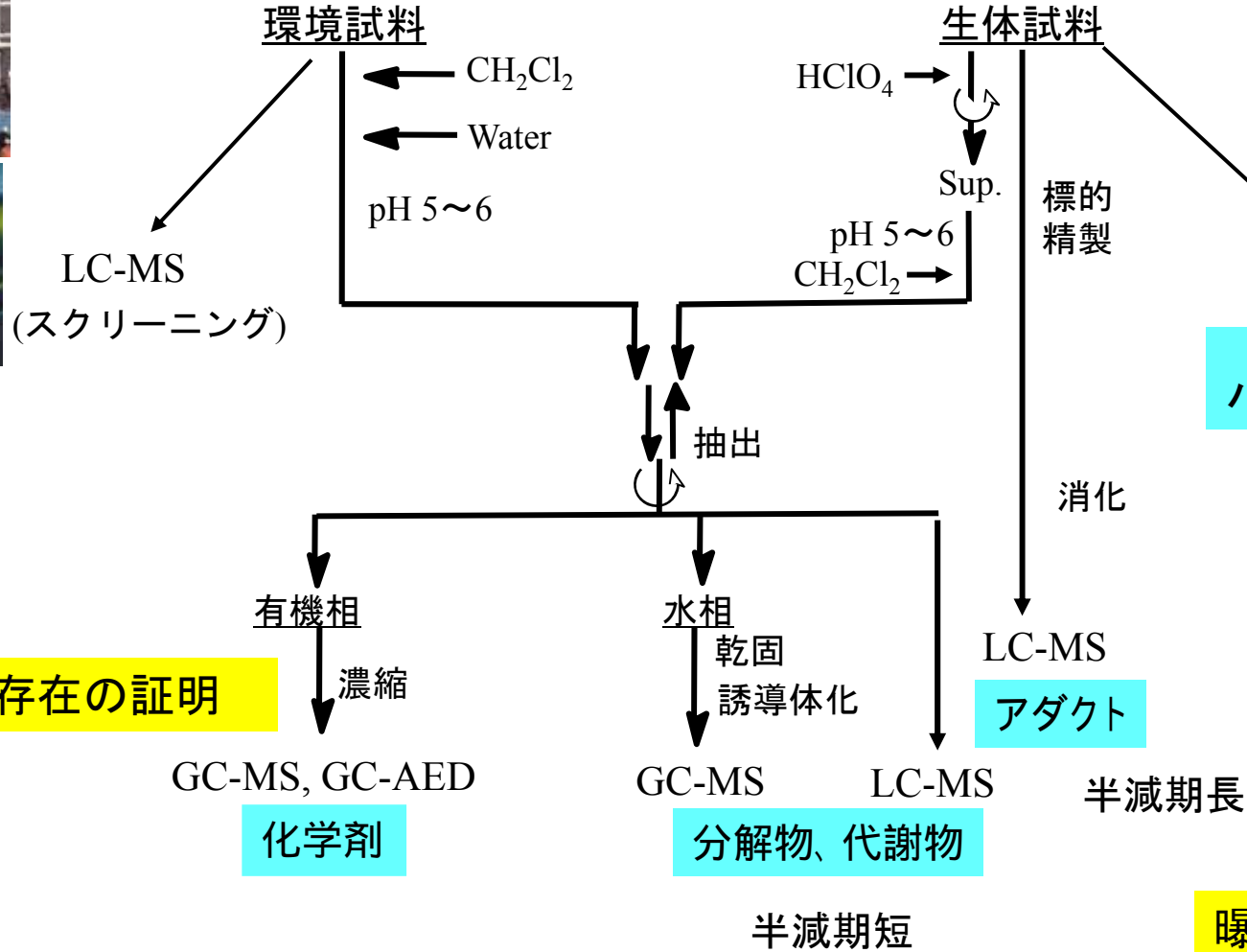
輸送



前処理
(ドラフト)

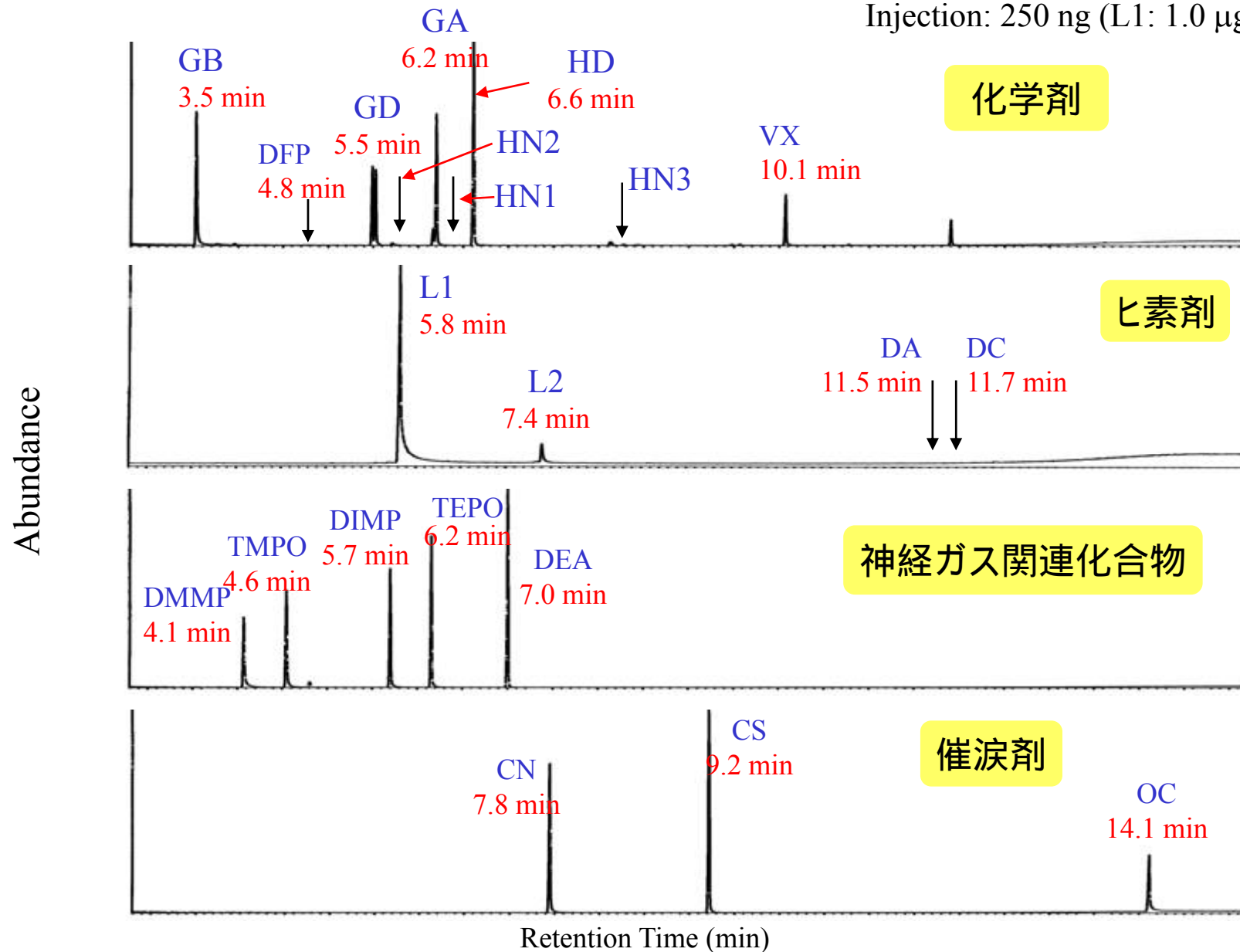


GC-MS
 HP-5ms (0.25 mm × 30 m, thickness 0.25 μm)
 40 (1 min) → 20 /min → 290 (5 min)
 He 0.7 ml/min, Inj. temp. 250, Split 50:1
 MS: scan m/z 40~320
 electron ionization (EI, 70 eV, 60 μA)
 methane chemical ionization (CI) positive, negative

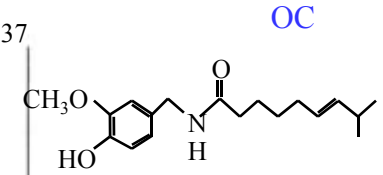
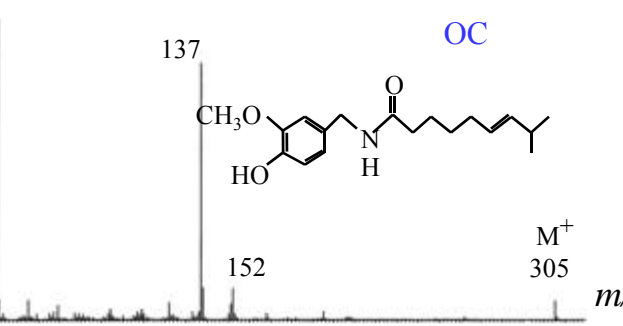
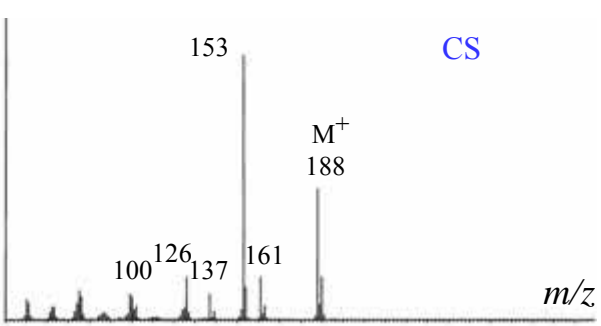
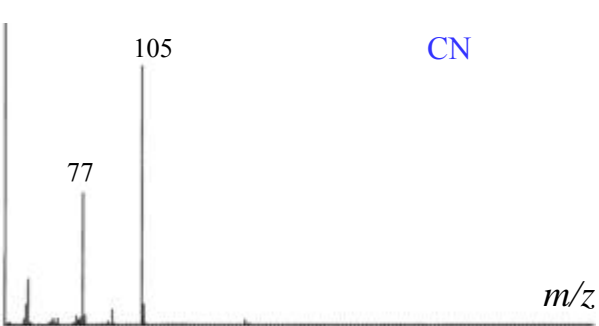
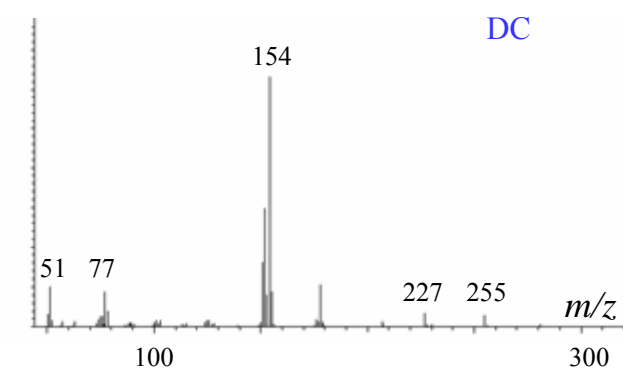
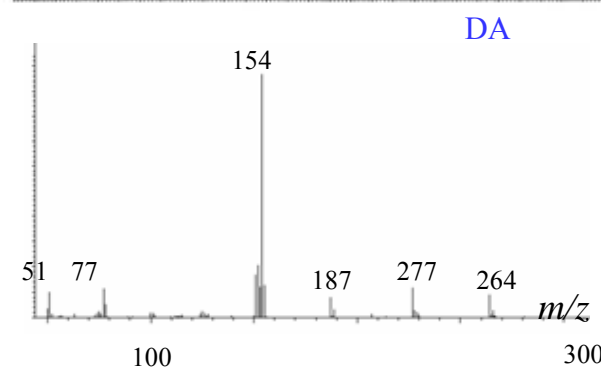
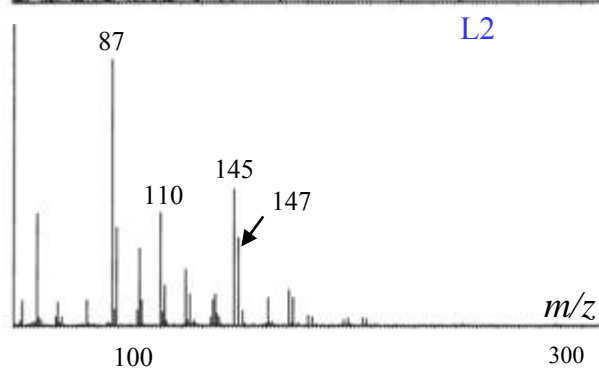
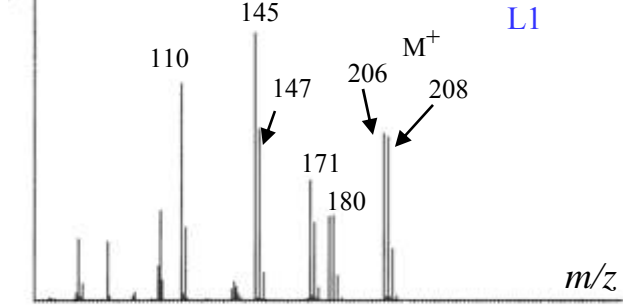
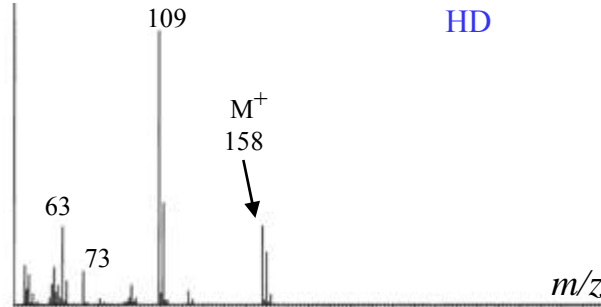
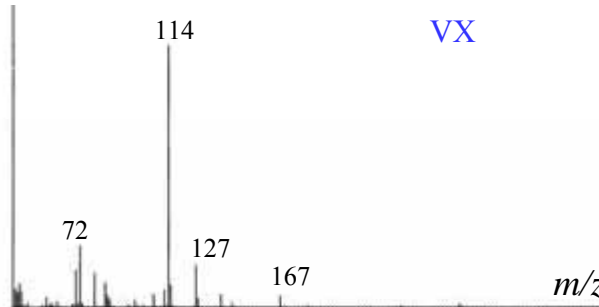
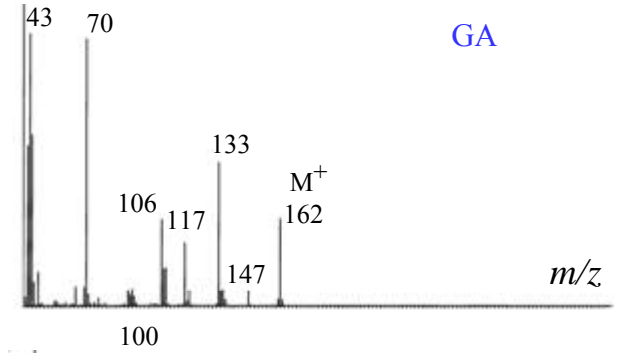
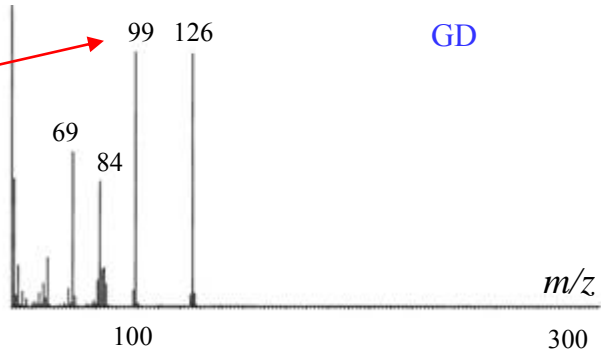
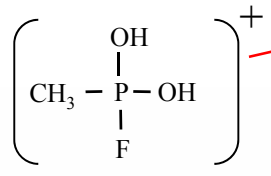
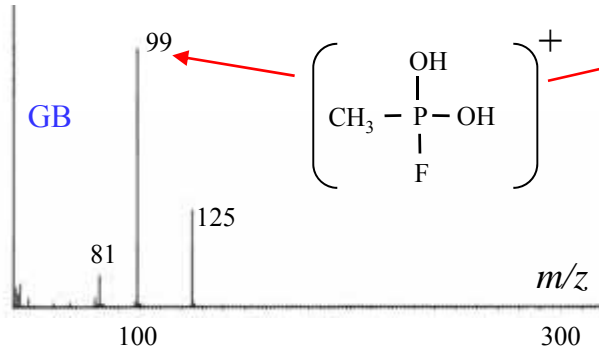


HP-5MS カラムでの全イオンクロマトグラム

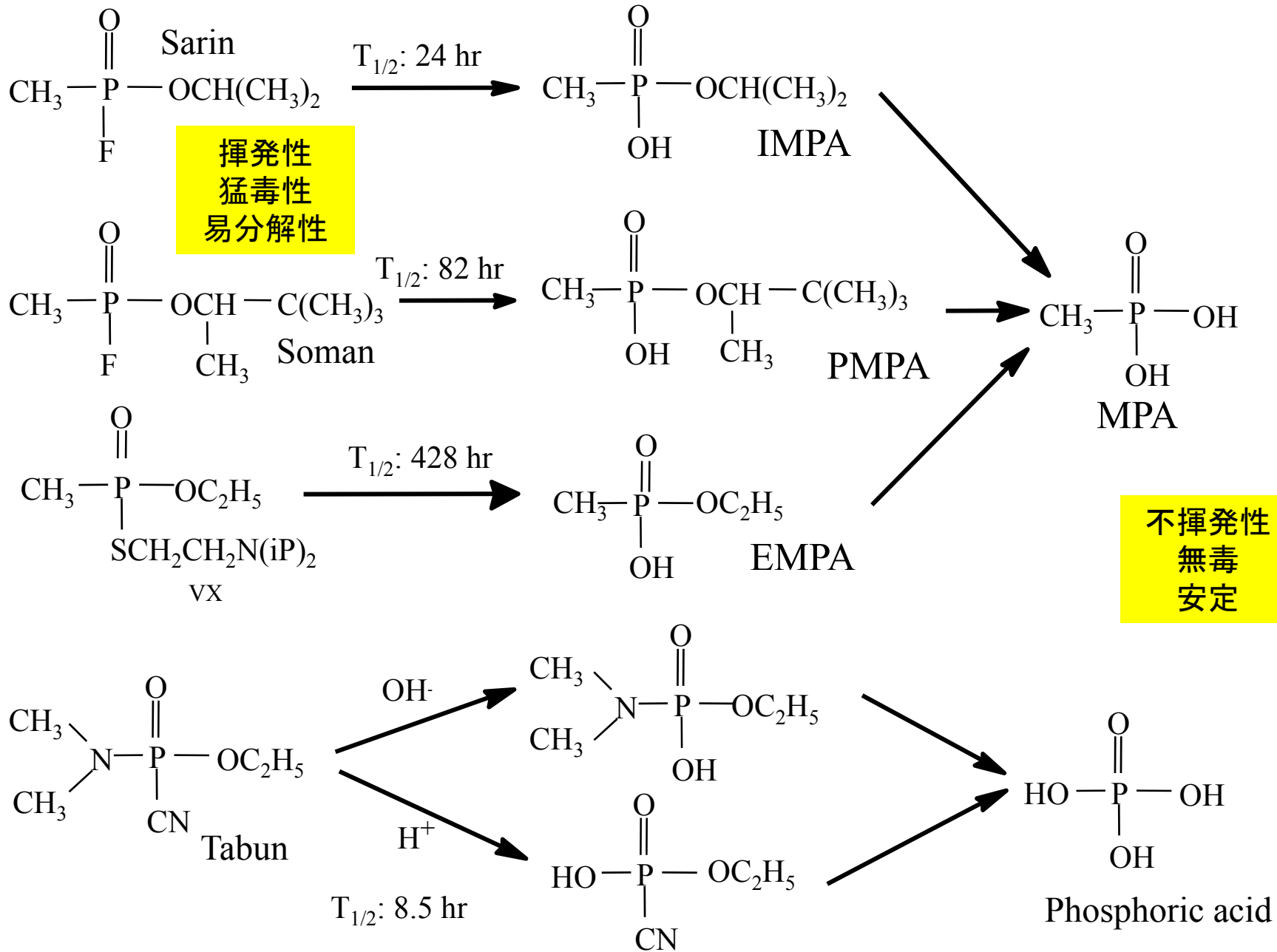
Injection: 250 ng (L1: 1.0 µg)



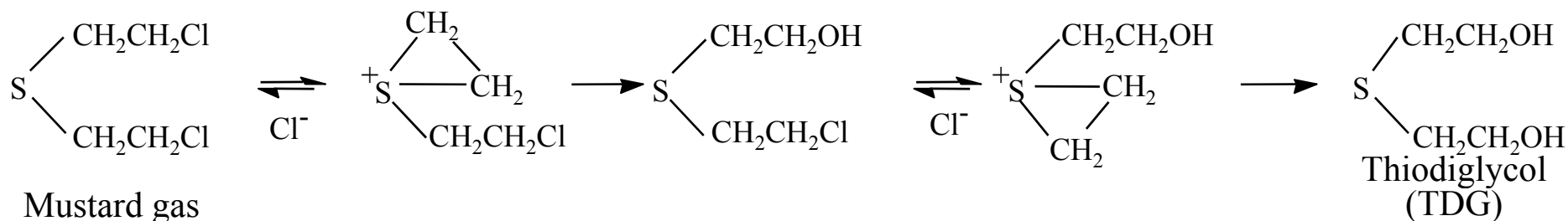
EI 質量スペクトル



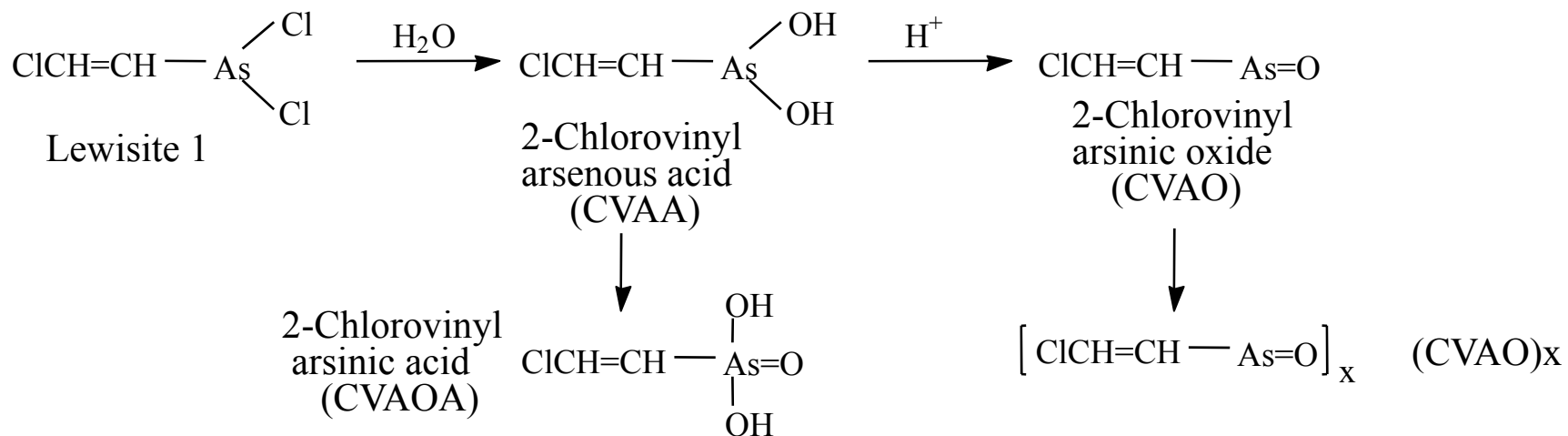
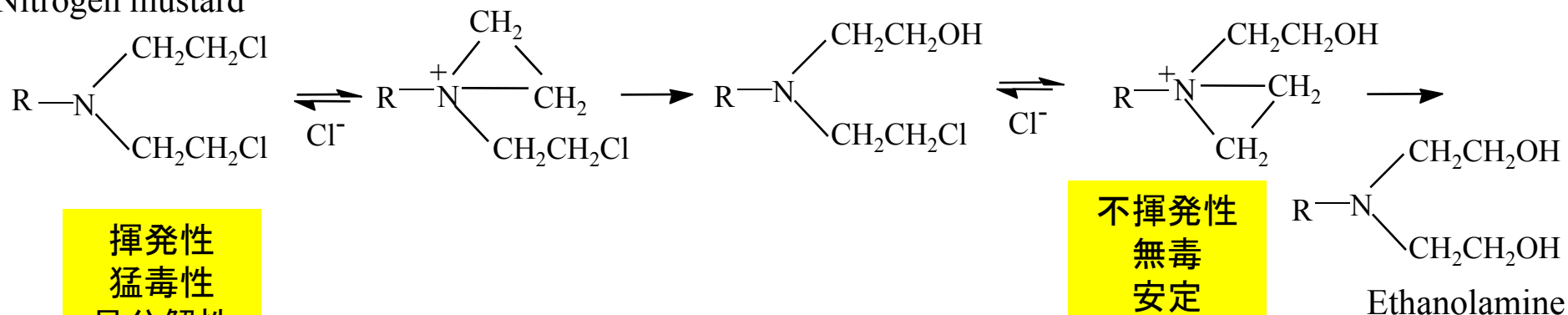
神経ガスの加水分解



びらん剤の加水分解

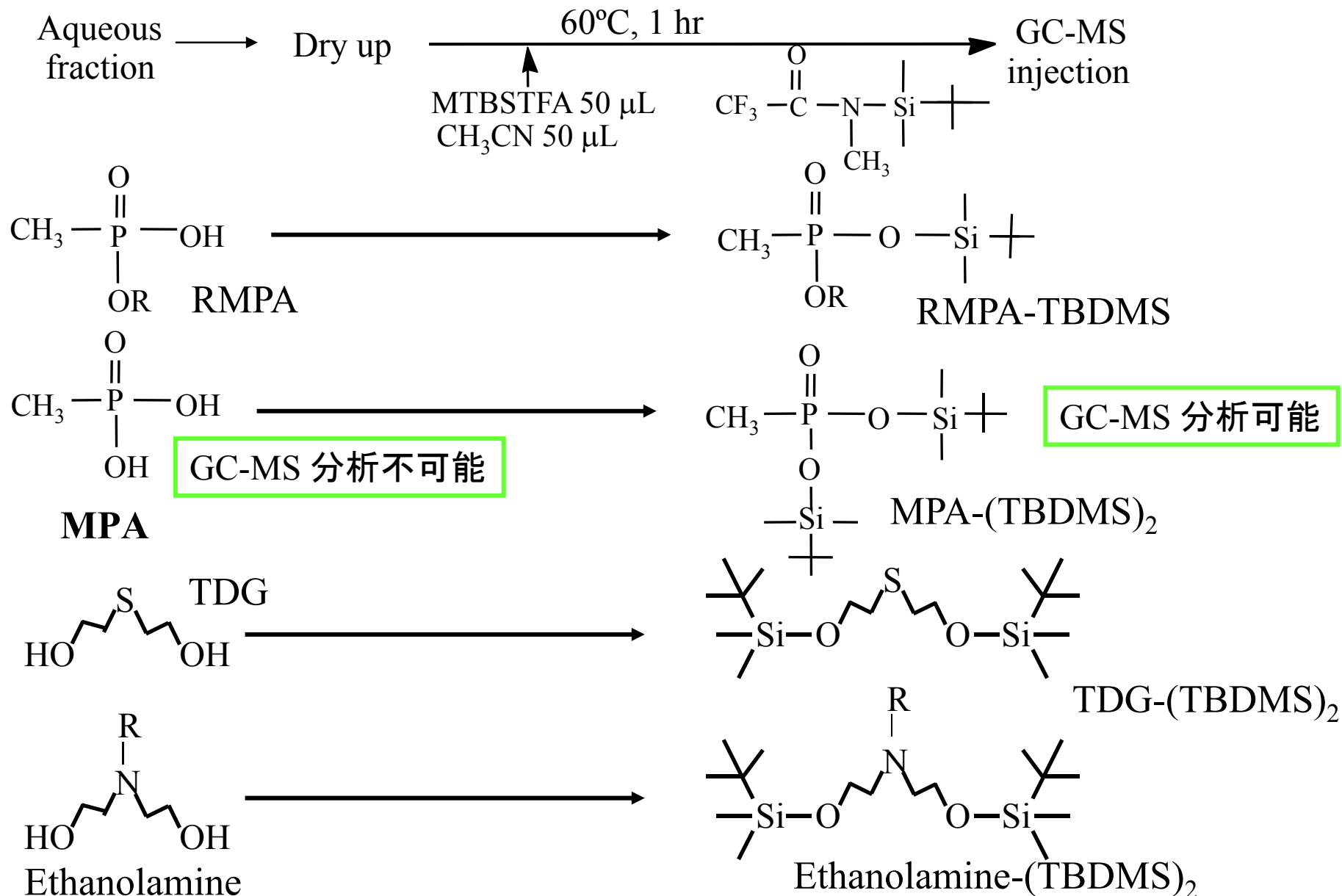


Nitrogen mustard

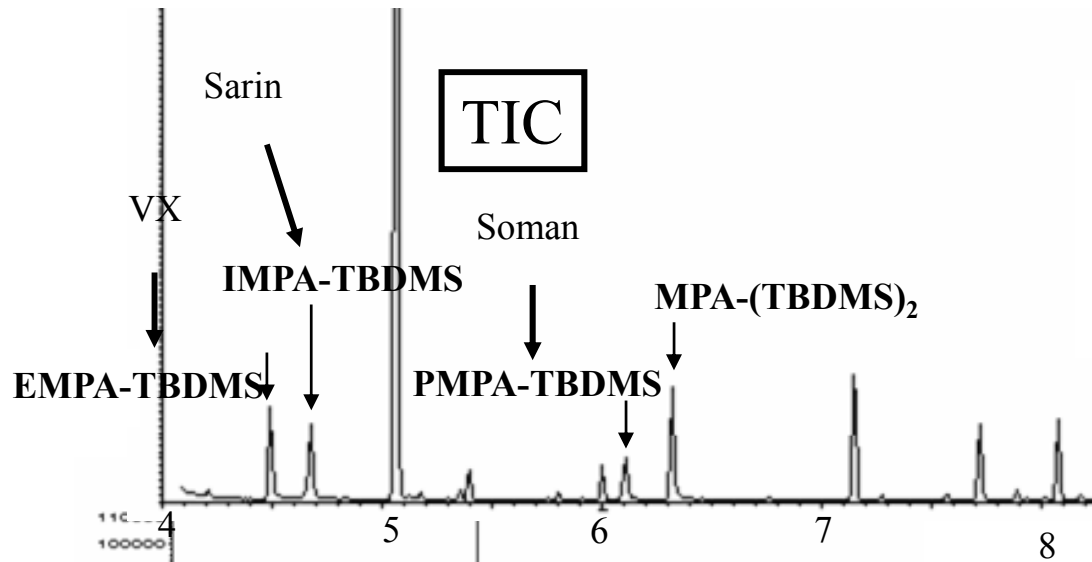


化学剤分解物の *tert*-Butyldimethylsilyl 誘導体化

利点：操作簡便、特徴的質量スペクトル、高ピーク分解能、高安定性



化学剤分解物の tert ブチルジメチルシリル誘導体化 GC-MS



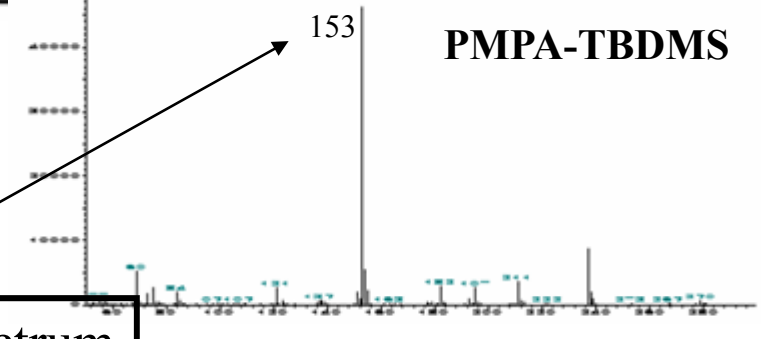
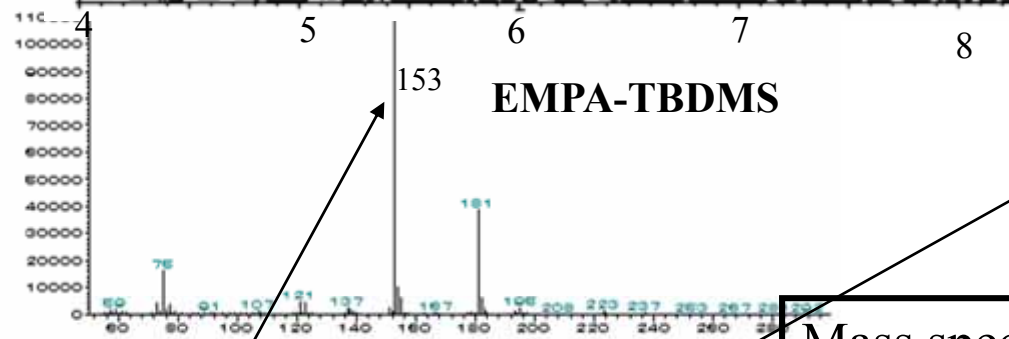
HP6980-5973B GC-MS

HP-5ms (0.25 mm × 30 m, 0.25 μm thick)

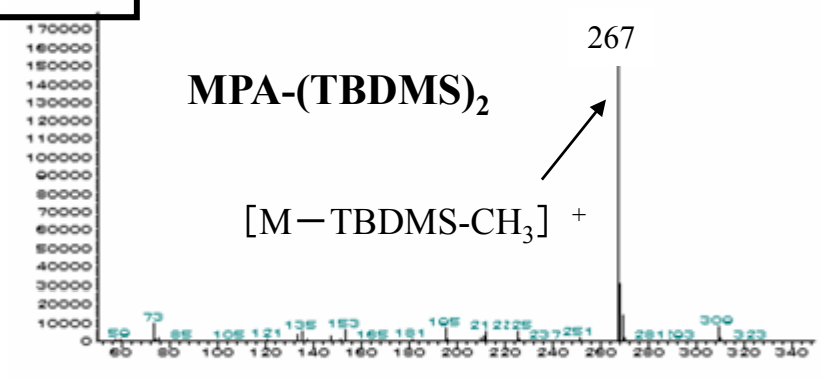
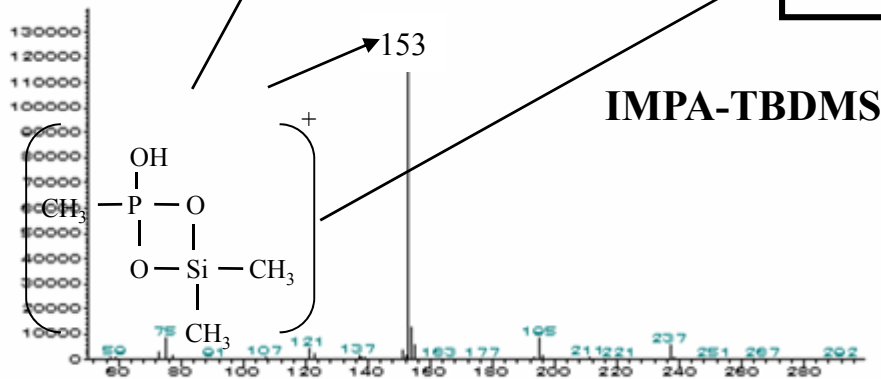
90 (1 min) → 20 /min → 290

He 0.64 mL/min, Split 30:1, 200

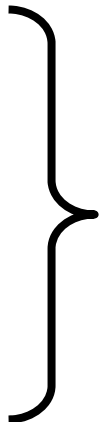
MS: 40~550, electron ionization (70 eV, 60 μA)



Mass spectrum



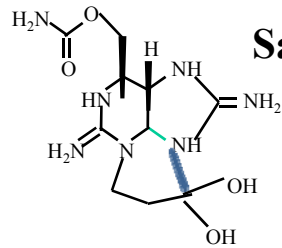
脅威の生物兵器

- 毒素
ボツリヌス
ブドウ球菌エンテロトキシン B
 - 細菌
 - Gram (+) 炭疽菌（孢子）
 - Gram (-) ペスト、ブルセラ、野兔病
 - リケッチア Q 熱
 - ウィルス 天然痘、エボラ出血熱
- 
- 増殖

化学兵器 Toxin

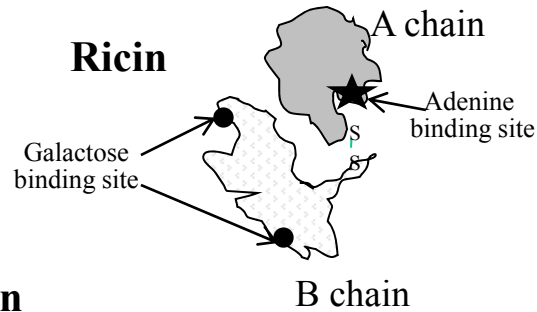
- 毒素
リシン
サキシトキシン

生物毒素



Saxitoxin

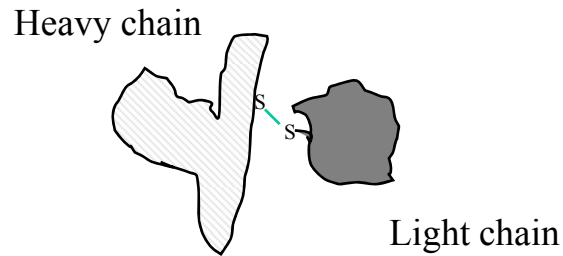
M.W.: 299
polar
Na⁺ channel blocker



Ricin

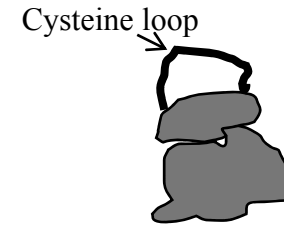
heterodimer
A chain: 267 amino acids, 1 oligosugar
ribonuclease
B chain: 262 amino acids, 2 oligosugars
galactose binding lectin
M.W.: about 65,000

Botulinum toxin



heterodimer
Heavy chain: 100-kDa
receptor binding domain
Light chain: 50-kDa
Zn⁺⁺ endopeptidase

Staphylococcal enterotoxin B



monomer
239 amino acids, M.W.: 27.5 kDa
super antigen
(binding to MHC molecule and
cross-link to Vβ chain)

リシン（蛋白性毒素）の分析法

- 現場検知・簡易検査
 - 抗原－抗体反応
 - Lateral Flow Immunoassay
 - ラボ ELISA 法（LOD: サブ ng/mL）
 - バイオセンサー
 - 生化学的検査（PAGE, LC, CE）
- ラボ特定化
 - アミノ酸配列・翻訳後修飾解明（裁判化学的に不可能）
 - 生化学的検査（Western blotting）
 - 活性測定（ribonuclease）
 - 直接 MS（LC-ESI-MS, MALDI-TOF-MS）
 - 消化ペプチド LC-MS

リシンは**化学兵器禁止法**で特定物質に指定：所持、使用の禁止

SDS-PAGE

分離ゲル：10% ポリアクリルアミド (kDa)
 0.1% SDS, 0.3 M Tris-HCl (pH 8.8)
 濃縮ゲル：4% ポリアクリルアミド
 0.1% SDS, 0.13 M Tris-HCl (pH 6.8)
 泳動バッファー：0.1% SDS, 25 mM Tris
 192 mM グリシン
 染色：0.1% CBB, 10% 酢酸, 30% メタノール
 試料処理：80 °C, 10 min in 泳動バッファー

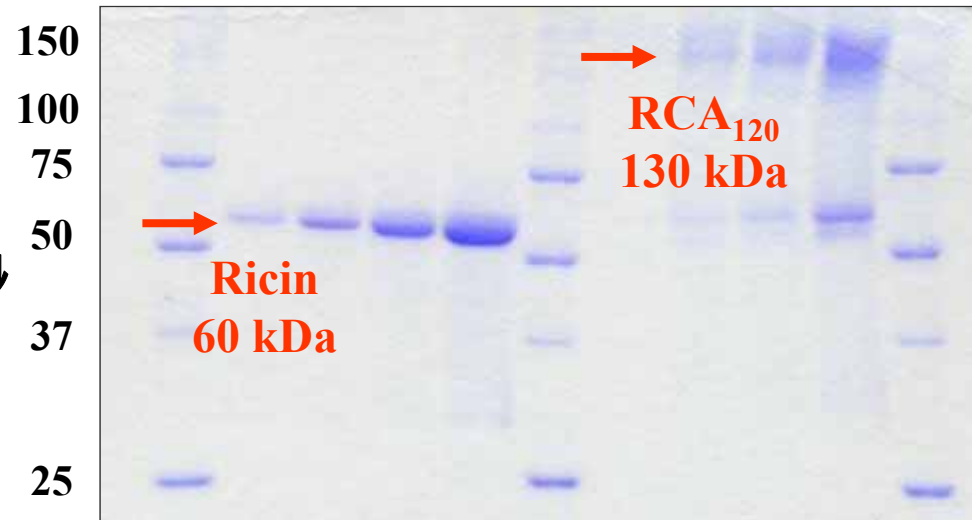
Lane

1, 6, 11: 分子量マーカー
 2 ~ 5: Ricin (1, 2.5, 5, 10 μg)
 7 ~ 10: RCA₁₂₀ (1, 2.5, 5 μg)

RCA₁₂₀ :

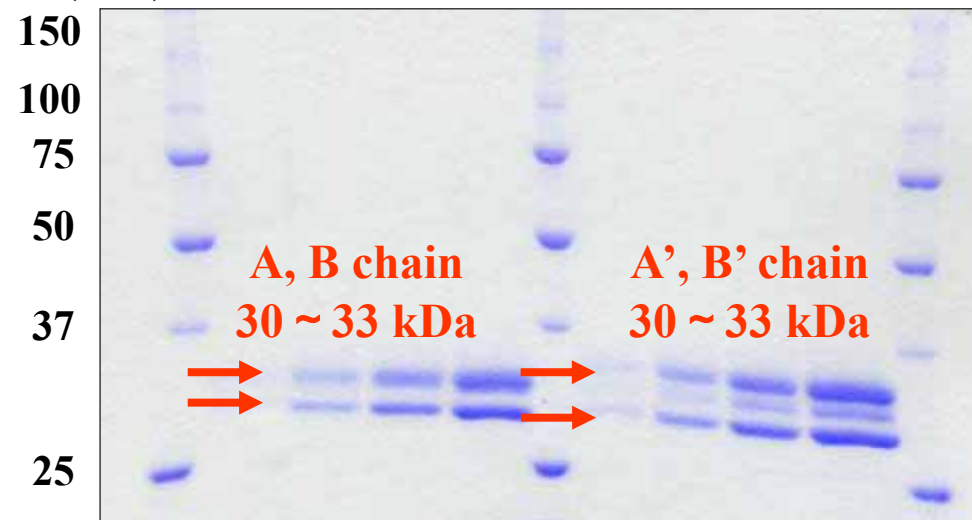
Ricinus communis agglutinin
 トウゴマに含有されるレクチン
 リシンに構造的に類似
 (A'B')₂

(kDa) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11



未処理

(kDa)



2-ME
処理

リシンの質量分析

LC: Zorbax SB C18 300A (150 × 0.5 mm, 5 μm),
elution by 2.0% (2 min) to 80% CH₃CN in 0.1%
HCOOH aq by 20 min, 20 μL/min, 40 ,
0.5 μL injection

MS1: Trap, m/z 80~1800, positive,
electrospray ionization (capillary +3.5 kV,
nebulizer N₂ 20 psi, dry gas N₂ 8.0 L/min 300)

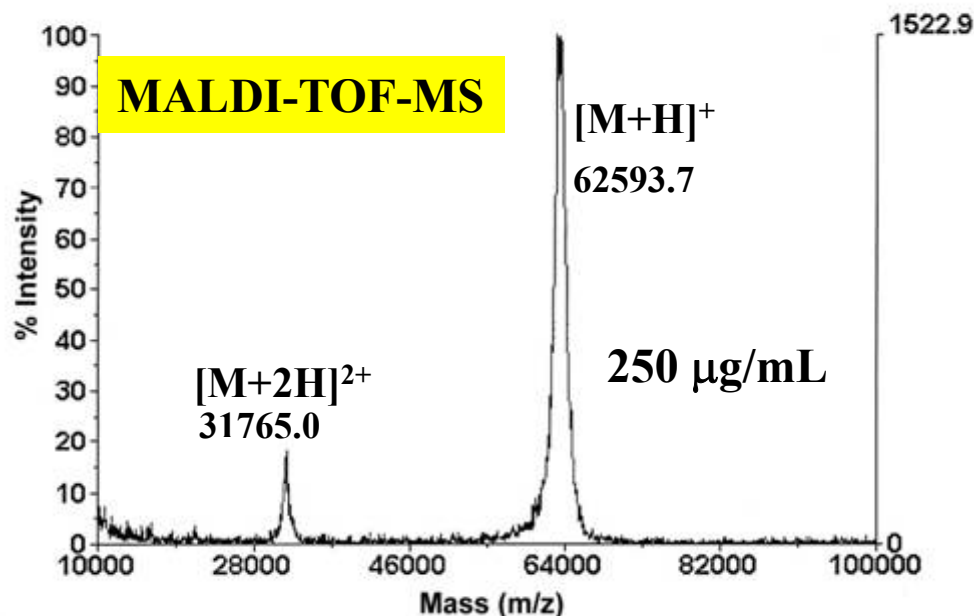
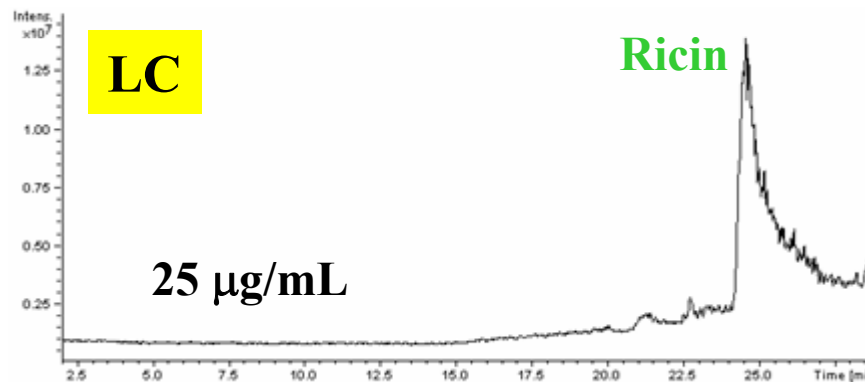
MS2: MALDI-TOF-MS, linear, positive,
 m/z 2,000~100,000, accelerating 25 kV, delayed
extraction 750 nsec, matrix: 5.0 mg/mL sinapinic
acid (CH₃CN-aq 1:3))

分子イオン推定

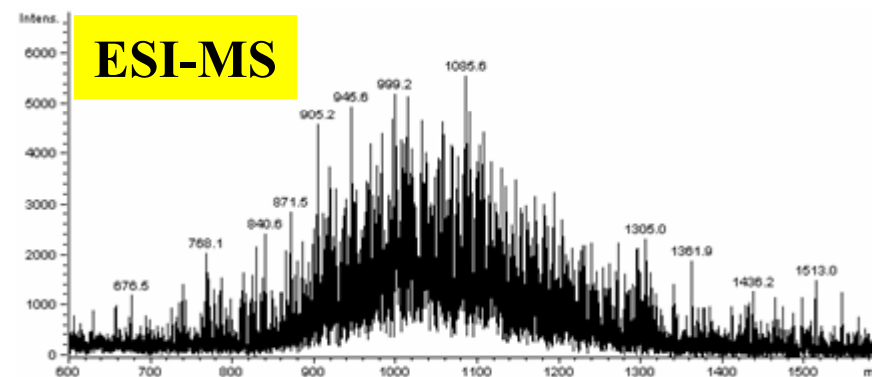
高分子量領域での分解能低

LOD: 20 μg/mL

ピーク分解能低



糖鎖ヘテロ、同位体ヘテロ



Toxinの分子量とMS分解能

従来の裁判化学の対象

MW 100 1,000 10,000 100,000

Alkaloid, amine
steroid

polyether

peptide

protein

GC-MS

揮発性、誘導体化

MALDI-TOF-MS

難揮発性・高分子

LC-MS

水溶性

APCI

ESI (多価イオン)

物質として完全証明
monoisotopic ion
fragmentation

類縁体
S-S 結合の存在

立体構造
修飾(糖鎖)
relative molecular mass

MSの分解能の限界

同位体の影響

消化して断片化

蛋白性毒素

この当たりのイオンをはかる

リシンの消化物 LC-MS

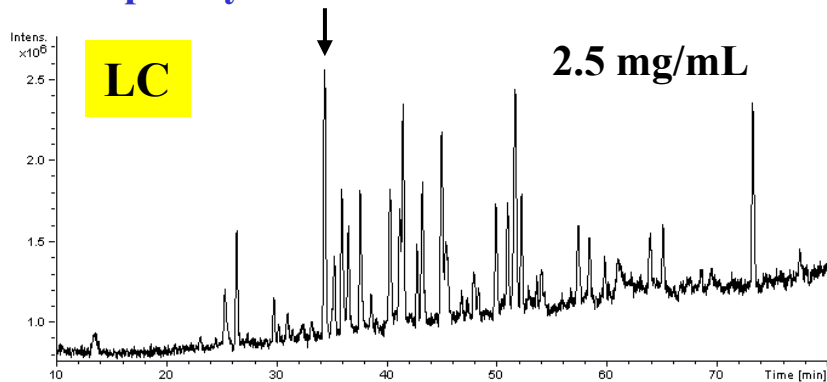
Ricin, trypsin digest denatured

reduced alkylated:

5.2 M Guanidine-HCl, 0.25% DTT,
0.6% ICH₂COOH, pH 8.5, 2.5 hr, room temp.
5.0 µg/mL Trypsin, pH 8.1, 37 °C, 24 hr

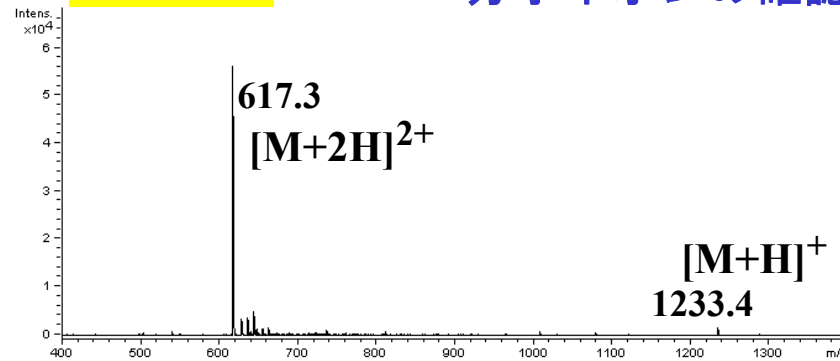
LC: Zorbax SB C18 300A
(150 × 0.5 mm, 5µm),
elution by 1.0% to 71% CH₃CN
in 0.05 % CF₃COOH aq by 105 min,
10 µL/min, 40 °C, 1 µL injection
MS: Trap, m/z 80~1,800, positive,
electrospray ionization (capillary
+3.0 kV, nebulizer N₂ 20 psi, dry gas
N₂ 5.0 L/min, 300 °C)

Capillary LC : ピーク分解能高



ESI-MS

分子イオンの確認

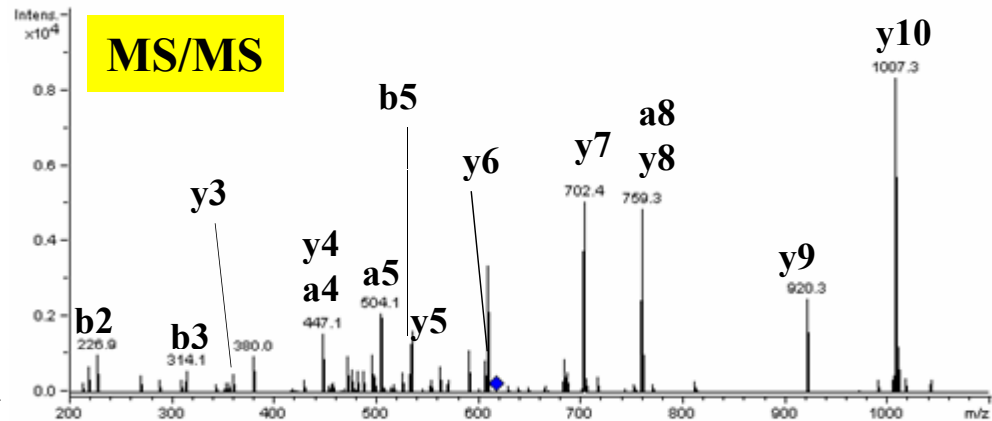


B chain

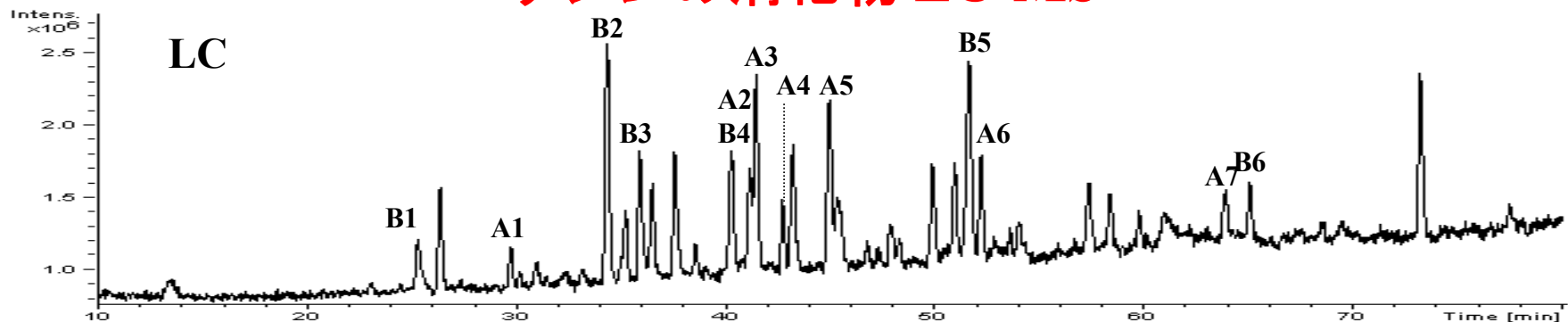
214 Ile-Leu-Ser-Cys-Gly-Pro-Ala-Ser-Ser-Gly-Gln-Arg 225

*ペプチドのシーケンシング

MS/MS



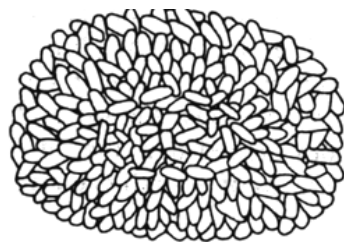
リシンの消化物 LC-MS



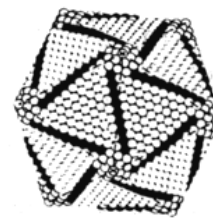
peptide	observed	calculated	Sequence
A1	416.7	831.4	32 LTTGADVR 39
A3	537.8	1073.6	40 HEIPVLPNR 48
A2	448.7	895.5	49 VGLPINQR 54
A7	820.3	1638.8	167 SFHICIQMISEAAR 180
A4	586.8	1171.5	181 FQYIEGEMR 189
A6	864.9	1727.9	198 SAPDPSVITLENSWGR 213
A5	1130.0	2258.2	214 LSTAIQESNQGAFASPIQLQR 234
B4	467.2	932.3	17 NGLCVDVR 24
B5	793.3	1584.8	28 FHNGNAIQLWPCK 40
B3	648.2	1294.6	188 DNCLTSDSNIR 198
B2	617.3	1232.6	204 ILSCGPASSGQR 215
B6	931.4	1861.0	220 NDGTILNLYSGLVLDVR 236
B1	359.2	716.4	237 ASDPSLK 243

ウイルスの形態

痘瘡



Poxviridae



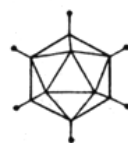
Iridoviridae

ポリオーマ

ヘルペス



Herpesviridae



Adenoviridae



Papovaviridae



Parvoviridae

インフルエンザ

DNA VIRUSES

エイズ

麻疹



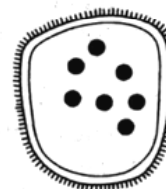
Paramyxoviridae



Orthomyxoviridae



Coronaviridae



Arenaviridae



Retroviridae

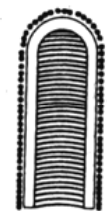
サース



Reoviridae



Picornaviridae



Rhabdoviridae



Orbivirus



Togaviridae



Bunyaviridae

ポリオ

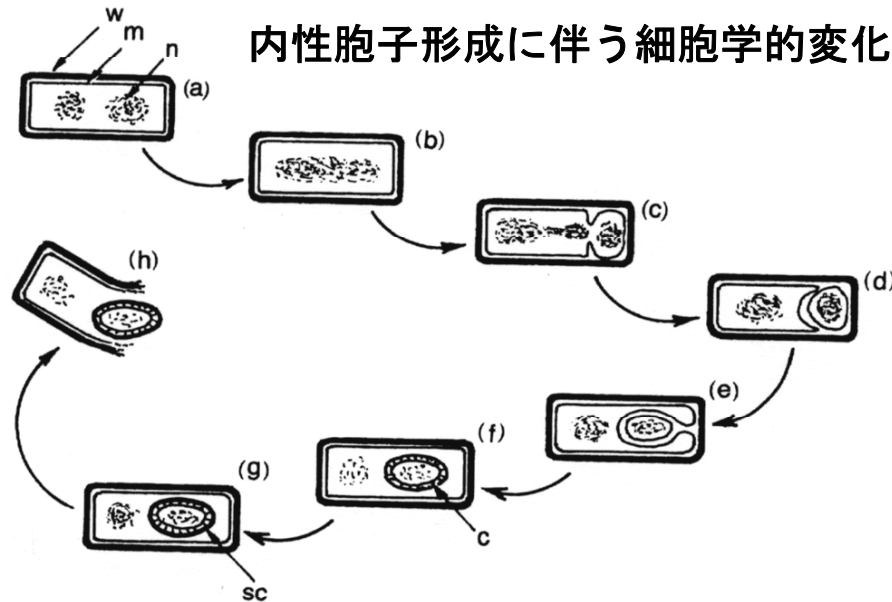
100 nm

Arboviruses

RNA VIRUSES

黄熱、テング熱

炭疽菌の脅威



(a) 栄養細胞：2個の核体(n)を含んでいる。(b) 核物質が桿状体へと凝集する。(c) 横断膜形成が始まる。(d) 横断膜形成が完成し、前細胞は栄養細胞から切り離される。(e) 前細胞の周囲に新しい壁が成長する。(f) 胞子が囲む壁が完成する。(g) 胞子が成熟する。(h) 外皮でゆるく覆われた胞子が放出される。

吸入炭疽

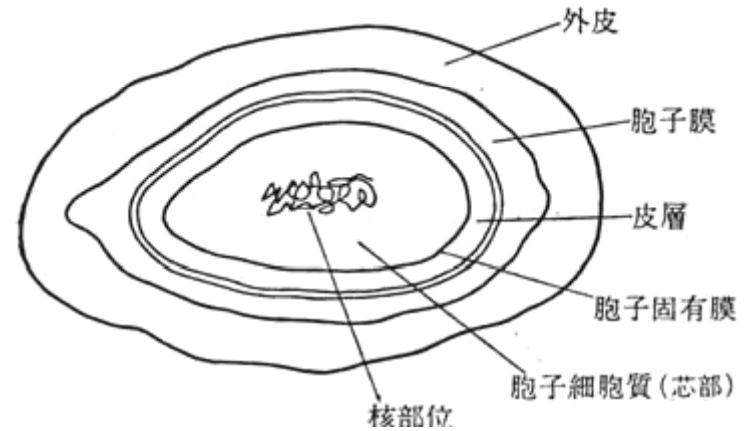
感染：芽胞 8,000-50,000

肺胞マクロファージに取り込まれ、
リンパ節に移動、発芽

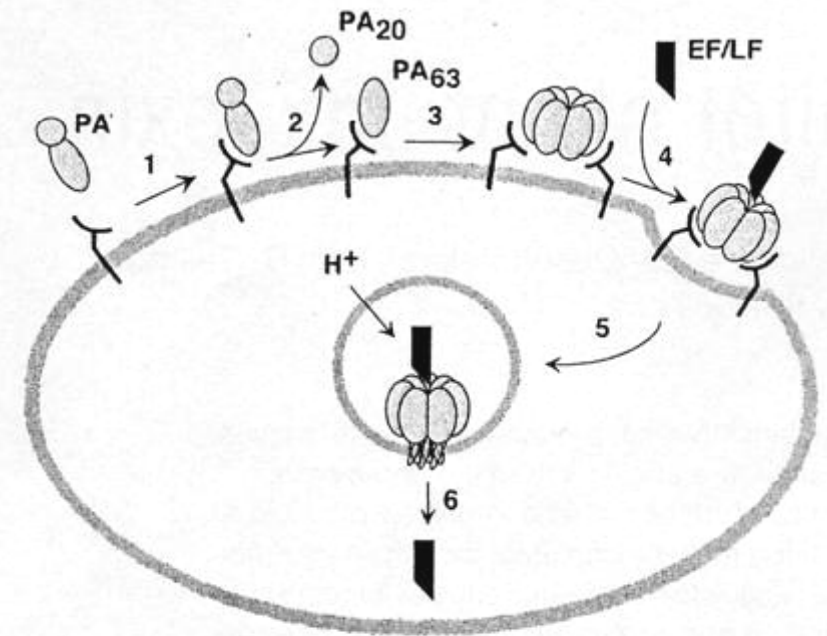
初期：インフルエンザ様症状

重症：呼吸困難、チアノーゼ、昏睡

芽胞は消毒処理に強い



感染後に毒素産生
防御抗原、致死因子、浮腫因子
サイトカイン産生による破綻



生物剤のラボ分析



安全キャビネット
内で試料処理



(培養)



検査

(1) 微生物学的検査

形態、生理

(2) 免疫学的検査

抗原抗体反応

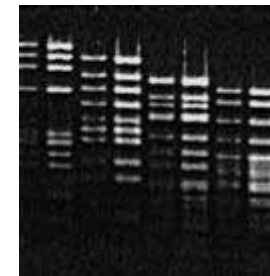
(3) 遺伝子解析



染色・検鏡



PCR



ゲル電気泳動

NBC テロの特徴

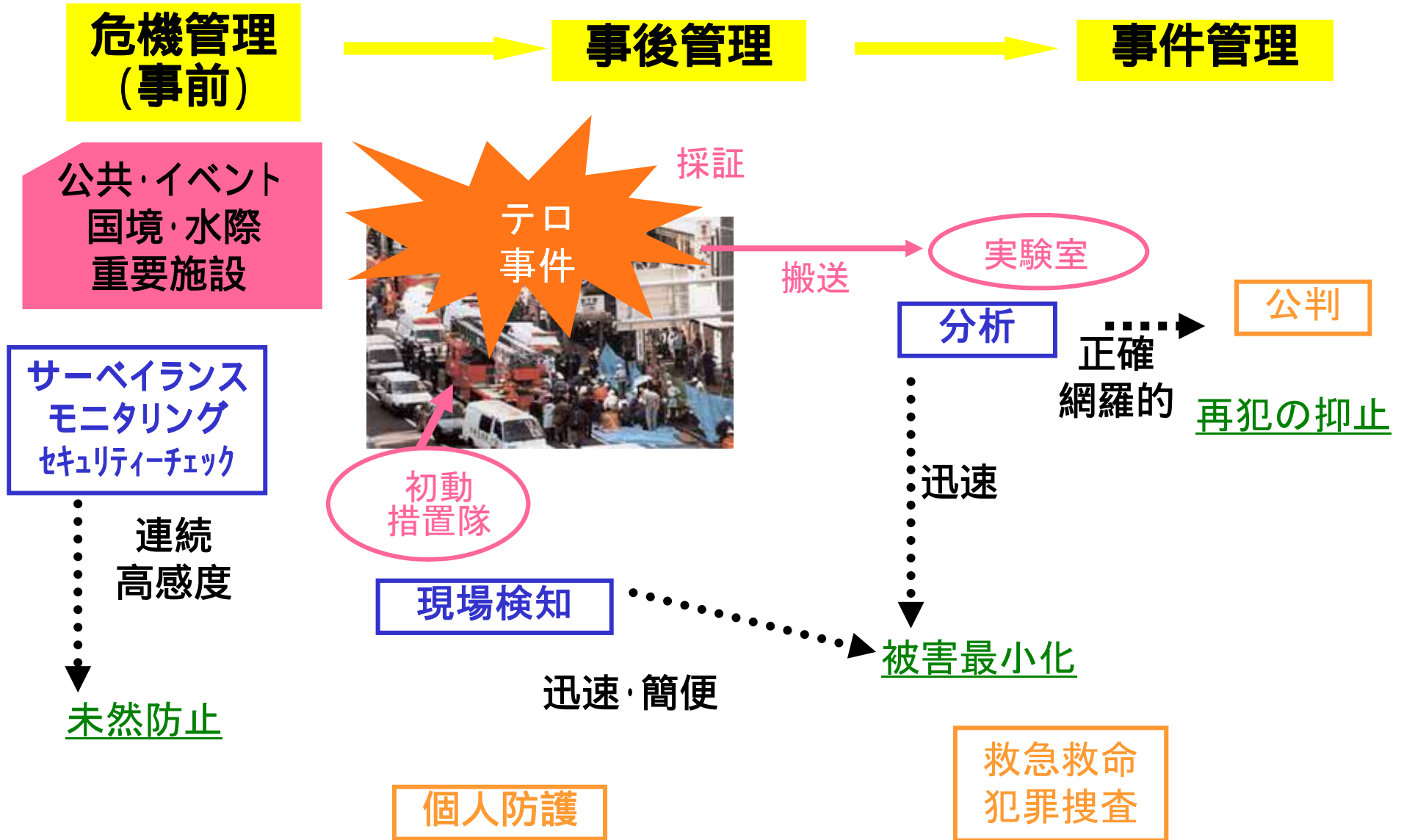
- 被害規模が予想できないほど大きい
- 社会的インパクトが著しく大きい
- 発生頻度は低い
- 対処には高度な専門技術・知識が必要

生物化学剤の毒性

- シアン（揮発度： $9 \times 10^5 \text{ mg/m}^3$ ）
 - LCt_{50} : $4,500 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$, 1~2 min, 呼吸障害（亜硝酸・チオ硫酸解毒）
- ホスゲン（揮発度： $6 \times 10^6 \text{ mg/m}^3$ ）
 - LCt_{50} : $3,200 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$, 数 hr, 肺組織破壊（治療薬特になし）
- サリン（揮発度： $23,000 \text{ mg/m}^3$ ）
 - LCt_{50} : $150 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$, 数 min (aging 数 hr), 神経伝達障害（アトロピン・オキシム剤有効）
- VX（揮発度： 1.6 mg/m^3 ）
 - LCt_{50} : $40 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$, 数 min (aging 長), 神経伝達障害（アトロピン・オキシム剤有効）
- マスタードガス（揮発度： 600 mg/m^3 ）
 - LCt_{50} : $1,500 \text{ mg} \cdot \text{min/m}^3$, 数 hr, びらん（治療薬特になし）
- 黄色ブドウ球菌腸毒素 B
 - 経口中毒値: $30 \mu\text{g/ヒト}$, 数hr, 消化管毒（致死性低い）
- リシン
 - LD_{50} : $3 \mu\text{g/kg}$, 18~26 hr, 細胞毒（治療薬特になし, ワクチン・抗血清治療可能性）
- ボツリヌス毒素
 - LD_{50} : 1 ng/kg , 1~5 day, 神経毒（呼吸確保, 抗血清治療）
- 天然痘
 - 10~100 粒子吸入で致死, 1~4 week（ワクチン・抗ウイルス剤有効）
- ペスト
 - 100~1,000 菌体吸入で致死, 2~3 day（抗生剤有効）
- 炭疽菌
 - 8,000~50,000 芽胞吸入で致死, 3~5 day（抗生剤有効）

化学テロ対処における原因物質の検知・特定

テロで何が使われたか?



現場検知に要求される感度

化学剤・生物毒素致死濃度：1 min 吸入での半数致死濃度(治療なし)
細菌・ウイルス致死濃度：10 min 吸入での感染致死濃度(治療なし)

- テロ現場対処
 - 化学剤・生物毒素：致死濃度の 1/100～1/1000
 - ウィルス・細菌：感染致死濃度の 10 倍～1/10
- 労働衛生・環境安全
 - 化学剤：致死濃度の 1/10000 以下
 - 生物剤：感染致死濃度の 1/10 以下

人間の呼吸量：8 L/min

生物化学剤のエアロゾル致死濃度

検出濃度: 7 min 捕集 (1,500 L/min) で即現場検査, 捕集液 5 mL

乾式

達成目標 LOD

- 青酸 : 4,500 mg/m³ (3,700 ppm) 5 mg/m³ 200 μmol/m³
- ホスゲン : 3,200 mg/m³ (720 ppm) 3 mg/m³ 30 μmol/m³
- サリン : 150 mg/m³ (24 ppm) ~~0.2 mg/m³~~ 1 μmol/m³
- ↑ マスタードガス : 1,500 mg/m³ (210 ppm) 2 mg/m³ 10 μmol/m³
- ↓ リシン : 20 mg/m³ —————→ 4 mg/mL ~~4 μg/mL~~ 70 pmol/mL
- ボツリヌス毒素 : 7 μg/m³ —————→ 1.4 μg/mL 1.4 ng/mL 10 fmol/mL
- 天然痘 : 100 粒子/m³ (10 pg/m³) —————→ 20 粒子/mL 20 pfu/mL 2 pg/mL
- ペスト : 1000 菌体/m³ (10 ng/m³) —————→ 200 菌体/mL 200 cfu/mL 2 ng/mL
- 炭疽菌 : 100,000 芽胞/m³ (1 mg/m³) —————→ 20,000 芽胞/mL 2 × 10⁴ cfu/mL 200 ng/ml

6 × 10¹³ 分子 / 100 mL ガス ←

7 × 10¹² 分子 / 100 mL 試料 ←

2 × 10⁴ DNA / 100 μL 試料 ←

2 × 10⁶ 抗原 / 100 μL 試料 ←

湿式

○化学剤・生物毒素は、1 min 吸入した場合の半数致死濃度とする

○細菌・ウィルスは、10 min 吸入した場合の致死濃度を考える

Military での生物剤検知

対象は、大気:蒸気、エアロゾル(不審な雲)

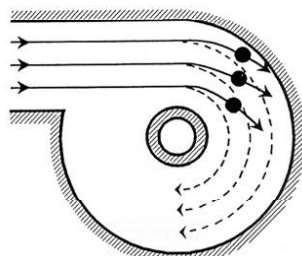
Trigger → Collection → Identification

遠隔 (IR、レーザー)



Real-time PCR

粒子計測 (レーザー蛍光)



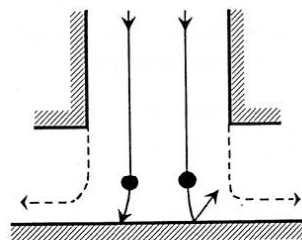
Cyclone 方式



Immunoassay

質量分析(LLNL BAMS)

多点センシング・ロボット



Impaction 方式

ラボ分析:微生物学的方法

生物化学剤の現場検知・特定

- 現場検証
 - 被害状況（複数の異常な死傷）、不審物（雲、煙）
 - 中毒症状（縮瞳、発赤・びらん、吐き気・頭痛、喉眼痛・せき）
- 五感
 - 臭い（アーモンド、ニンニク、ネギ、新しい干し草）
 - 末梢作用（縮瞳、せき、粘膜痛、風邪）
- Trigger – 遠隔検知、Particle counter
 - 赤外線吸収、レーザー蛍光スペクトル
- モニタリング – 設置型、連続長時間
 - BioWatch、PROTECT（米国）
- 現場検知 – 有無の検査、汚染地域の設定（ゾーニング）
 - 物理化学：PID、FPD、IMS、化学センサー、flow cytometry (細菌)
 - 化学反応：ガス検知管、検知紙、モニタリングテープ、蛋白・核酸発色（細菌、ウイルス）、ATP生物発光
 - アフィニティー：SAW、免疫(毒素・菌体内外抗原)、バイオセンサー
 - 生化学：酵素阻害
- 現場検知 – 剤の特定化
 - クロマト・スペクトル：GC、MS、IR、Raman (炭疽菌芽胞 CaDPA)
 - 分子生物学：DNA hybridization (リアルタイム PCR)

化学テロ現場対処活動 (1995-)

- **個人防護**

- Level A (先発)
- Level C (剤確認後)

- **簡易試験**

- ガスモニター、検知紙、ガス検知管、
- Ion mobility spectrometer, Flame photometric detector
- Surface acoustic wavelength detector

- **採証**

- 科捜研、科警研へ搬送

- **同定**

- GC-MS

- **実績**

- 異臭事案
- 寒川町 HD 検知



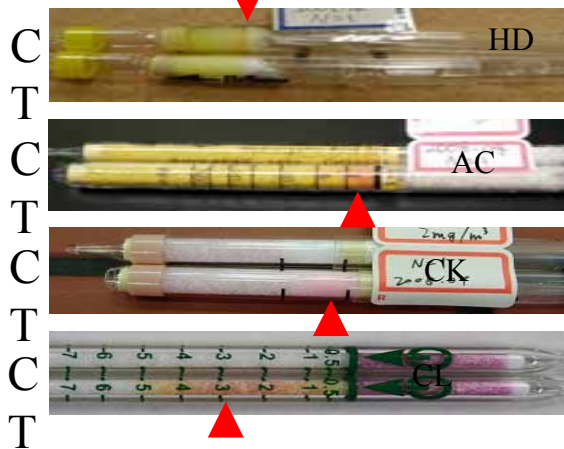
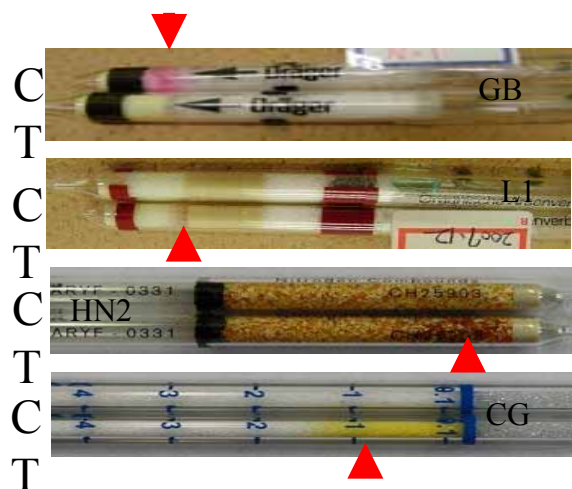
現場検知器の要求性能

- 検出感度
 - 致死濃度と発症ラグタイムを考慮
- 正確性
 - 特異的、低偽陽性率 (false positive)
- 応答
 - 迅速警報、リアルタイム
- 操作性
 - 簡易、自動
- 残留性
 - 迅速復活

感度と正確性・応答時間はトレードオフ関係

Draeger Safety ガス検知管

化学剤蒸気の検知、応答数分
カタログ感度 sub mg/m³



Nerve gas (for phosphoric ester)

神経ガスが通気、コリンエステラーゼ阻害で基質分解が抑制され、指示層が赤色になる。

Mustard gas (for thioether)

塩化銀、クロロアミンと反応して、橙色になる。

Lewisite 1 (for organic arsenic compounds and Arsine)

亜鉛/塩酸試薬と反応してAsH₃ガスが生成し、指示層の金/水銀錯体と反応して灰色の金コロイドとなる。

Nitrogen mustard (for有機塩基性窒素化合物用)

指示層のヨウ化ビスマウカリウムと反応して、赤橙色になる。

Hydrogen cyanide (for hydrocyanic acid)

塩化水銀と反応してHCNを生成し、指示層（メチルレッド）が赤色になる。

Cyanogen chloride (for cyanogen chloride)

ピリジン試薬と反応してグルクロンジアルデヒドを生成し、バルビツール試薬と反応してピンク色になる。

CG (for phosgene)

p-ジメチルベンズアルデヒド、ジフェニルアミンと反応して、指示層が黄色となる。

CL (for chlorine)

3,3',5,5'-テトラメチルベンジジンと反応して、指示層は淡桃色になる。

Drager Safety ガス検知管

GB	PE tube	LOD 0.002 mg/m ³	応答 5 – 6 min
GD	PE tube	LOD 0.02 mg/ m ³	応答 5 – 6 min
GA	PE tube	LOD 0.5 mg/ m ³	応答 5 – 6 min
VX	PE tube	LOD 2 mg/m ³	応答 5 – 6 min
HD	TE tube	LOD 2 mg/ m ³	応答 2 min
L1	OAA tube	LOD 4 mg/ m ³	応答 2 min
HN2	OBA tube	LOD 10 mg/ m ³	応答 1 min
AC	HC tube	LOD 0.3 mg/ m ³	応答 1 min
CK	CC tube	LOD 0.8 mg/ m ³	応答 3 min
CG	CG tube	LOD 0.4 mg/ m ³	応答 1 min
CL	CL tube	LOD 1.5 mg/ m ³	応答 1 min

PE tube陽性: DDVP, methomyl

TE tube陽性: 2-CEES, 1,4-Tioxane;

PE tube 偽陰性: GD in CO₂ gas

操作煩雑、応答遅い

炎光光度検出 (FPD)

蒸気・液体状の剤の検知、即応

カタログ検知感度

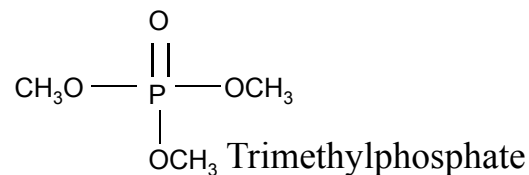
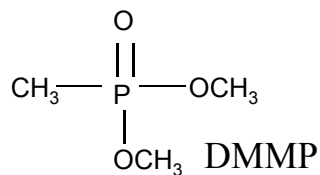
Nerve gas: 0.02 mg/m³
Mustard gas: 0.4 mg/m³

水素ガスカートリッジ必要



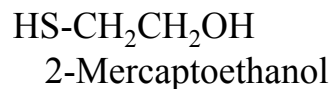
GV mode:
phosphorus
H mode:
Sulfur

agent	GB	GD	GA	VX	HD	L1	AC	DMMP	Trimethyl phosphate	2-mercaptoethanol	2-Chloroethyl ethylsulfide
mode	GV	GV	GV	GV	H	(-)	(-)	GV	GV	H	H
	0.5~100 mg/m ³	1~200 mg/m ³	vapor	加熱	5~10 mg/m ³	38 mg/m ³	1000 mg/m ³	vapor	20 mg/m ³	vapor	20 mg/m ³

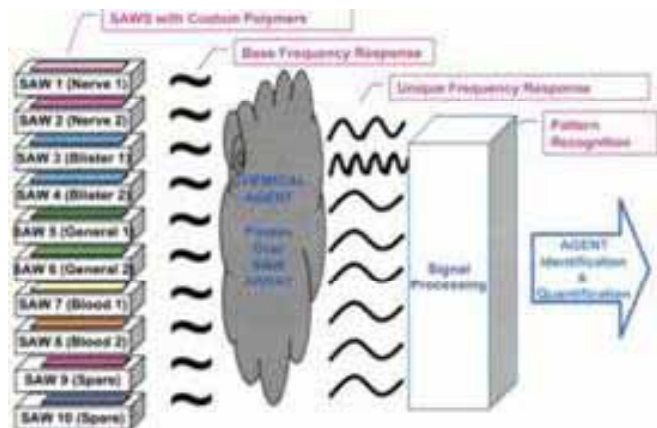


偽陰性

偽陽性



アレイ式表面弾性波検知器 (SAW)



Chemsentry

BAE Systems (USA)

19 cm × 12 cm × 6.5 cm

0.84 kg

感度低い

応答・復帰遅い

GB	NERVE	LOD 30 mg/m ³	応答 12 sec	復帰 235 sec
GD	NERVE	LOD 50 mg/ m ³	応答 12 sec	復帰 234 sec
GA	NERVE	LOD 100 mg/ m ³	応答 13 sec	復帰 230 sec
HD	BL	LOD 38 mg/ m ³	応答 8 sec	復帰 236 sec
L1	NERVE	LOD 284 mg/ m ³	応答 109 sec	復帰 272sec
	BL	56,700 mg/ m ³	応答 13 sec	復帰 394 sec
AC	BLOOD	LOD 28 mg/ m ³	応答 100 sec	復帰 19 sec
CK	BLOOD	LOD 944 mg/ m ³	応答 133 sec	復帰 27 sec
GC	BLOOD	LOD 340 mg/ m ³	応答 19 sec	
CL	false negative			

NERVE 偽陽性

Methanol, Ethanol, *n*-Propanol, 2-Butanol, *t*-Butyl alcohol, Ethyl acetate, 1,4-Dioxane, Acetonitrile, Acetaldehyde, *N,N*-Dimethylformamide, Pyridine

BL 偽陽性

Dichloromethane, 1,2-Dichloroethane, Chlorobenzene

BLOOD 偽陽性

Ammonia, Acetaldehyde

Confidential Check

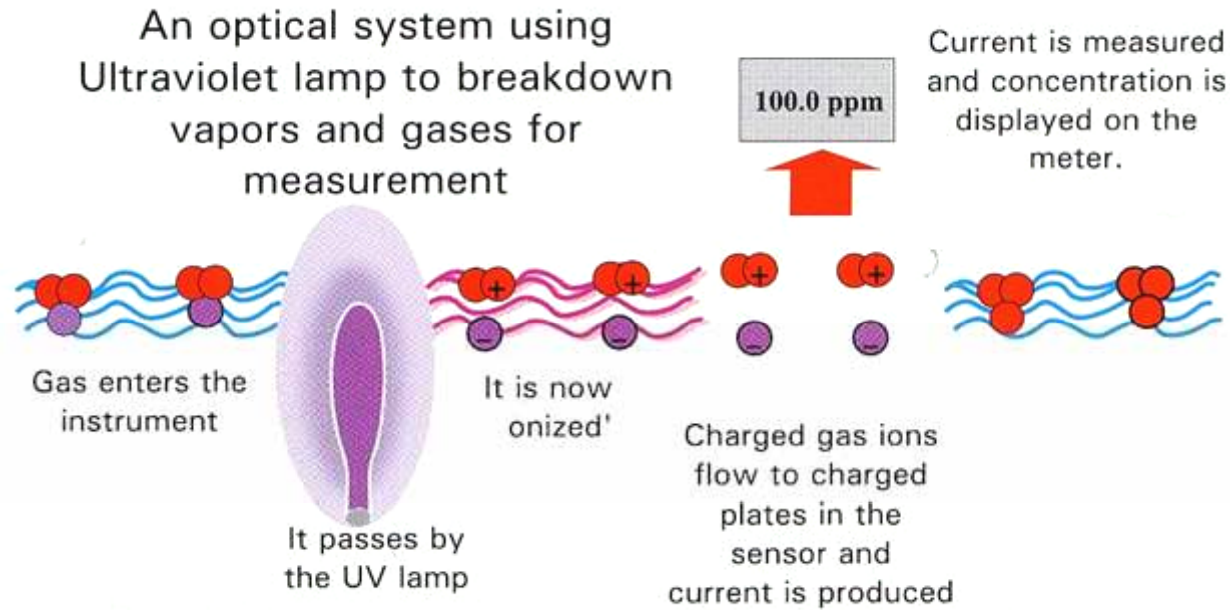
t-Butyl alcohol, Acetone, Diethylether, Diethylamine, *N,N*-Dimethylformamide, Pyridine

偽陽性

分析化学 54 (2005) 83 - 8

光イオン化検知器 (PID)

有機物を非特異的に検出



RAE Systems (USA)

Agent	BG	GB	GB	GD	HD	CK
Value (ppb)	130	350 ~ 400	11,600	180 ~ 200	130 ~ 140	150
	Air	Vapor	4,000 mg/m ³	Vapor	Vapor	80 mg/m ³

非特異的



Fourier-Transform Infra-Red Spectrometry (FT-IR)

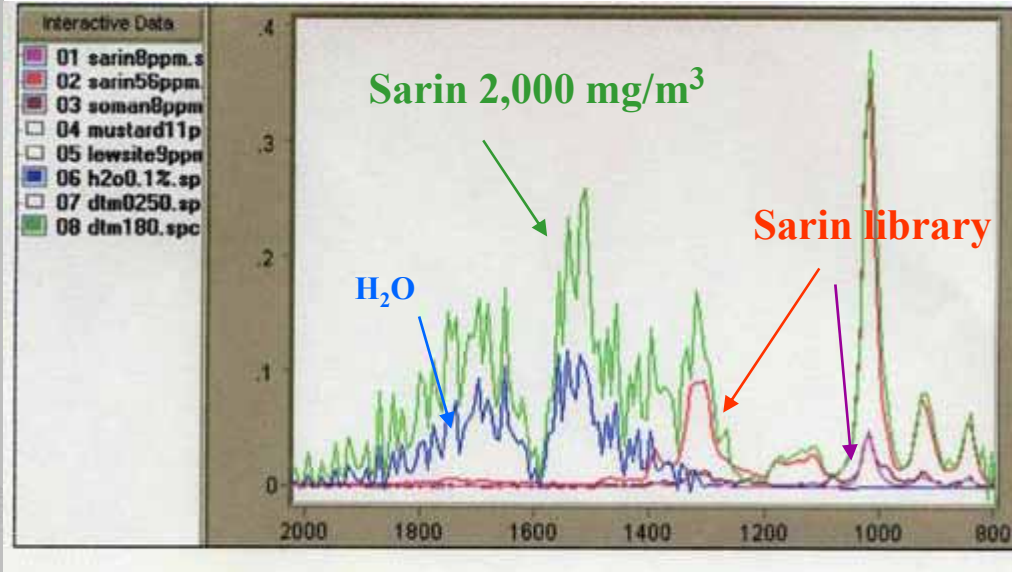
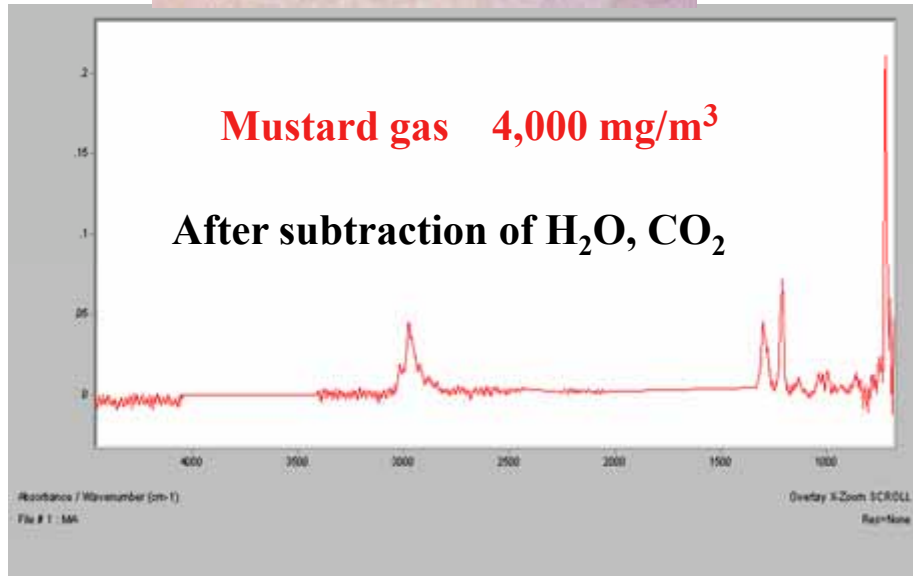
Industrial Gas monitor IGA-1700
(MIDAC, USA)



Multicomponent gas analyzer
GASMET DX-4000 (Temet, Finland)

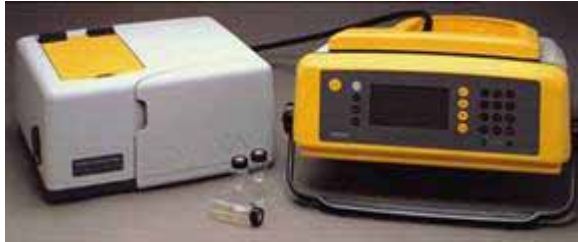


可搬型



LOD: 10 mg/m³

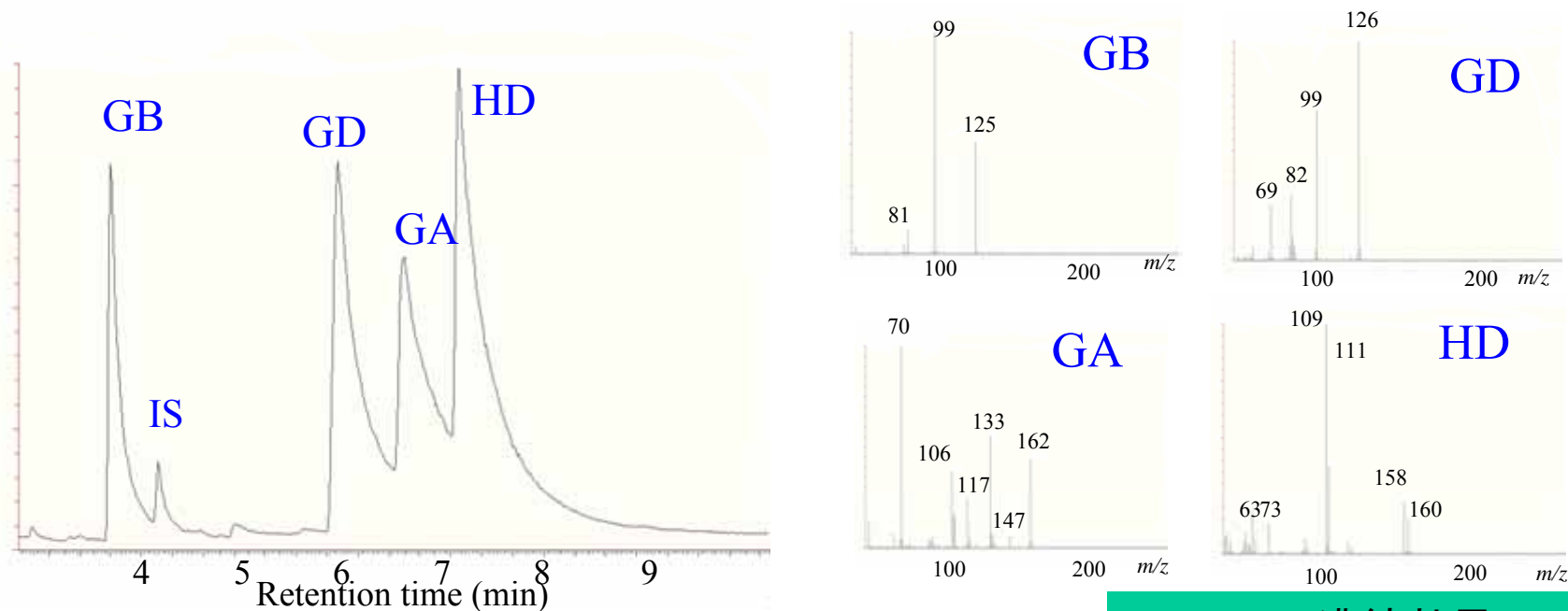
Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)



Hapsite
(INFICON)

剤限定、操作煩雑、応答遅い

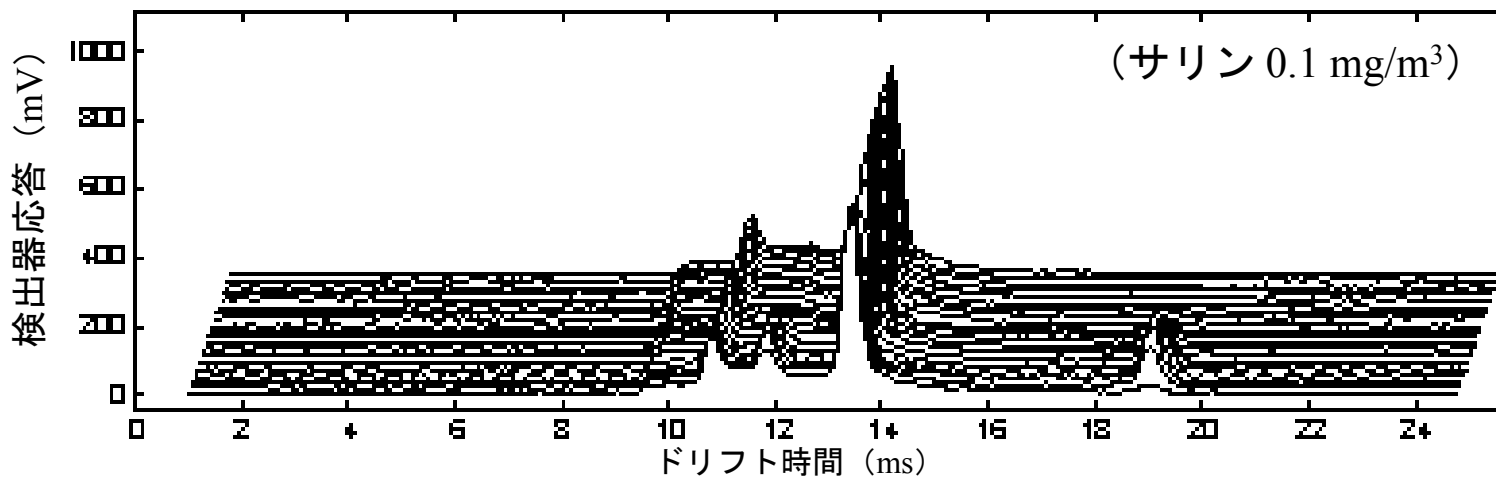
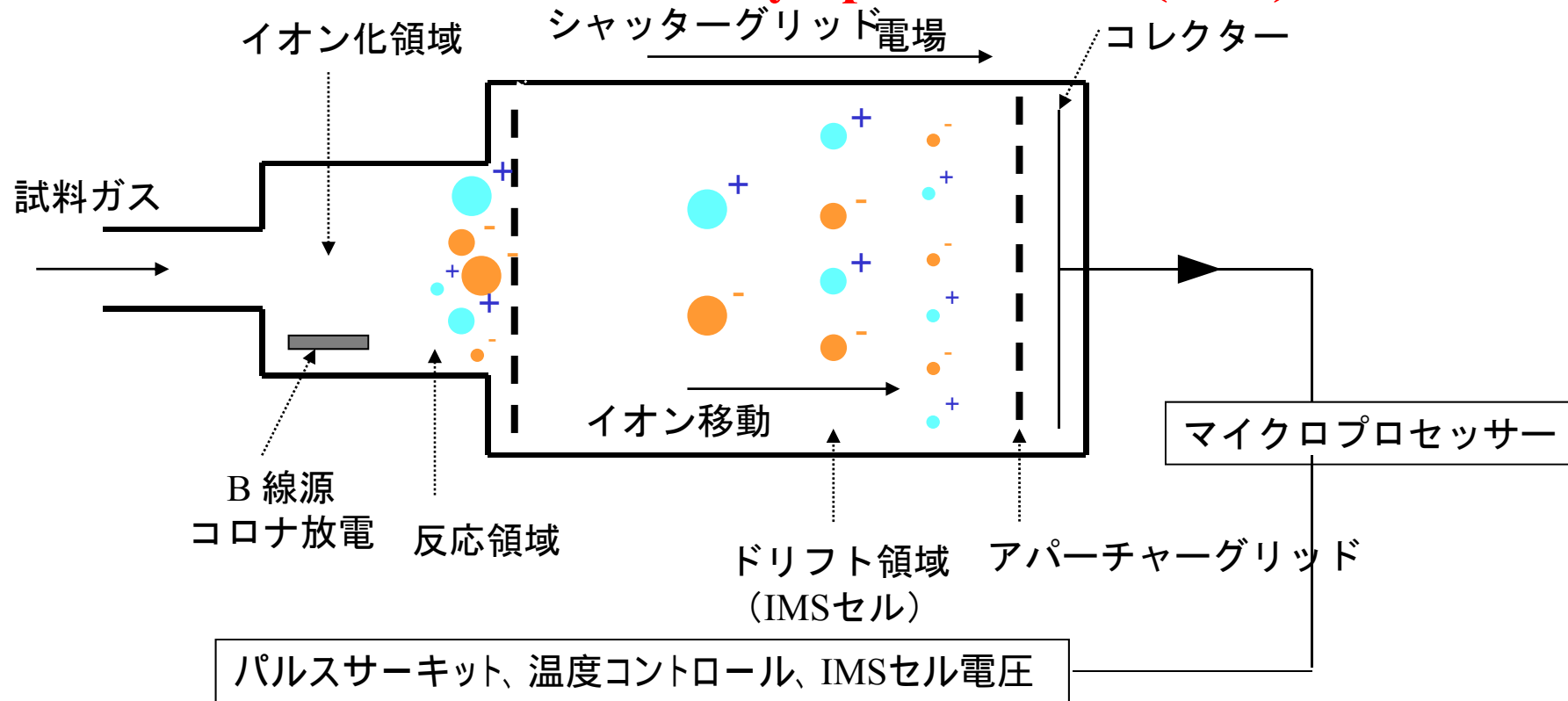
- Air Sample: GB, GD 1 mg/m³, GA 3 mg/m³, HD 0.5 mg/m³
- Microtrap: Tenax TA 15 mg, 1 min at r.t., raising to 280 °C for 11 sec with 2.5 ml N₂/min
- GC: SPB-1 (0.32 mm × 30 m, thickness 1 μm), 3.0 ml N₂/min
60 °C (2 min) → 120 °C (30 min) → 180 °C (15/min, 2 min)
- MS: EI, 45~260 m/z, EI 70 eV, 300 μA, 0.84 sec/scan



LOD: GB 0.2 μg/m³ (m/z 99), GD 0.5 μg/m³ (m/z 126),
GA 8 μg/m³ (m/z 70), HD 0.3 μg/m³ (m/z 109)

Microtrap 濃縮効果：
ループ法と比較して
130~240 倍感度向上

Ion Mobility Spectrometer (IMS)



IMS 検知器

装置	メーカー	サイズ	イオン化	ドーパント	浄化	付属センサー	計測方式
SABRE 4000	Smiths Detection	33 × 10.5 × 11.5 cm, 3.2 kg	⁶³ Ni 15 mCi	(-)	シーブパック	(-)	正負イオン測定時選択
LCD 3.2E	Smiths Detection	18 × 11.5 × 4.5 cm, 545 g	コロナ放電	NH ₃	シーブパック	(-)	正負イオン同時測定
Chem Pro100	EnviroNics O.Y.	23 × 10 × 5.5 cm, 800 g	²⁴¹ Am 160 μCi	(-)	(-)	SCC	Aspiration 16 cell
M90 D1-C	EnviroNics O.Y.	28 × 10.5 × 28 cm, 4.7 kg	²⁴¹ Am 160 μCi	(-)	(-)	SCC	Aspiration 6 cell



SABRE 4000

Smiths Detection (Canada)

33 cm × 10.5 cm × 11.5 cm

3.2 kg

イオン化 Ni^{63} : 15 mCi

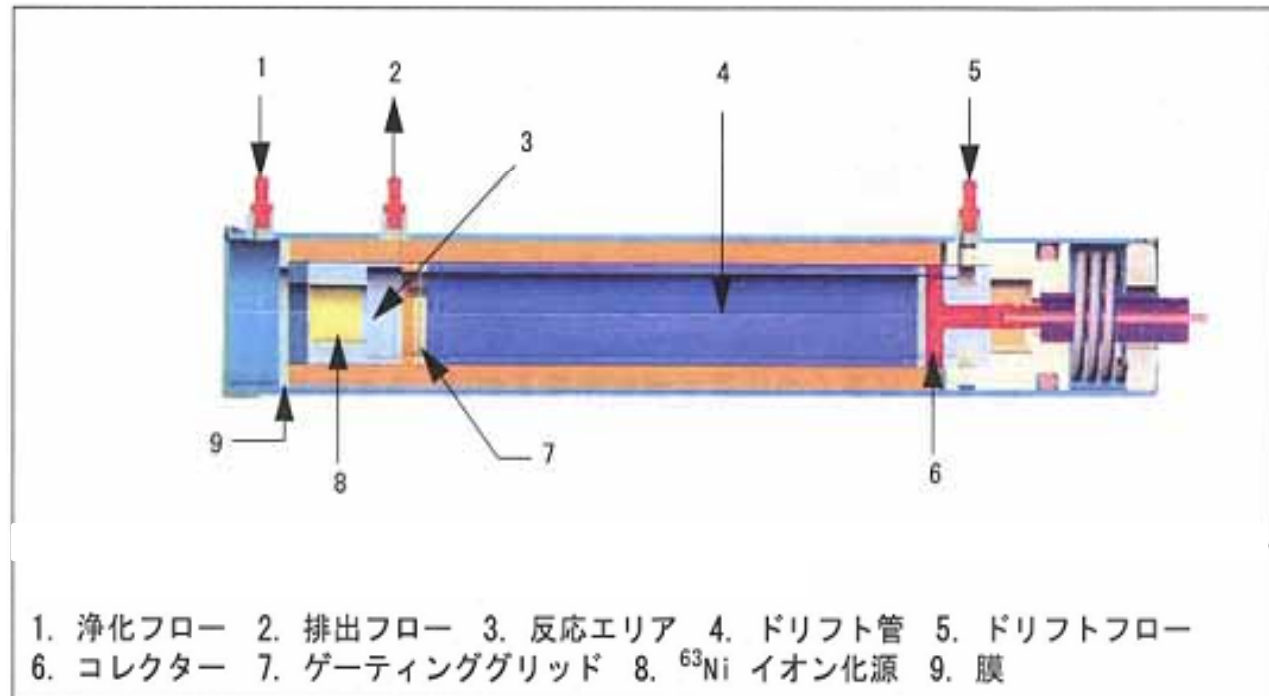
Calibrantイオンとの比較

空気清浄カートリッジ使用



IMS 検知器 1

蒸気の化学剤・TIC検知

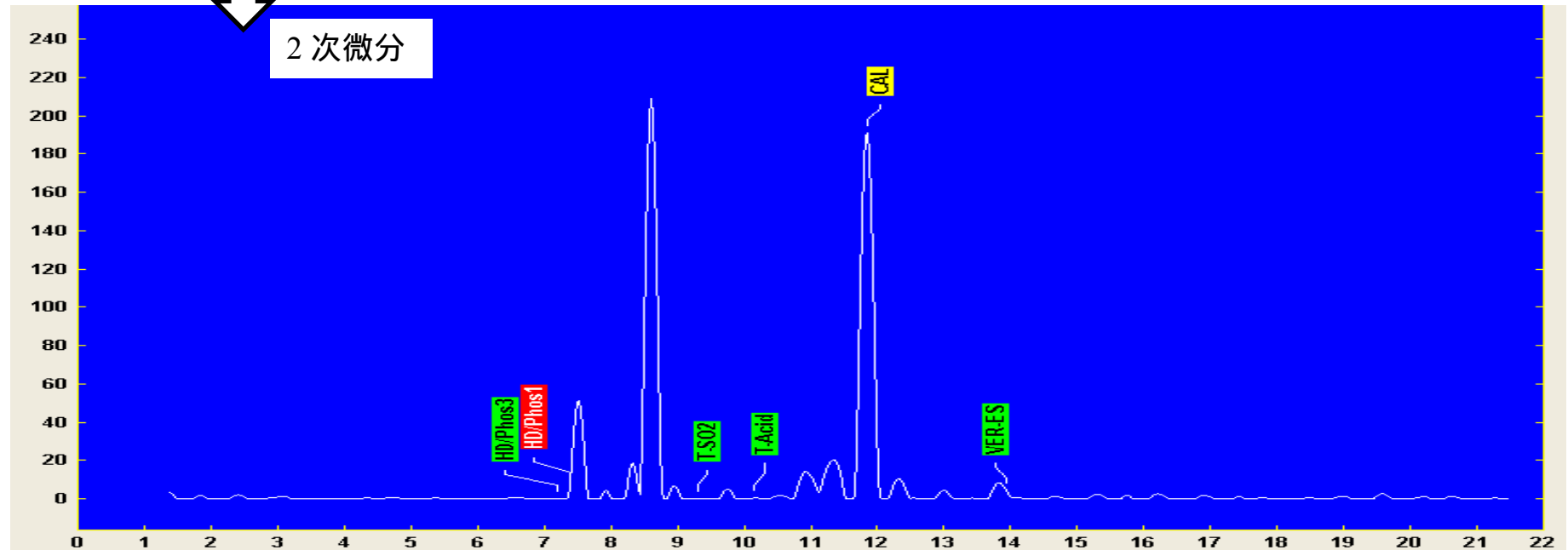
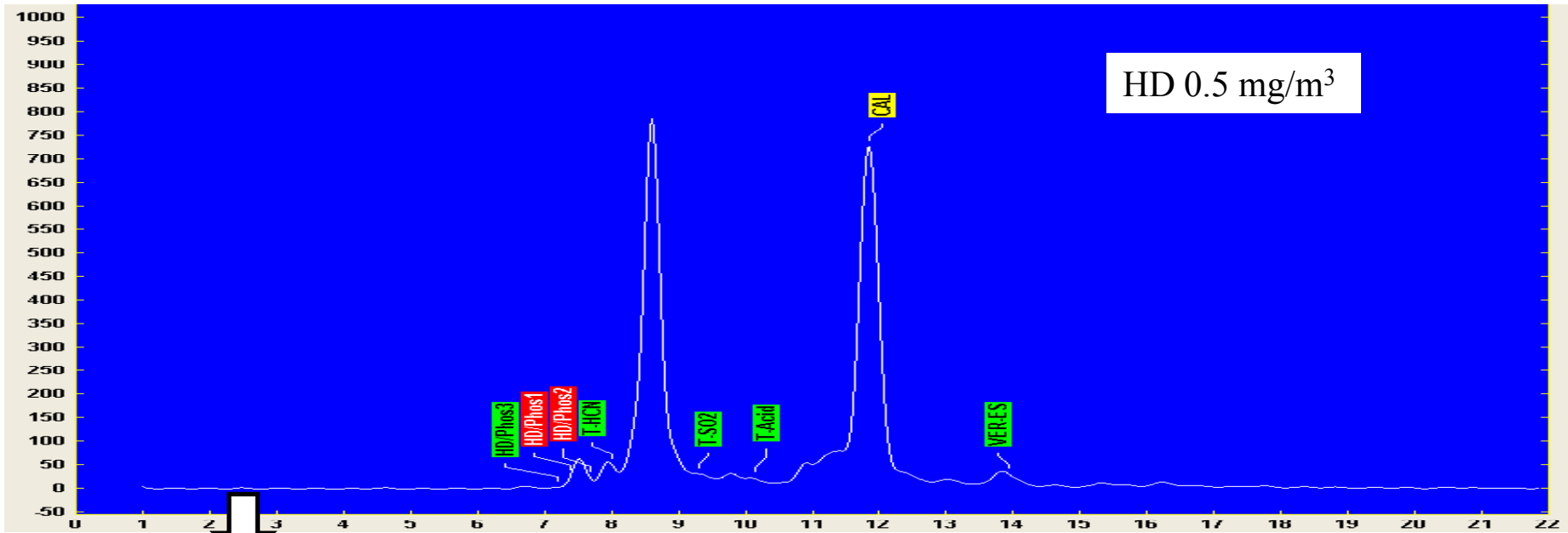


極性 (positive, negative) を選択して 20 sec 測定後、
検出結果が表示：PC上で定量可能

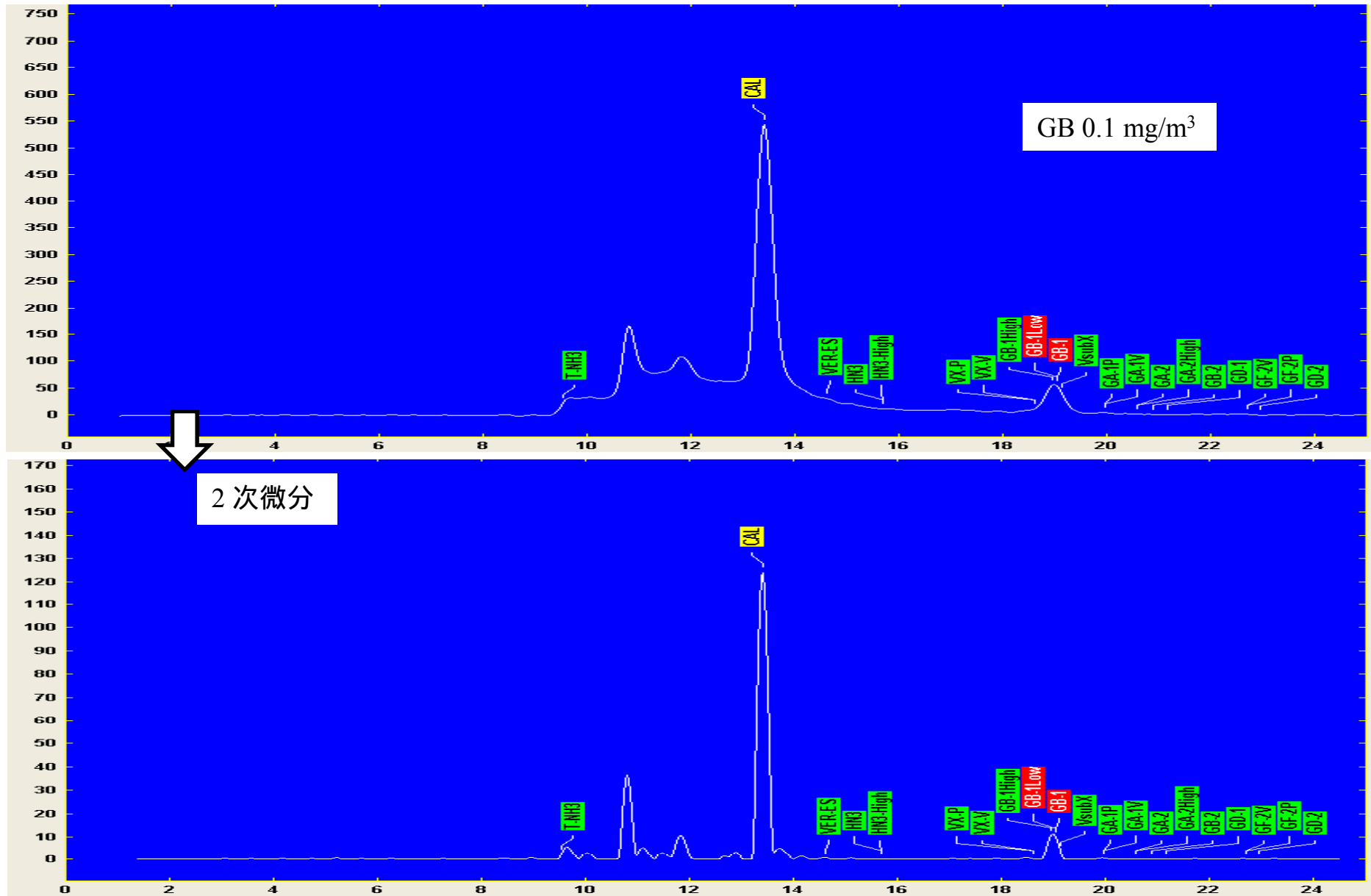
PC上Plasmagram の 2 次微分波形処理画面で、
剤の同定と定量が可能

(Mobility Drift Time (ms) , Reduced mobility constants (Ko) ,
Peak area (du-ms) , Peak Amp (du))

IMS SABRE 4000 negative mode 測定



IMS SABRE 4000 positive mode 測定



IMS SABRE 4000 檢知結果

GB	+ GB	LOD 0.008 mg/m ³	応答 4 – 5 sec	MDT 19.0 msec
GD	+ GF	LOD 0.02 mg/ m ³	応答 2 – 5 sec	MDT 20.8 msec
GA	+ GA	LOD 0.1 mg/ m ³	応答 9 – 11 sec	MDT 19.8 msec
GF	+ GF	LOD 0.5 mg/ m ³	応答 2 – 6 sec	MDT 20.5 msec
HD	– HD/Phos	LOD 0.5 mg/ m ³	応答 3 sec	MDT 7.3 msec
L1	(–)	0.95 mg/ m ³		MDT 12.4 msec
HN1	– HD/Phos	LOD 0.4 mg/ m ³	応答 8 sec	MDT 7.2 msec
HN2	– HD/Phos	LOD 1 mg/ m ³	応答 2 – 4 sec	MDT 7.2 msec
HN3	+ HN3	LOD 0.005 mg/ m ³	応答 6 – 9 sec	MDT 15.4 msec
AC	– HCN	LOD 0.2 mg/ m ³		MDT 8.0 msec
CK	– HCN	LOD 0.2 mg/ m ³		MDT 8.0 msec
PS	– HD/Phos	LOD 0.1 mg/ m ³	応答 4 – 5 sec	MDT 7.3 msec
CG	– HD/Phos	LOD 1.5 mg/ m ³	応答 2 – 4 sec	MDT 7.2 msec
CL	(–)	14 mg/ m ³		MDT 8.5 msec

HD/Phos 偽陽性

DDVP, 2-Chloroethylethylsulfide, 1,4-Thioxane

HN3 偽陽性

Ethylacetate

HCN 偽陽性

1,4-Thioxane

Acids 偽陽性

2-Mercaptoethanol, Diethylamine

陰性

30 溶媒

IMS 検知器 2

Smiths Detection (UK)
LCD-3.2E

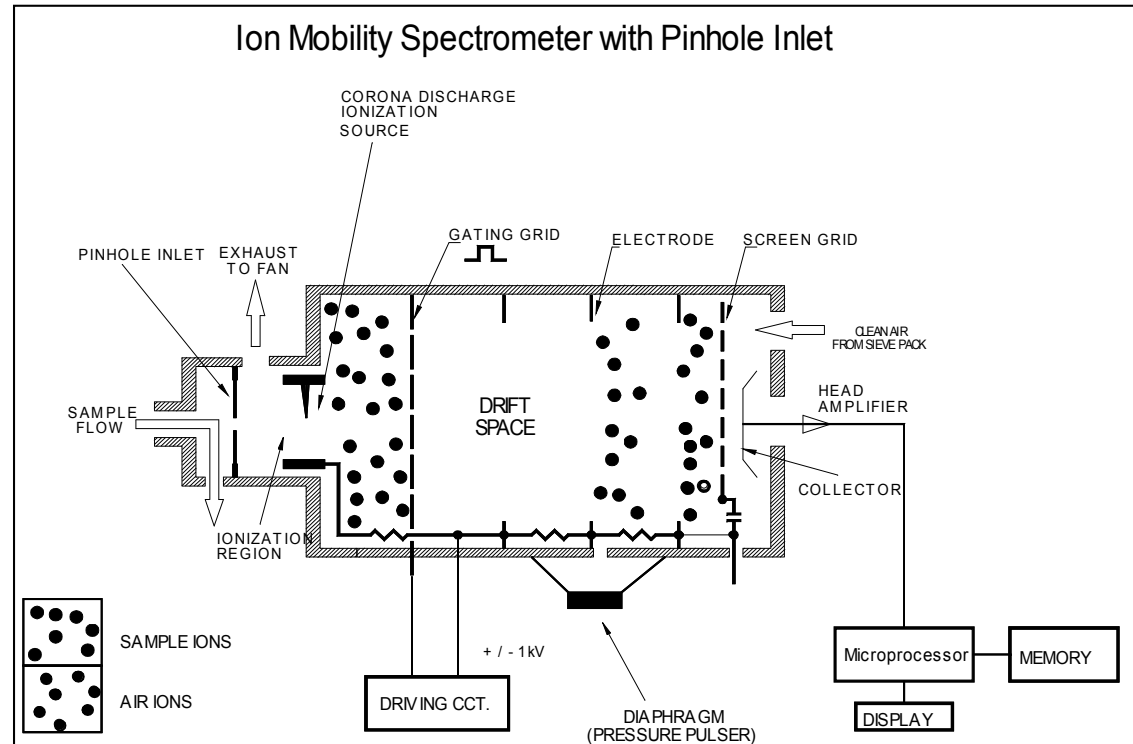
18 cm × 11.5 cm × 4.5 cm
545 g

表示: 2剂



イオン化: コロナ放電
ドーパント: アンモニア

応答・復帰数秒



Agent	GB	GD	GA	HD	L1	AC	CK	CG	CL	PS
Alarm	G	G	G	H	H	H	H	H	H	H
LOD	0.2 mg/m ³	0.15 mg/m ³	0.3 mg/m ³	10 mg/m ³	5 mg/m ³	15 mg/m ³	500 mg/m ³	33 mg/m ³	17 mg/m ³	12 mg/m ³

偽陽性 G: TMPO, TEPO, n-propanol, diethylamine, triethylamine, タバコ煙 感度低
H: 1,4-thioxane, 2-HSCH₂CH₂OH, diethylether, acetic acid

偽陽性

分析化学 56 (2007) 117 - 124

IMS 検知器 3 (Aspiration-type)



16 IMSセル+SCCによるパターン認識

ChemPro100 Ver.1

EnviroNics OY

(Finland)

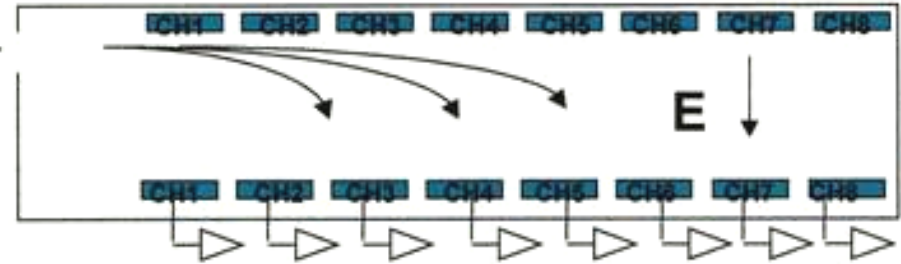
23 cm × 10 cm × 5.5 cm

800 g

イオン化 Am²⁴¹: 80 μCi



Air



GB	Nerve	LOD 0.5 mg/m ³	応答 13 sec	復帰 17 sec
GD	Nerve	LOD 0.3 mg/ m ³	応答 15 sec	復帰 17 sec
GA	Nerve	LOD 0.5 mg/ m ³	応答 17 sec	復帰 18 sec
HD	Blister	LOD 10 mg/ m ³	応答 18 sec	復帰 13 sec
L1	Blister	LOD 40 mg/ m ³	応答 22 sec	復帰 23 sec
AC	偽陰性	7,000 mg/ m ³	感度低い	
CK	Unknown	LOD 1,000 mg/ m ³		
PS	Unknown	LOD 332 mg/ m ³	応答 26 sec	復帰 3 sec

Nerve 偽陽性 (*部分的)

Dimethylmethylphosphonate, Trimethylphosphate, Triethylphosphate*, Dimethylformamide*

Blister 偽陽性 (*部分的)

2-Chloroethylethylsulfide, 1,4-Thioxane*, 1,4-Dithiane*, 2-Mercaptoethanol*, Ethanol*, Benzene*, Toluene*, Xylene*, Chloroform*

Blood 偽陽性

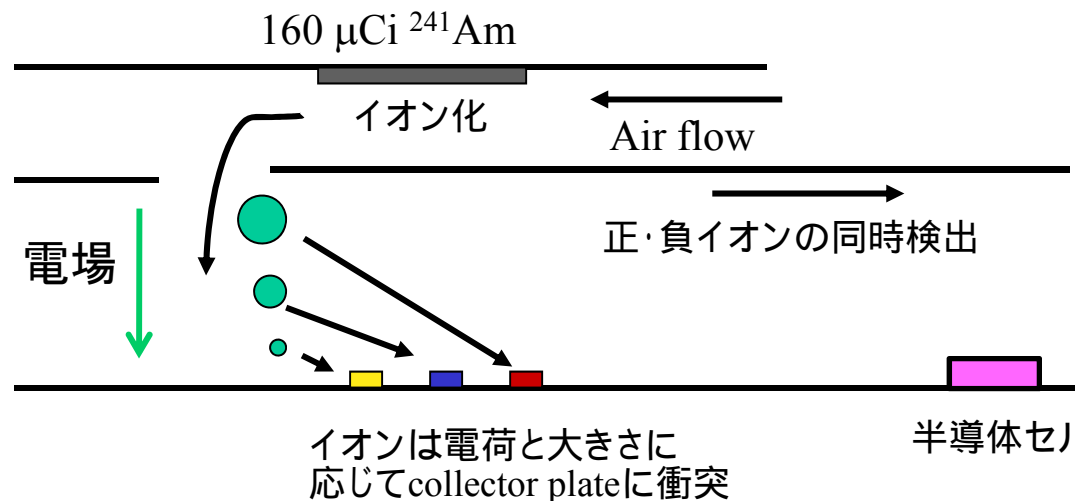
偽陽性

None

Unknown chemical (100%)

Methanol, Acetone, Diethylether, Acetonitrile, Acetic acid, HCl, Ammonia, Formaldehyde, Diethylamine

IMS 検知器 4 (Aspiration-type)



6 IMSセル+SCCによるパターン認識

GB	NERVE	LOD 0.1 mg/m ³	Resp 7 sec	Recv 4 sec
GD	NERVE	LOD 0.1 mg/ m ³	Resp 8 sec	Recv 5 sec
GA	NERVE	LOD 0.3 mg/ m ³	Resp 8 sec	Recv 16 sec
GF	NERVE	LOD 0.1 mg/ m ³	Resp 9 sec	Recv 10 sec
HD	BLISTER	LOD 2.4mg/ m ³	Resp 9 sec	Recv 7 sec
L1	BLISTER	LOD 1.9 mg/ m ³	Resp 8 sec	Recv 11 sec
AC	BLISTER	LOD 1,000 mg/ m ³	Resp 9 sec	Recv 2 sec
CK	BLISTER	LOD 9,500 mg/ m ³	Resp 11 sec	Recv 5 sec
CG	not detected			
CL	BLOOD	LOD 820 mg/ m ³	Resp 9 sec	Recv 8 sec
PS	BLOOD	LOD 17,000 mg/ m ³	Resp 8 sec	Recv 3 sec

NERVE False positive:

DFP, DMMP, TMPO, TEPO, ethanol, i-propanol, butanol, aniline formaldehyde, diethylamine

Blister False positive:

2-chloroethylethylsulfide, 1,4-thioxane, 2-Mercaptoethanol, ethylacetate, chloroform, acetic acid, HCl,

BLOOD False positive: acetonitrile

False positive

化学剤現場検知器の性能比較

揮発性



	ガス性化学剤 検知	神経ガス 検知	びらん剤 検知	くしゃみ剤 ・催涙剤検知	偽陽 性	応答時間	復帰 時間	操作性
ガス 検知管	○ 1 mg/m ³	○ 0.5 mg/m ³	○ 4 mg/m ³	×	△	×	—	×
IMS	△ 0.2–20000 mg/m ³	○ 0.3 mg/m ³	△ 10 mg/m ³	×	△	○ 3~20 sec	△ sec~min	○ 携帯型
FPD	×	○ 0.1 mg/m ³	△ (非As) 1 mg/m ³	×	×	○ 2~5 sec	○ sec	○ 携帯型
PID	△ 100 mg/m ³	×	△ 100 mg/m ³	△	×	△ 5~10 sec	△ sec	○ 携帯型
SAW	△ 50 mg/m ³	×	△ 100 mg/m ³	×	×	△ 15~30 sec	×	○ 携帯型
FT-IR	△ 50 mg/m ³	×	△ 50 mg/m ³	△	△	△ min 単位	△ —	△ 移動可
GC Tenax濃縮	×	○ 0.001 mg/m ³	○ 0.001 mg/m ³	×	○	×	△ min 単位	△ 設置型
GC- MS Tenax濃縮	×	○ 0.1 mg/m ³	△ (非As) 0.1 mg/m ³	×	○	×	△ min 単位	△ 移動可

分析化学 54 (2005) 83 – 8; 55 (2006) 191 – 7; 55(2006) 891 – 906 J. Toxicol. Toxin Rev., 26 (2007) 299 – 312

薬学雑誌 126 (2006) 1279 – 99 J. Mass Spectrom. Soc. Jpn. 56 (2008) 91 – 115 Sens. Actuat. B 108 (2005) 193 – 7

生物テロ現場対処活動 (2001 ~)

- 個人防護 (Level C, HEPA filter)
- 現場資料調製
 - 白い粉： バッファーに溶かす
 - 大気： BioCapture で集塵 (7 min, 1 m³)
- 簡易試験(白い粉)
 - 目視, pH, 水溶性
 - ニンヒドリン反応
- 特異的検知 (大気、白い粉)
 - BTA免疫ストリップ (炭疽菌, SEB, BTX, リシン)
- 同定 (大気、白い粉)
 - RAPID (Real time PCR)
 - 炭疽菌, ブルセラ菌, ペスト菌, ツラレミア
- 採証
 - 衛研、感染研に搬送
- 見知実績
 - 白い粉事案, FIFA World Cup Soccer 2002

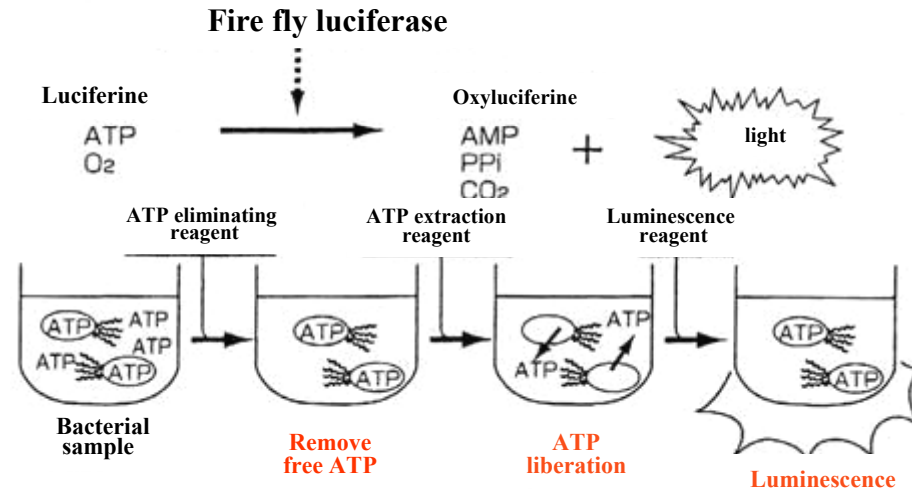
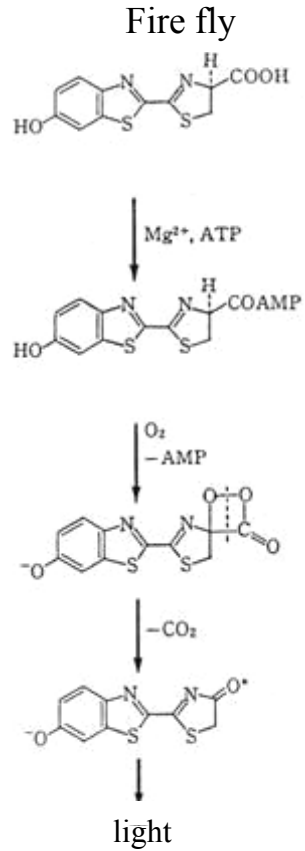


生物発光

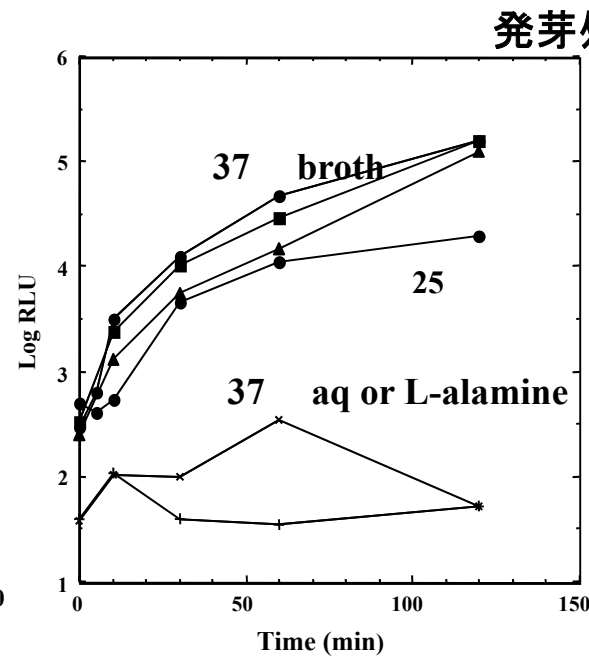
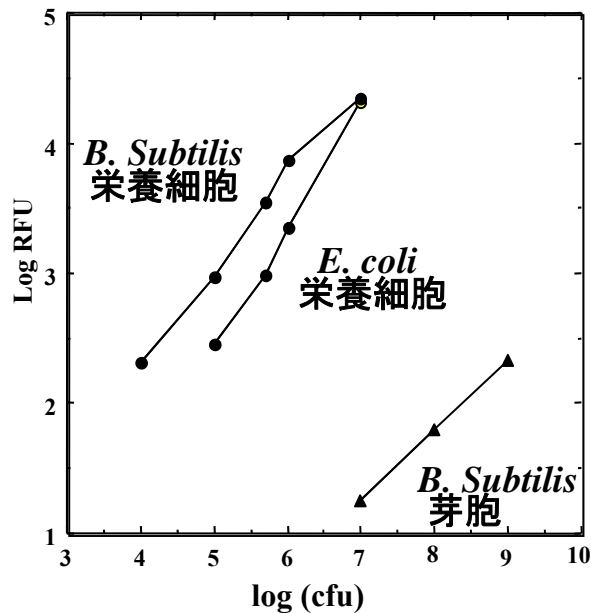
ATP測定

微生物汚染衛生検査キット カタログ感度： 10^4 cfu/mL

Kikkoman (Japan)



非特異的
細菌スクリーニング



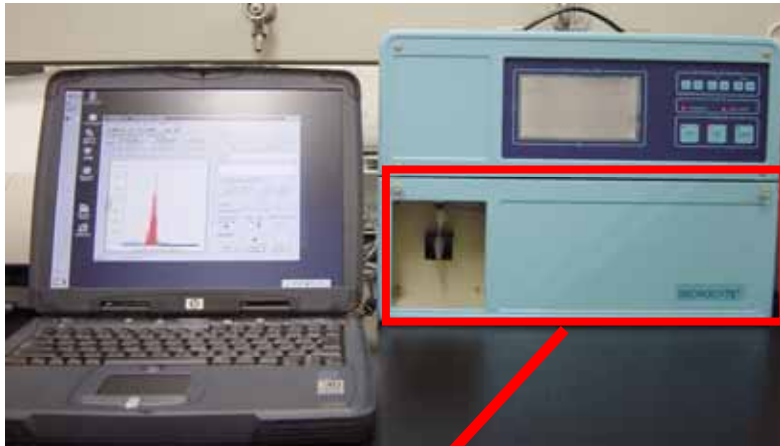
37
Nutrient broth
4 mM L-alanine

検出感度向上

Flow Cytometer

MICROCYTE

(Optoflow, Norway)

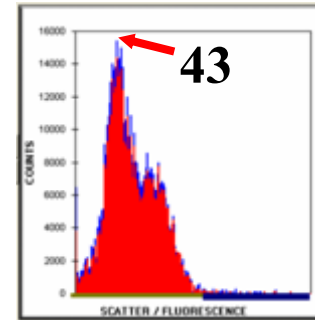


- 散乱光:
粒子の大きさと数
- 蛍光:
生死細胞の大きさと数

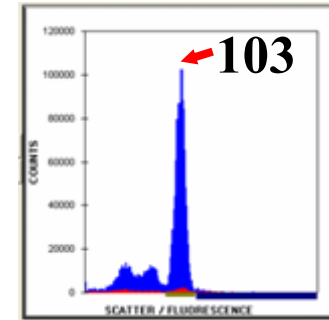
Fluorescent → Red

Nonfluorescent → Blue

B. subtilis

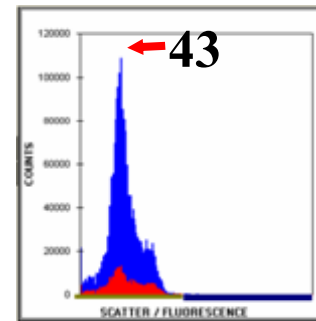


B. subtilis (spore)

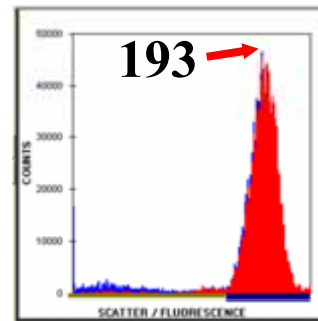


Particle number ↑

E. coli



S. cerevisiae



scatter/fluorescence →

0.1 mg/mL

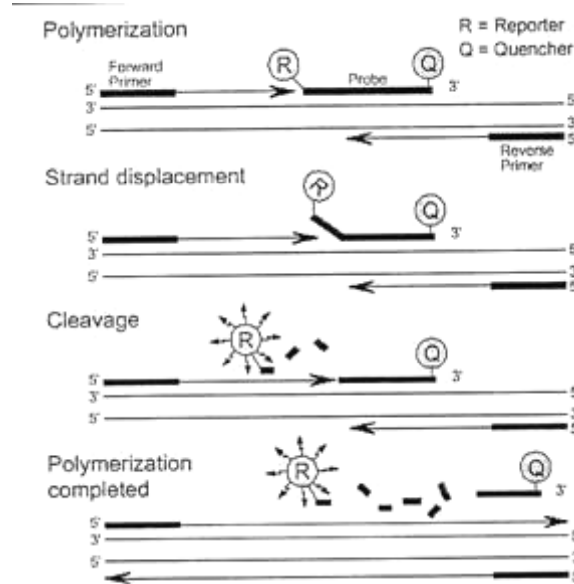
非特異的
細菌スクリーニング

リアルタイム PCR

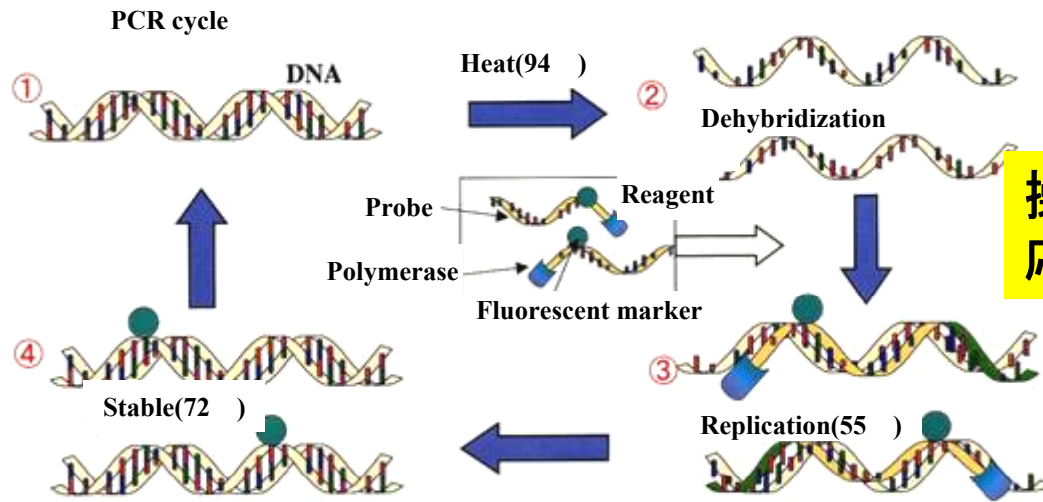
生物剤検知
 遺伝子解析 – DNA hybridization
 応答 1 hr
 Anthrax, Brucella, Plague, Tularemia,
 Salmonella, E.coli O157, Listeria

RAPID

Idaho Technology (USA)

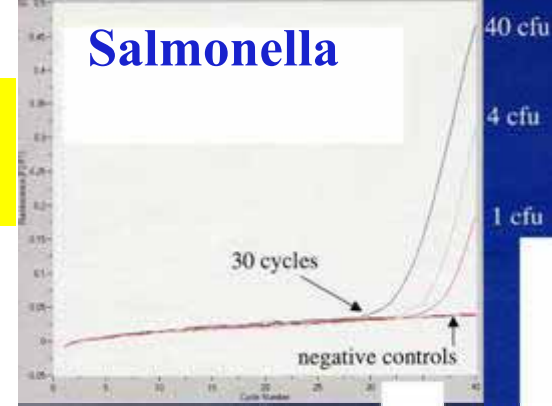


LOD: 10^5 cell/mL



操作煩雑
 応答遅い

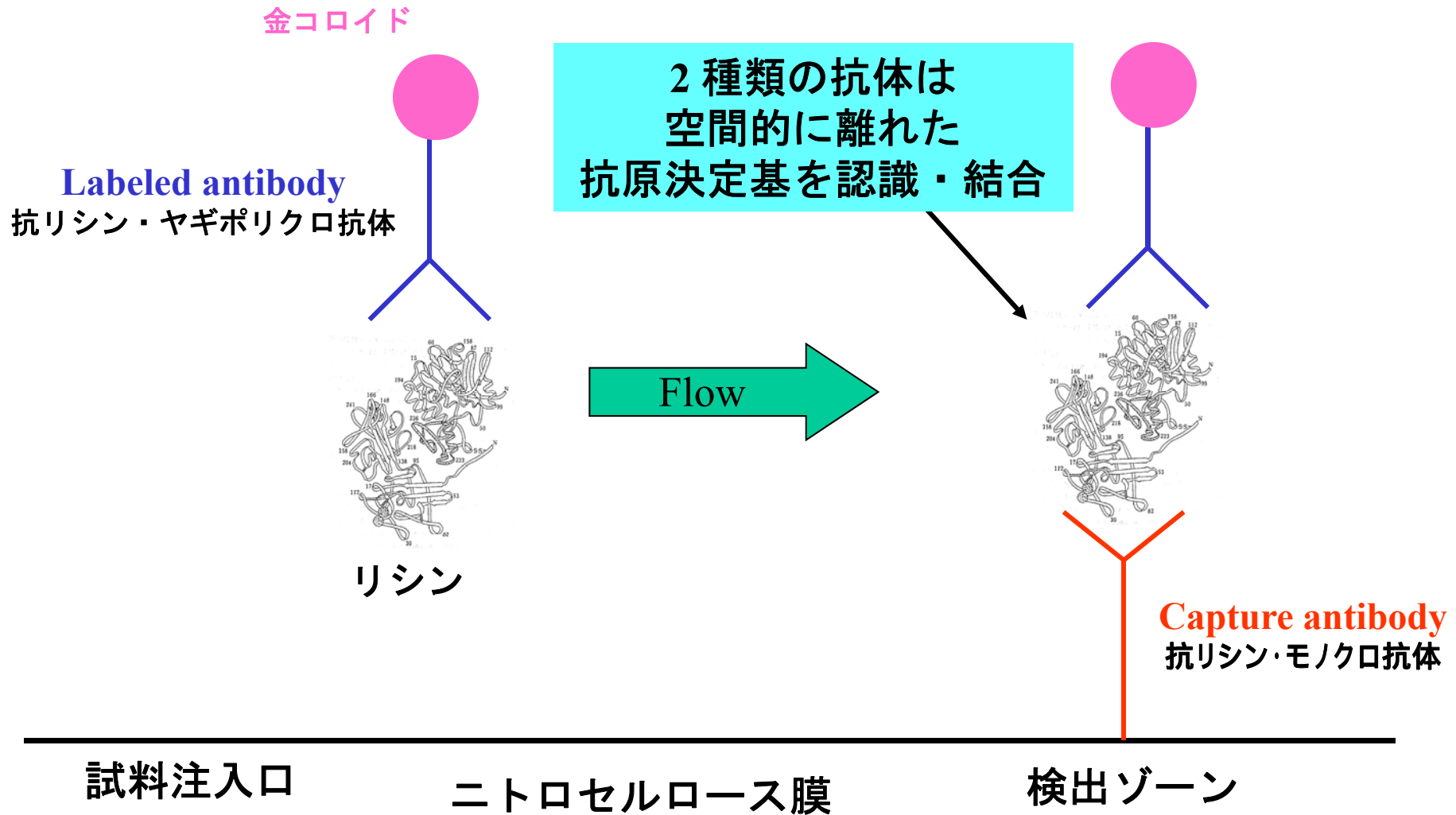
DNA 増幅解析



試料採取 → 細胞破碎 → DNA 抽出 → 抽出液注入 → ロード



Lateral Flow Immunoassay 法の原理



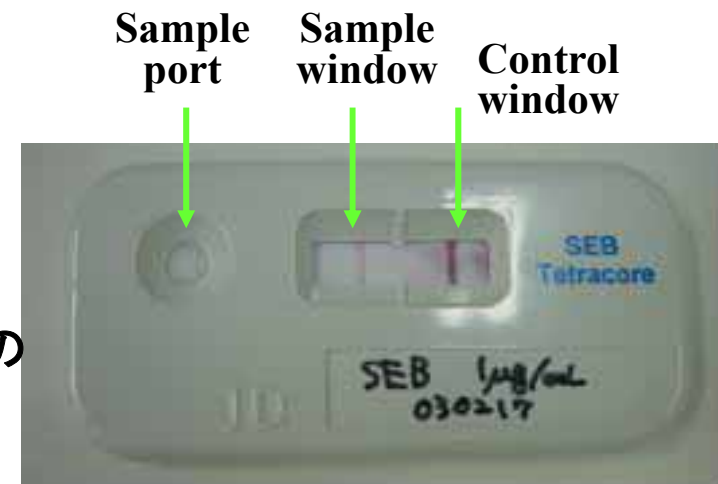
Guardian Bio Threat Alert (BTA) System

Tetracore LLC, Rockville, MD, USA

供給ストリップ：炭疽菌，ペスト，ツラレミア，ブルセラ，ブドウ球菌エンテロトキシン B (SEB)，ボツリヌス毒素 (BTX)，リシン，ワクシニア



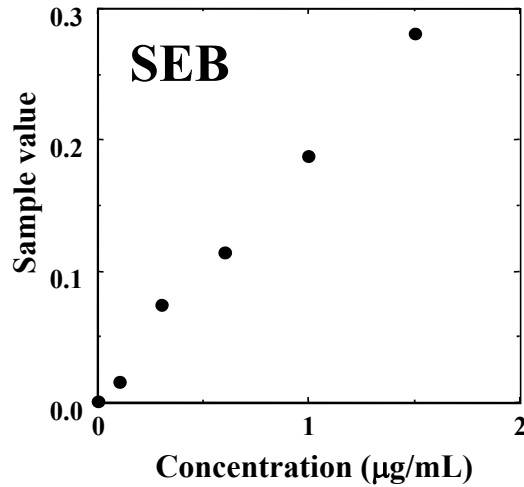
BTA テストストリップ Reader (Alexeter Technologies LLC, Wheeling, IL, USA)



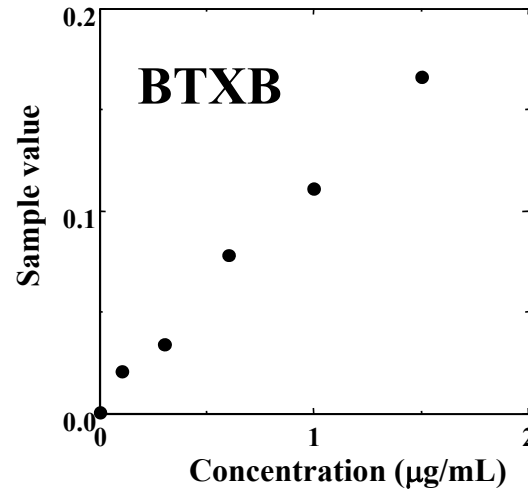
操作法：白い粉は BTA 緩衝液に溶解， 溶液は等量の緩衝液と混合 → 150 µL を試料注入口にアプライ → 15 分後にストリップを Reader に挿入し検知

毒素濃度-応答検量線

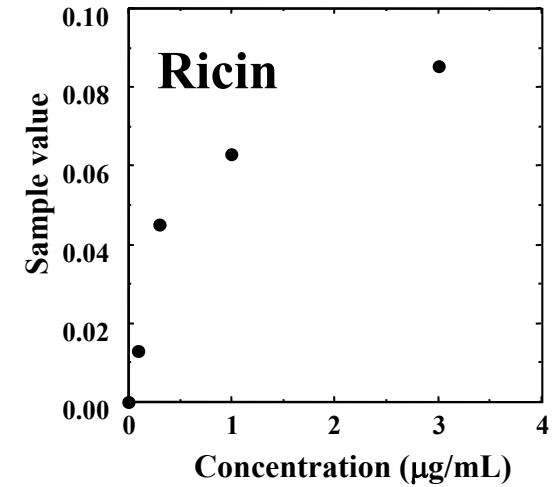
SEB 用ストリップ
低濃度領域



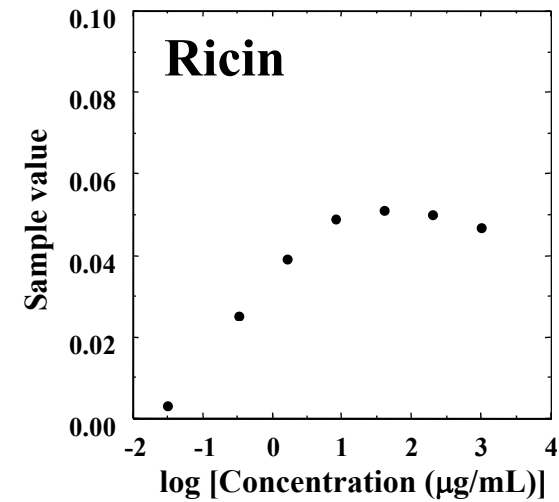
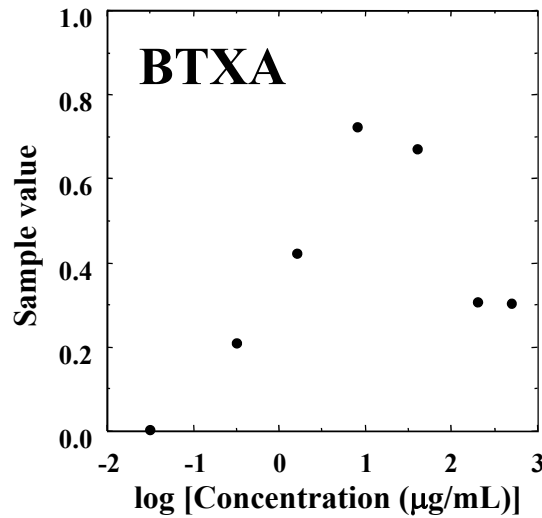
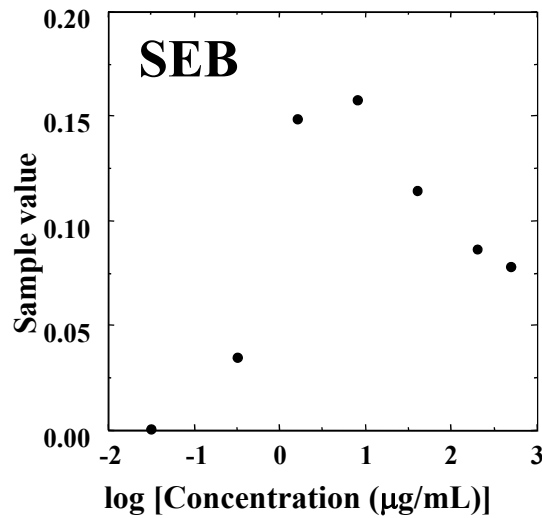
BTX 用ストリップ



Ricin 用ストリップ



高濃度領域



検出限界 : 0.05 µg/mL

検出限界 : BTXA 0.05 µg/mL
BTXB 0.1 µg/mL

検出限界 : 0.1 µg/mL

Lawrence Livermore National Laboratory Autonomous Pathogen Detection System

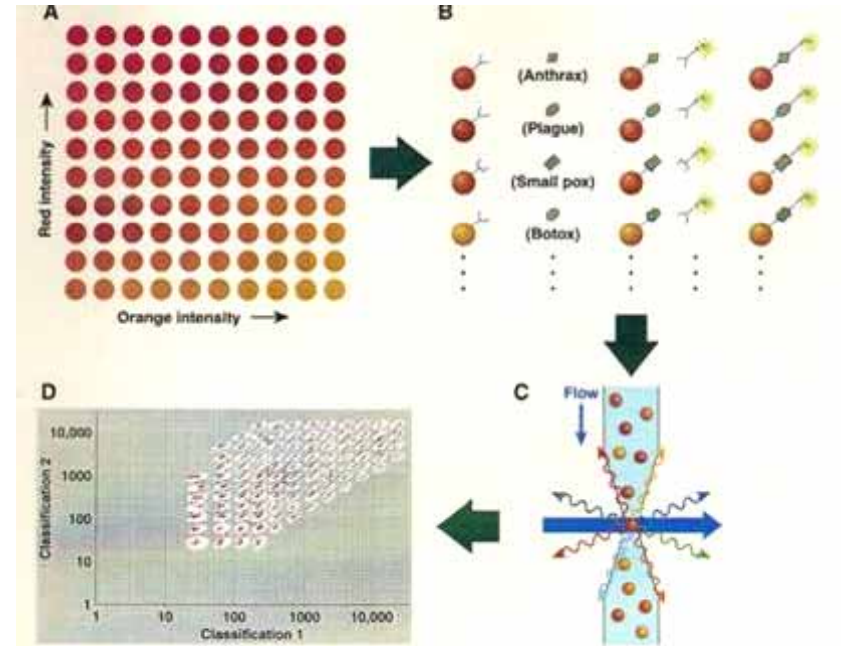


Impactor + Cyclone
2,300 L/min to 4 mL

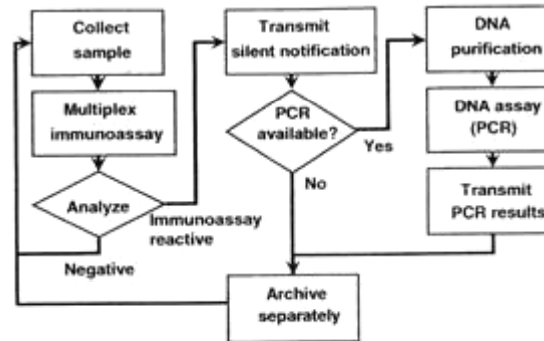
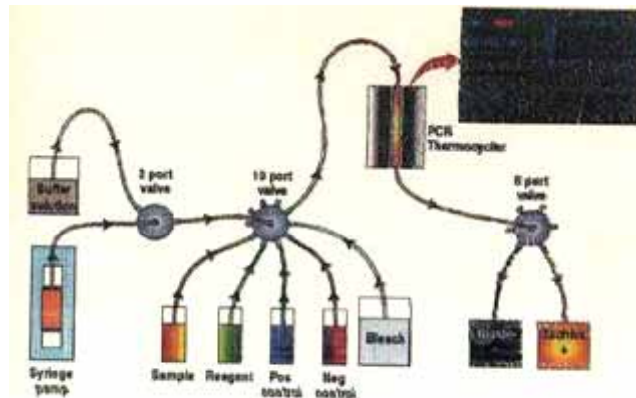


**100-plex Luminex
Liquid array**

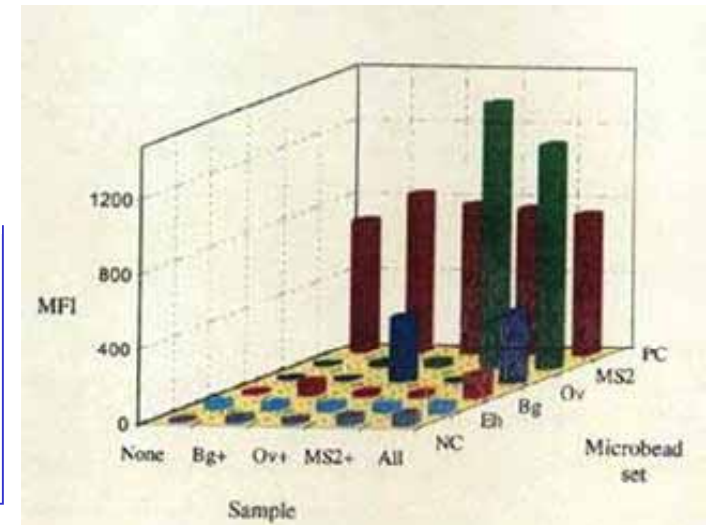
Fluidics module



Flow-through PCR



65 min assay LOD
 1.5×10^4 cfu/mL
1 ~ 3 ng/mL
 10^6 cfu/ml (PCR)



Automated Fiber Optic Biosensor for Multiple Immunoassays

RAPTOR

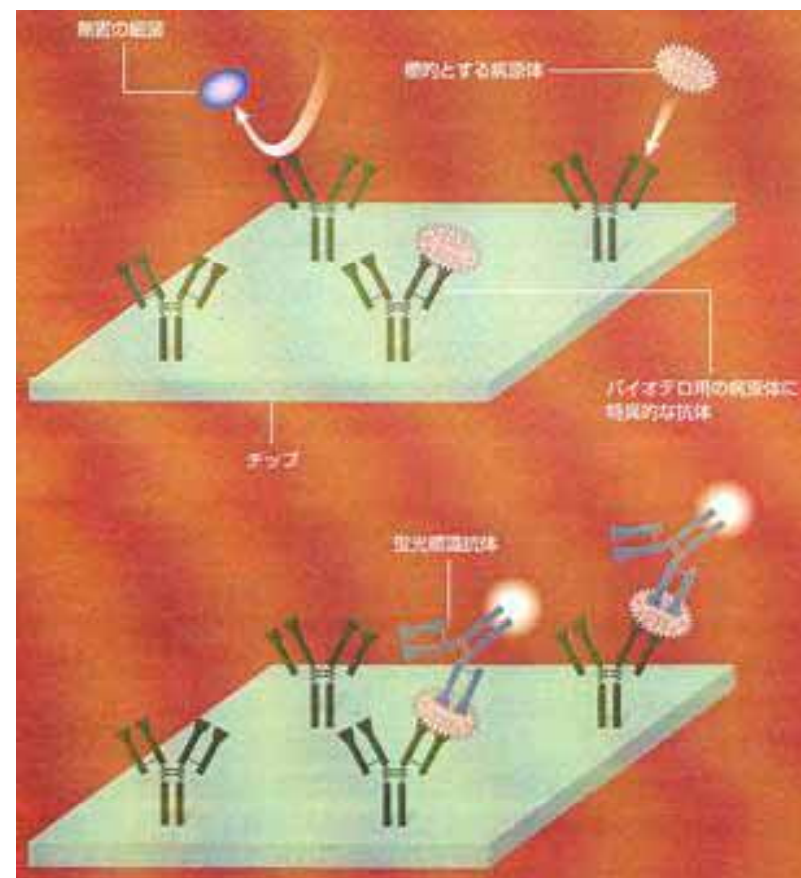
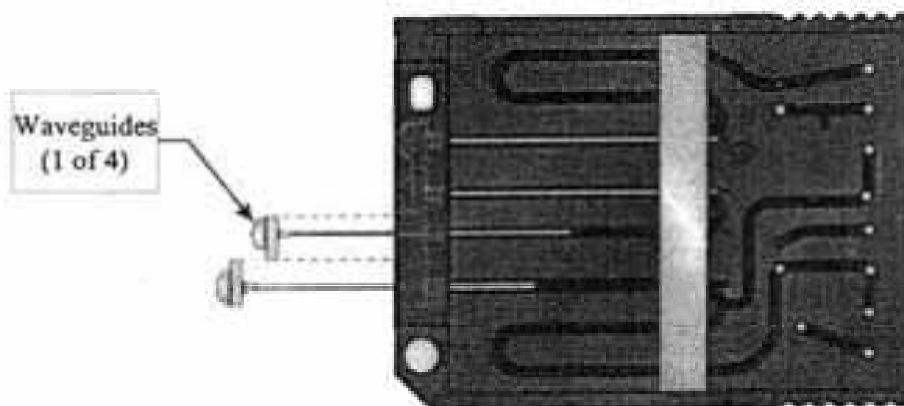
(Naval Research Laboratory; Geo-Centers, USA)



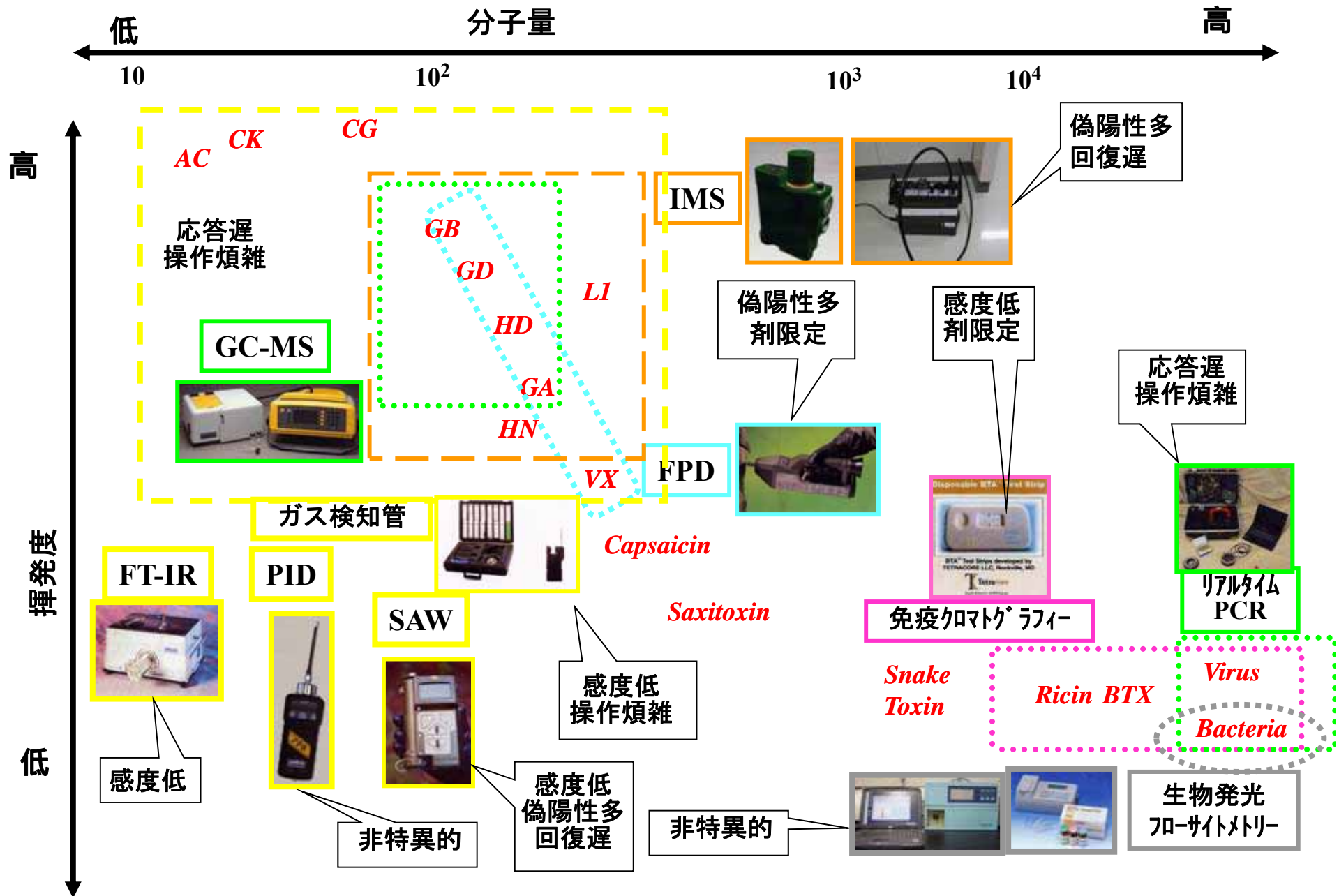
蛍光サンドイッチ法

LOD:
SEB 10 ng/mL
Ricin 50 ng/mL

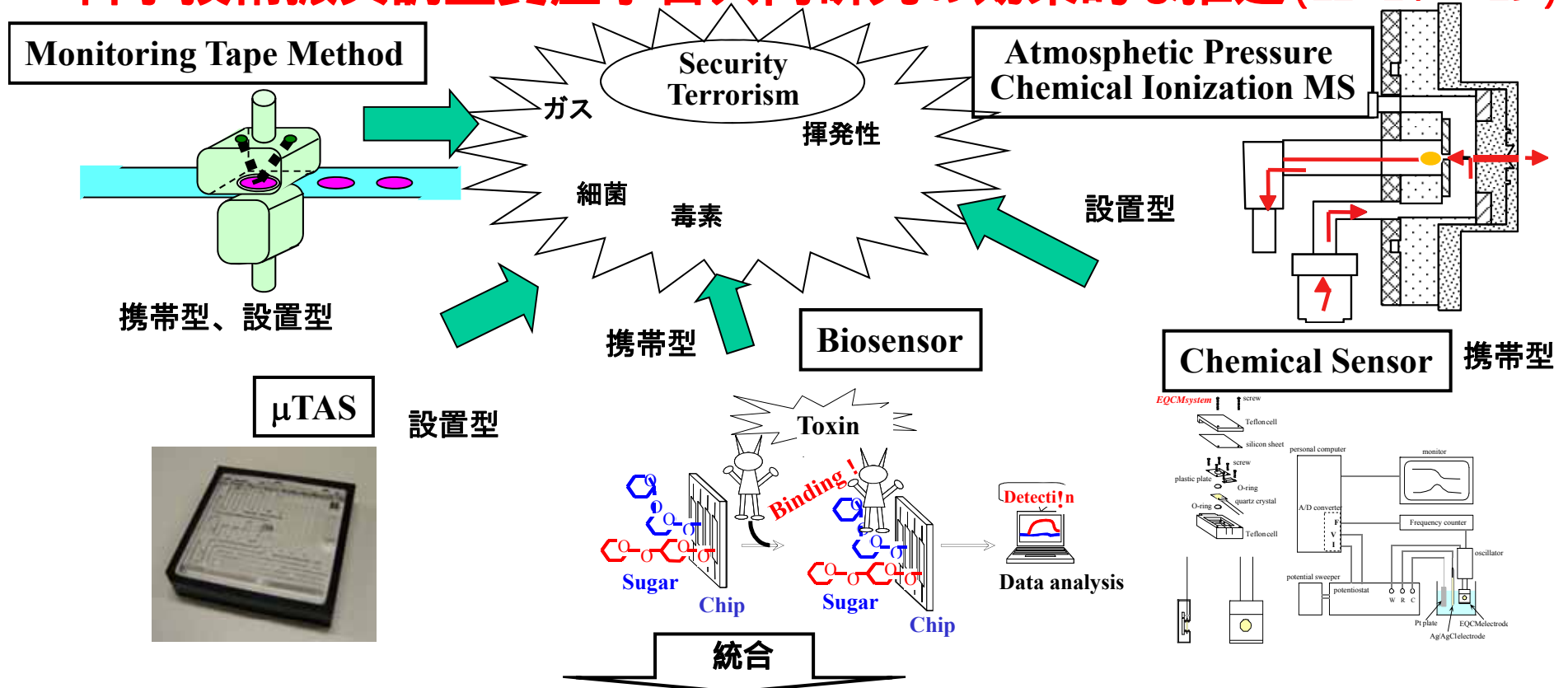
3 (screening) ~ 10 (standard test) min



化学剤・生物剤の物性と現場検知器性能の現状



化学剤・生物毒素の一斉現場検知法の開発 科学技術振興調整費産学官共同研究の効果的な推進 (H 17~19)



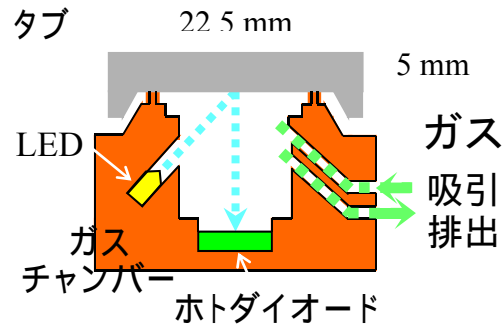
漏れなく一斉に検知できる総合的な現場検知システムを構築



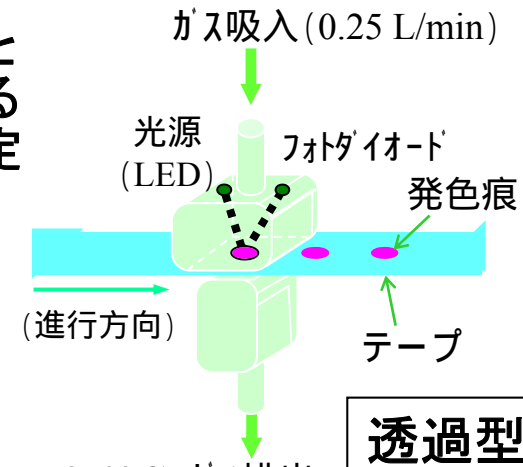
テープ光電光度法 (理研計器(株))

試薬を浸み込ませた多孔性試験紙と試料ガスとの化学反応による生じる発色度合いを光電光度法により測定

拡散型



発色原理
 金属塩の還元反応
 発色化合物の生成
 pH 指示薬との反応



透過型

FP260S
 FP-260AGZ (パイロライザ付)

多流路ガス導入デバイス装置 FP-100

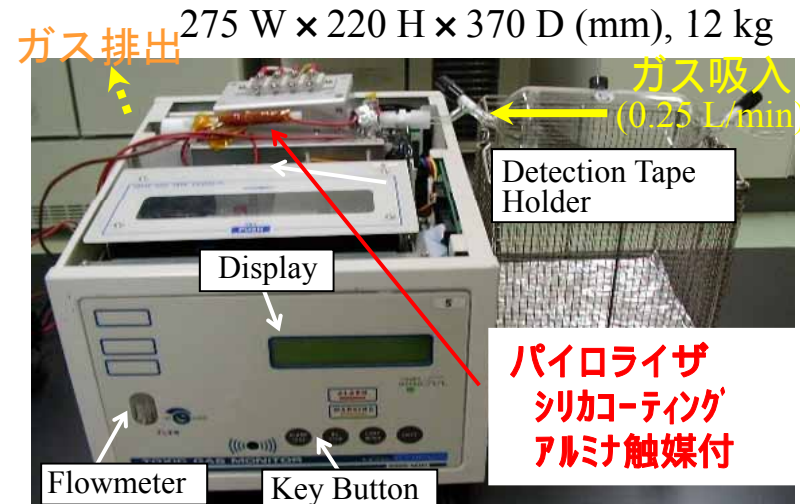
ガス吸入
 (各 0.25 L/min)
 ガス排出



タブホルダー (3連)



CNCI 発色痕



連続測定、履歴現象なし
 定量が可能
 装置が小型

検知テープ



18.8 cm

テーブル光電光度法装置の検知性能

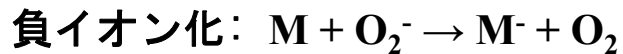
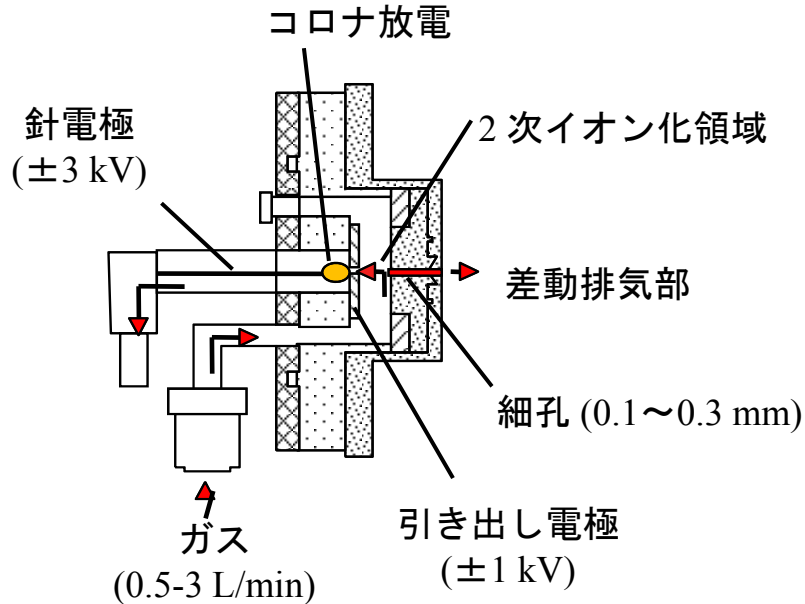
対象ガス	試薬	装置	感度
HCN	Picric acid, alkaline	FP-100	0.2
CICN	4-Benzylpyridine, barbituric acid	FP-100	0.5
AsH ₃	Silver <i>p</i> -toluenesulfonate	FP-100	0.05
COCl ₂	4- <i>p</i> -Nitrobenzylpyridine	FP-100	0.2
Cl ₂	<i>p</i> -Butoxyaniline	FP-100	0.2
CCl ₃ NO ₂	4- <i>p</i> -Nitrobenzylpyridine	FP-260AGZ 熱分解	0.01
GB (GD)	Methyl yellow, Methyl cellusolve	FP-100	2
GA	4,4 -Bis(dimethylamino)diphenylmethane	FP-260AGZ 熱分解	0.05
HD	Methyl yellow	FP-260AGZ 熱分解	2.4
Lewisite 1	Methyl orange	FP-100	0.04
HN	Dragendorf reagent	FP-100	10

mg/m³, 30 sec drawing

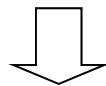
ガス性・揮発性化学剤を高感度・網羅的に検知可（携帯型・設置型）

逆流型大気圧化学イオン化質量分析法 ((株)日立製作所)

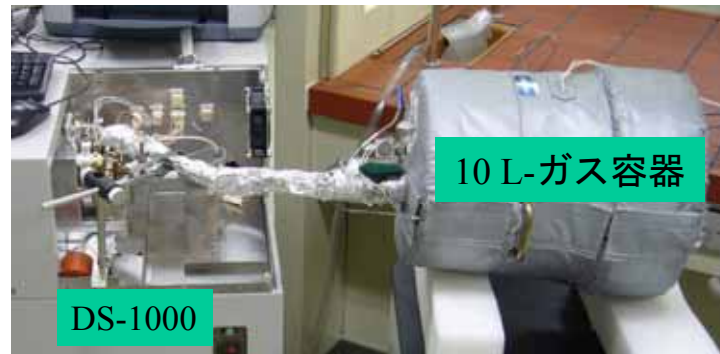
新型イオン源 (逆流型)



コロナ放電で生成されるラジカルを2次イオン化領域から排除し、1次イオンの減少を防止



大気中揮発性化学剤の可搬型
連続モニタリング装置開発



イオントラップ型
APCI-MS装置

剤種	剤	LOD μg/m ³	親イオン	フラグメント
神経ガス	GB	1.7	141 (M+H) ⁺	99
	GD		183 (M+H) ⁺	85, 99
	GA	0.14	163 (M+H) ⁺	135
	VX		268 (M+H) ⁺	128
びらん剤	HD	0.12	175 (M+OH) ⁺	77
	L1	0.5 (-)	185 (M-2Cl+2OH) ⁺	123
くしゃみ剤	DA	2.7	263 (M-Cl+2OH) ⁺	245
	DC	0.03	255 (M+H) ⁺	229
催涙剤	CN		155 (M+H) ⁺	77
	CS		189 (M+H) ⁺	152, 163
	OC		306 (M+H) ⁺	137

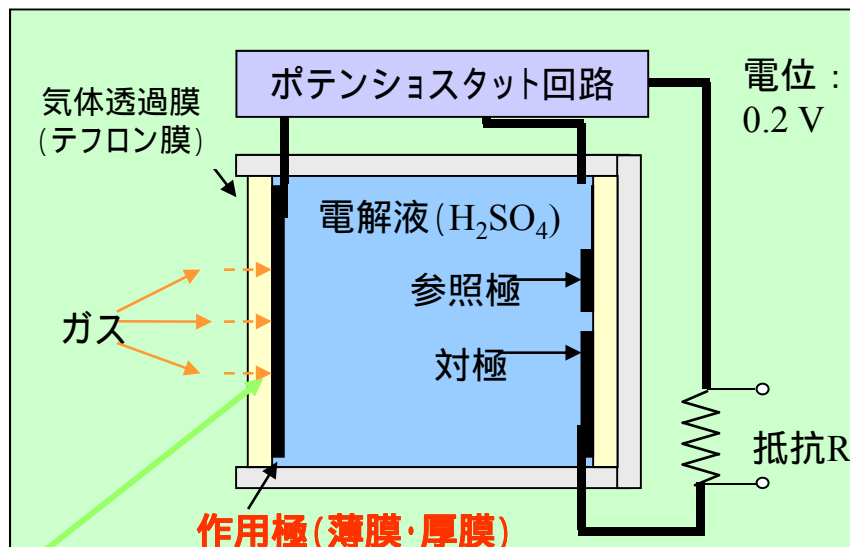
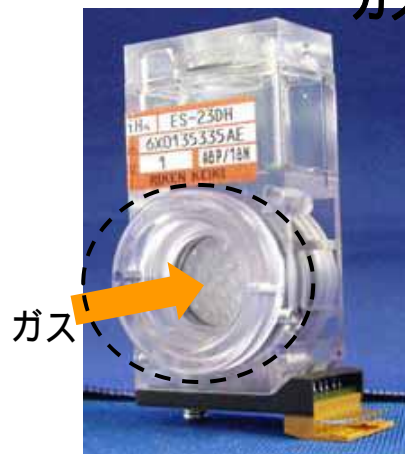
LOD: 2 sec; (-): negative

電気化学センサー技術

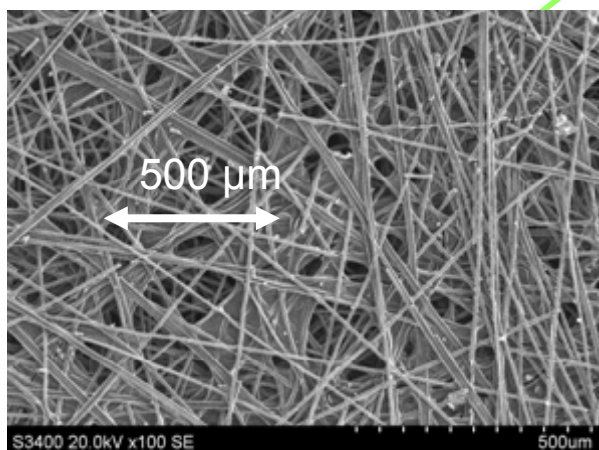
揮発性化学剤検知技術(携帯型)

熊本大学、理研計器(株)

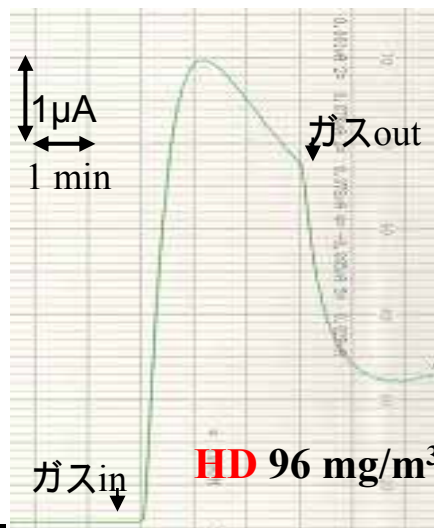
ガスが気体透過膜を通過し、電極に到達した直後に電解される



Au_{4nm} coated CP
without plasma irradiation



高真空二次電子像



0 μA

びらん剤の高感度検知可

Carbon felt
Au 4 nm 2 mL
キャスト：熱処理

LOD

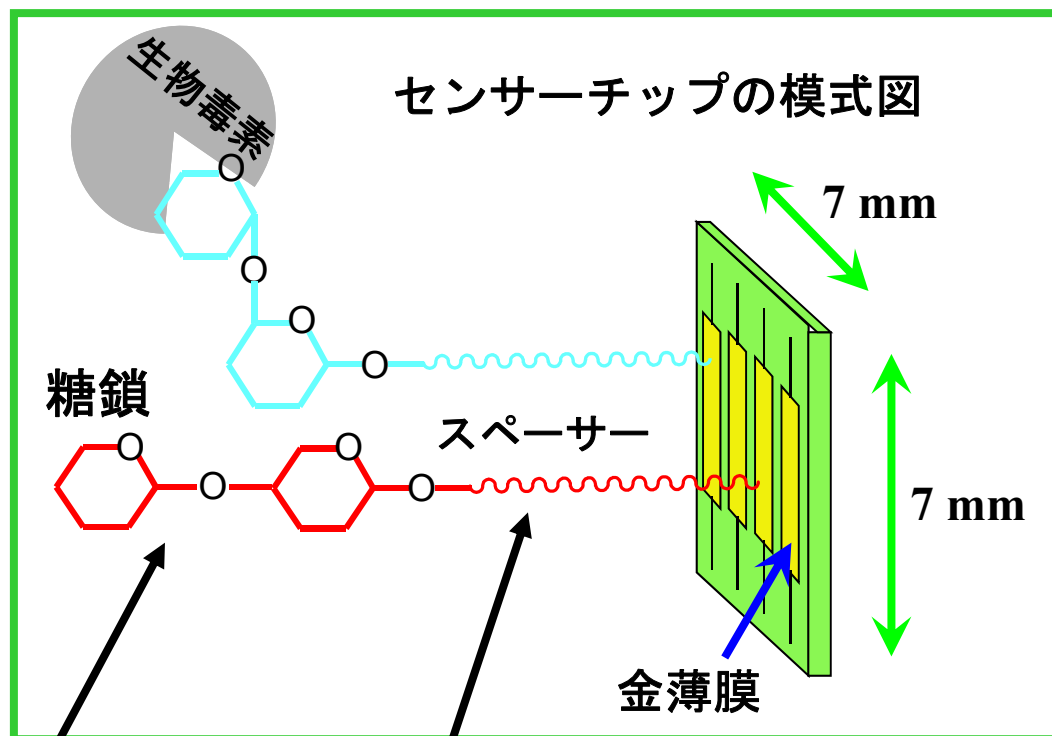
HD: 0.002 mg/m³

L1: 0.2 mg/m³

GB: 1 mg/m³ (Mo)

糖バイオセンサー技術 ((独)産業技術総合研究所)

生物毒素の携帯型検知装置開発



Biacore T-100

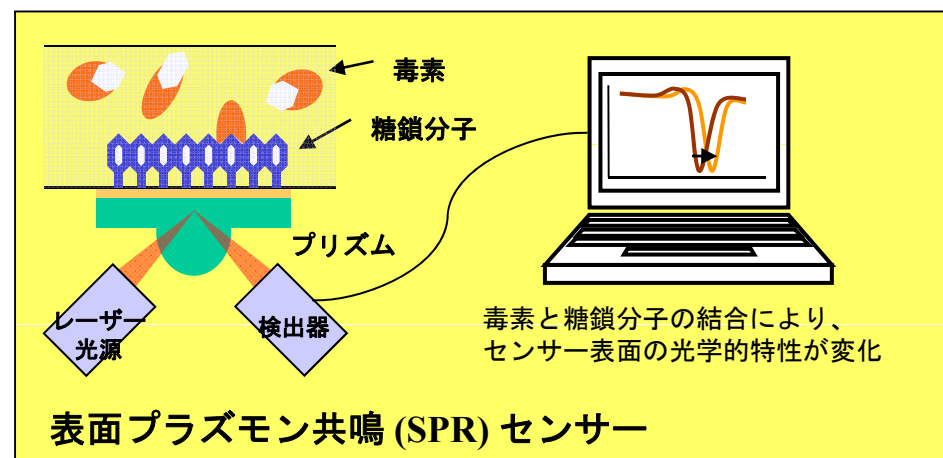
課題 1

10 種類の糖鎖を
分子設計・合成

+

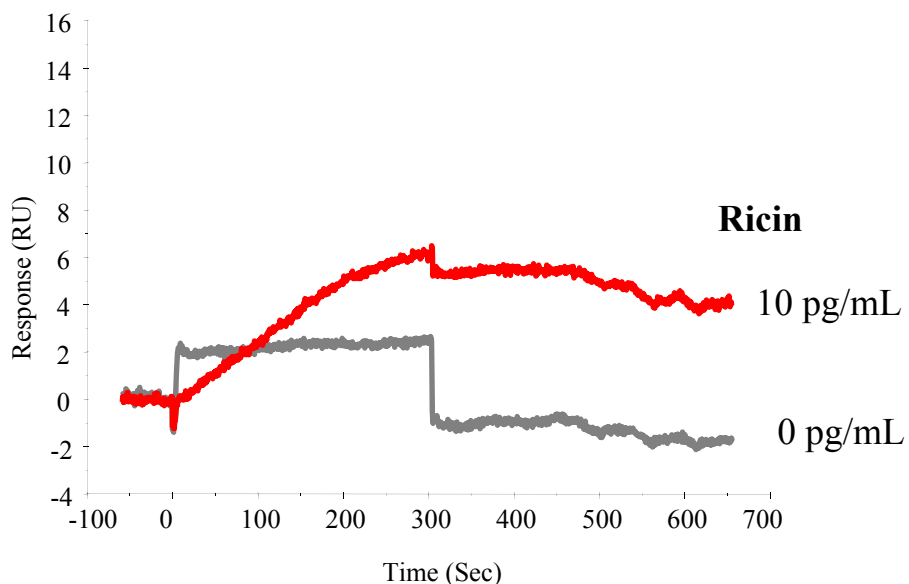
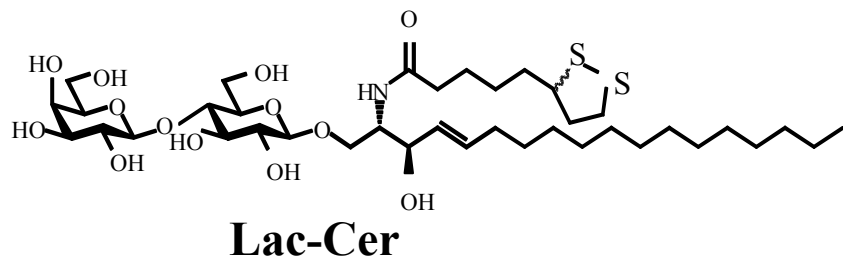
課題 2

糖鎖の固定化法
(つなぎ止める)
の開発



糖バイオセンサー技術による生物毒素の検知

(1) リシン

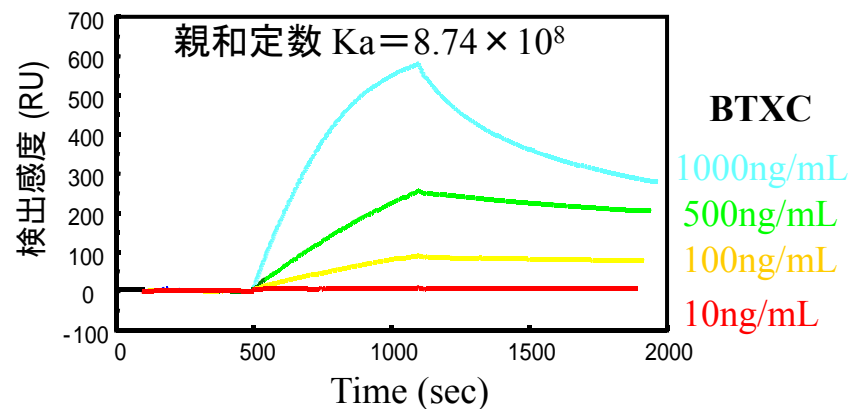
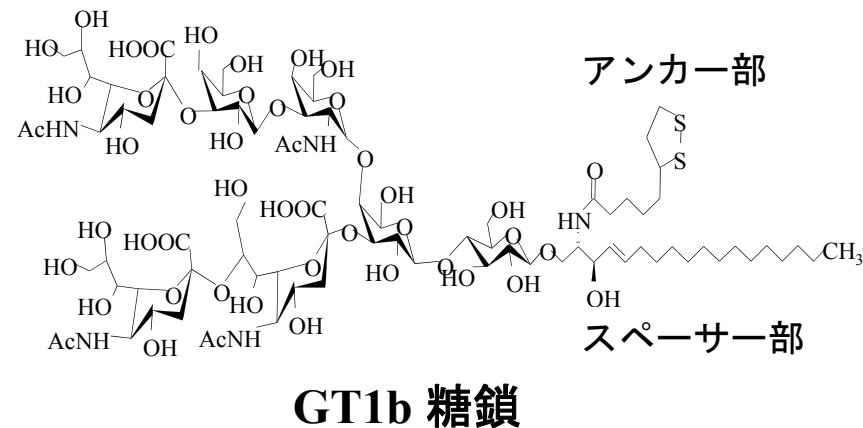


装置 : Biacore T-100

LOD: 10 pg/mL

10 mM HEPES, 0.15 M NaCl, pH 7.5
10 μ L/min
50 μ L injection

(2) ボツリヌス毒素



装置 : Biacore 2000

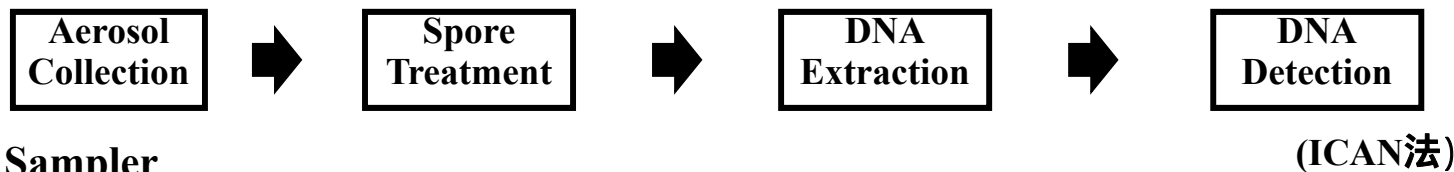
LOD: 10 ng/mL

マイクロ分析チップを用いた自動細菌同定システム

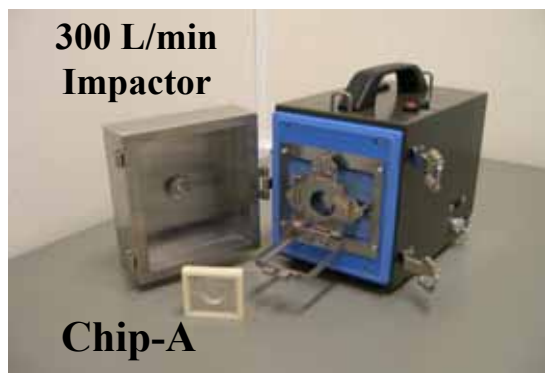
生物毒素(生産菌)検知技術(設置型)

(株)日立製作所

バイオエアロゾル捕集、芽胞処理、DNA 抽出・増幅デバイス統合チップシステム



Sampler



300 L/min
Impactor

Chip-A

150 W × 200 H × 300 D mm, 4 kg

Analyzer



(Chip-A Loading)



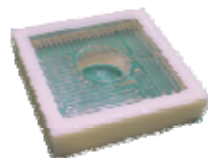
(Chip-B Loading)

300 W × 300 H × 400 D mm, 18 kg



5.08 × 5.08 cm, PDMS

Chip-A

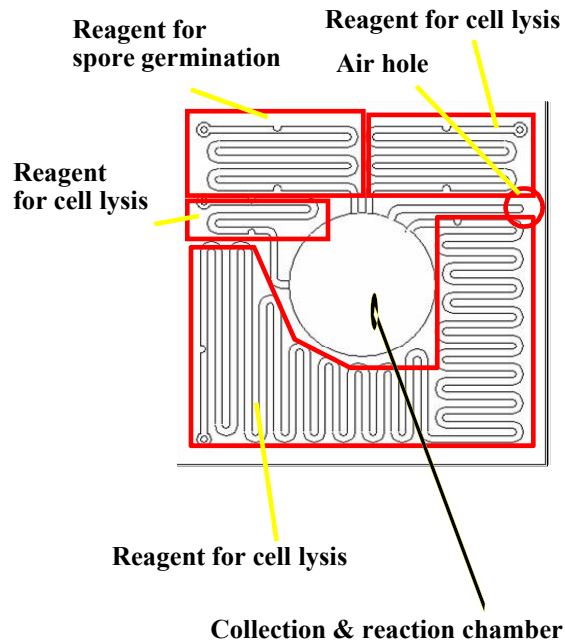


Chip-B

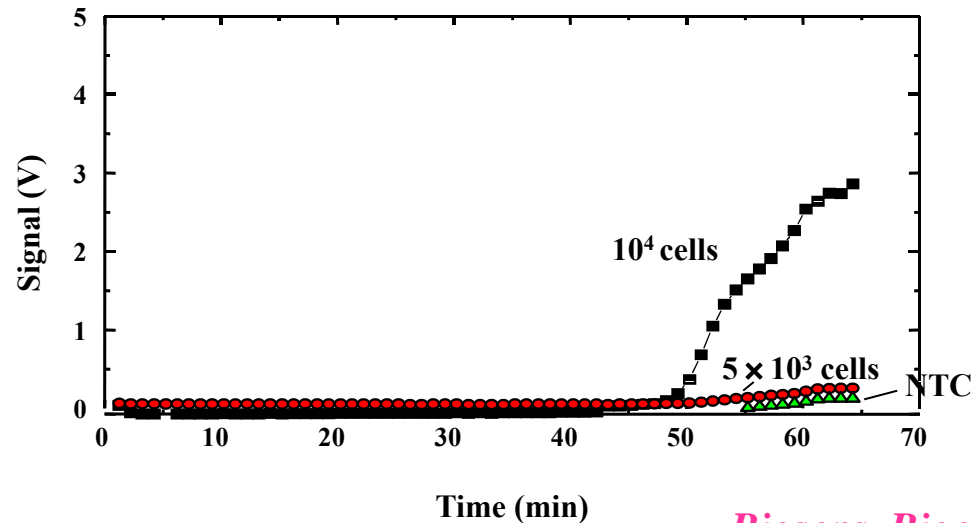
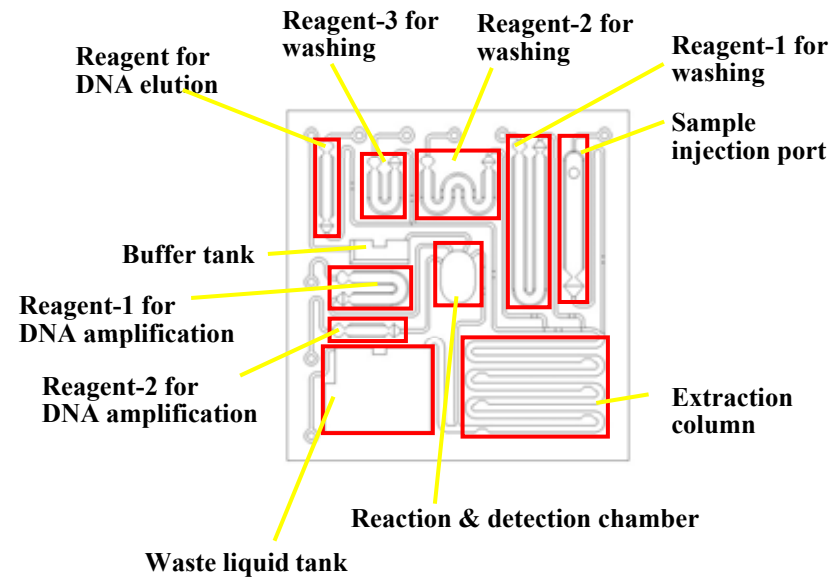


チップ構造と検知例

(Chip-A)



(Chip-B)



LOD: 10^4 芽胞 / mL
(枯草菌)

異なった原理の化学・生物兵器剤検知器を組み合わせる 総合的な検知システム（提案）

1. 現場検知（携帯型）



2. モニタリング（設置型）

