

【資料】

危険物事故の対応にあたる者に必要とされる能力の基準(その5)

危険物技術者(Hazardous materials technician)の能力(承前)

梅津隆弘

4-2.1.3 最低3つの未知物質(固体、液体及び気体、それぞれ1つずつ)が与えられたとき、各未知物質を存在危険により特定又はクラス分類すること。

4-2.1.3.1 未知の固体及び液体物質の同定分析過程の段階を特定すること。

4-2.1.3.2 未知の雰囲気気の同定分析過程の段階を特定すること。

注. 未知物質の特定又はクラス分類は、試験分析機関においてもかなり困難な作業であり、事故現場においてこれを行おうとする場合には、極度に困難な作業となる。危険物の標識その他のリソースが利用できない状態においてはなおさらである。

未知の物質が存在する場合、これらを特定又はクラス分類するための手順は、次に掲げるとおりである。

(1) 共通項目

① 保護衣の装着

気体の場合は当然であるが、固体、液体であっても蒸気圧を有しており、これらの周囲にはその蒸気が存在する。この蒸気圧が開放空間においてはこれら物体の近傍の蒸気量を決定し、閉鎖空間においては空間内の蒸気量を決定する。未知物質である場合には、これらの濃度を予め特定することが不可能であることから、蒸気に対する保護を提供するレベルA保護衣が必要であると思われる(未知物質の特定が進捗した段階で、使用する保護衣の種類を再評価する必要がある)。

また、放射線に対する保護衣は、 α 粒子及び一部の β 粒子に対する保護のみを提供するものであることに留意しておく必要がある。更に、JIS規格には、放射性汚染防護用保護衣類が存在するが(JIS Z 4809-1993)、これは液体又は固体の放射性物質を通過させないものであり、放射線そのものに対する防護についての規定はなく、化学物質用の防具服とほとんど内容が同じになっている。

② 放射線検知

空間線量率を測定するための放射線量の背景値で校正した検知器及び個人被曝線量を測定するための線量等を使用する。背景値に対して、どの程度の放射線被曝を緊急作業に当たる海上保安官等の公務員に許容しているかは、人事院規則一〇—五(職員の放射線障害の防止)(昭和三十八年九月二十五日人事院規則一〇—五、最終改正：平成一四年七月二六日人事院規則一〇—五—三)第四条第三項に次のように規定されている。

「放射線障害を防止するための緊急を要する作業（以下「緊急作業」という。）に従事する男子職員及び妊娠する可能性がないと診断された女子職員の当該緊急作業の期間中の線量は、(中略)、次に掲げる限度を超えないようにしなければならない。

- 一 実効線量の限度 百ミリシーベルト
- 二 等価線量の限度 眼の水晶体については三百ミリシーベルト、皮膚については一シーベルト

これらの値は、国際放射線防護委員会(ICRP: International Commission on Radiological Protection)の勧告(Publication 60)に基づくものとされている¹⁾。このため、ICRPの動向次第では変更されることも充分考えられる。

テロ事案など特殊な事例を別とすれば、一般的に応急対応者が事故現場において遭遇する放射線種は α 粒子、 β 粒子、 γ 線の三種であるとされ、これらのうち、 α 粒子の飛程は空気中で約10 cm程度とされ、 β 粒子の飛程は18m以下、通常のものでは9m以下とされている^{2,3)}。

一方、米国放射線防護委員会(NCRP)の勧告では、緊急時を緊急救命時曝露(Emergency Life Saving Exposure)及び緊急非救命時曝露(Emergency Non-Life Saving Exposure)の2種類に分けており、前者についてはその適用が生涯一回限りとされている。これらの限界値を次に示す⁴⁾。

緊急救命時曝露(生涯一回限り)

個人	1Sv(100rem)	手及び前腕	2Sv(200rem)
曝露総量	3Sv(300rem)		

緊急非救命時曝露

個人	250mSv(25rem)	手及び前腕	750mSv(75rem)
曝露総量	1Sv(100rem)		

また、緊急時における放射線への曝露に関しローレンス・リバーモア国立研究所が作成したES&Hマニュアルには、このような曝露の数値基準のほか、このような曝露が許容される活動及び条件が記載されており、例えば、10remを上回る全身曝露が許容される活動は、救命及び多数の人命を保護するためのものであり、このような活動を行う者の条件は、放射線作業者としての訓練を完了し、存在危険について事前説明を受け、緊急対応により不利な影響を受けない医学的条件を有さず及び含まれている発生可能危険を完全に理解している志願者だけとなっている⁵⁾。

③ pH測定

腐食性物質は、他の検知装置のセンサー一部等を腐食その他の化学反応を生じさせ、検知器を使用している者が気付かないうちに検知不能とすることがあるため、pHを最初に行う必要があるとされている。当然のことながら、雰囲気のパHが判明しても、センサー等の腐食その他の化学反応を防ぐ手立てはないが、予めこのような可能性があることを知っていれば、機器の故障などが生じた際に安全であると誤った判断を続ける可能性が低くなるものと思われ、また、機器使用後の維持管理にもそれなりの注意が払われるものと思われる。

④ 酸素濃度測定

人及び検知装置が正常に機能するには、酸素を必要とするため、酸素濃度測定を必要とする。日本の労働安全衛生法（昭和四十七年法律第五十七号）の規定に基づく酸素欠乏症等防止規則（昭和四十七年九月三十日労働省令第四十二号、最終改正：平成一五年一二月一九日厚生労働省令第一七五号）では、酸素濃度 18%未満を酸素欠乏雰囲気としている。一方、米国においては、酸素欠乏雰囲気は 19.5%未満とされており、更に、23.5%又は 25%を超える場合は酸素過剰雰囲気とされている（酸素過剰雰囲気では火災危険性が増大する）。また、通常雰囲気中の酸素濃度 20.9%からの酸素減少は、空気中の酸素が酸化・呼吸により消費されたか又はその雰囲気中へ他の気体が混入していることを示しており、後者の場合、酸素濃度 0.1%の減少毎に他の気体 0.5% (=5000ppm) がその雰囲気中に混入していることになる⁶⁾。

⑤ 可燃性ガス検知

酸素濃度が正常範囲であれば、接触燃焼式の可燃性ガス検知器が正常に機能する。そうでない場合であって酸素欠乏の場合（19.5%未満）には、この種の可燃性ガス検知器は原理・構造上、可燃性ガスの正確な検知ができないため、代替手段を検討する必要がある（可燃製気体用の検知管の使用又は換気による酸素濃度の正常化など）。また、酸素過剰な場合には、米国の基準では爆発危険が存在するため撤退することとされている⁶⁾。

可燃性気体濃度に関する規定は、労働安全衛生規則（昭和四十七年九月三十日労働省令第三十二号、最終改正：平成一六年三月三〇日厚生労働省令第七〇号）第三百二十二条（地下作業場）及び第三百八十九条の八（ずい道等の建設作業）にのみ存在し、爆発下限界の 30%以上を危険であるとしている。人事院規則一〇一四（職員の保健及び安全保持）（昭和四十八年三月一日人事院規則一〇一四）第二十八条には、次の規定があるが、濃度に関する明確な数値は示されていない。

「第二十八条 各省各庁の長は、次の各号に掲げる危険による職員の災害の発生を防止するために必要な措置を講じなければならない。

（中略）

二 爆発性の物、発火性の物、引火性の物等による危険

（後略）」

海上保安庁海難救助マニュアルに記載されている基準では、可燃性気体の LEL の 25%未満であれば、船舶区画内において作業を継続することとなっている⁷⁾。

一方、米国においては、閉鎖空間においては LEL の 10%未満、その他の場合には 25%未満であれば作業を継続することとなっている⁶⁾。

これらの基準値はいずれも政策的決定事項であり、いずれが良いとか悪いとかと比較できるものではないが、一応参考として掲げておく（但し、この基準値が低い方がより人命を尊重しているものであるといえるかもしれないことも併記しておく）。

⑥ 毒性気体検知

4 種ガス検知器では、可燃性ガス検知及び酸素濃度検知のほか、一般的に、一酸化炭

素濃度検知及び硫化素濃度検知を行える。PID(Photo-Ionization detector)が使用できる場合には、使用する。

(2) 未知の固体

試料を試料瓶に採取し、安全な場所に移動した後、次に掲げる試験を行う。これら一連の試験を行えない場合には、分析のために試験センターにここまで得られた検知器等での結果、採取場所、採取日時、試料番号などの記録の写しと共に分析のため送付する。

- ・ 対水反応性試験

試料に水を滴下したときの反応により対水反応性の有無を確認するもの

- ・ 水溶液 pH 試験

試料に水を加え、泥濘状にして、pH を試験するもの

- ・ 酸化性物質試験

試料に塩酸を加え、泥濘状にして、特別な試験紙により酸化性物質であるかを確認する試験

- ・ 過酸化物試験

特別な試験紙を用いて、酸化性物質又は過酸化性物質であるかを確認する試験

その後、分析のため研究室へと試料を送付し、照会を行う。

未知の固体の現場での分析フローチャート及び使用器材については参考文献⁶⁾を参照のこと。

(3) 未知の液体

試料を試料瓶に採取し、安全な場所に移動した後、次に掲げる試験を行う。これら一連の試験を行えない場合には、分析のために試験センターにここまで得られた検知器等での結果、採取場所、採取日時、試料番号などの記録の写しと共に分析のため送付する。

- ・ ヨウ素試験

試料に数片のヨウ素片を加え変色の有無を調べることにより、飽和炭化水素、非飽和炭化水素、極性炭化水素などの簡易判定を行うもの

- ・ 含水試験

試料を含水試験紙により調べることにより、水分の有無を調べるもの

- ・ 極性試験

試料に水を加え、混合の有無により極性の有無を調べるもの

その後、分析のため研究室へと試料を送付し、照会を行う。

未知の固体の現場での分析フローチャート及び使用器材については参考文献⁶⁾を参照のこと。

(4) 未知の気体

適切な検知管を適切な順番で使用すれば、ある程度、物質を特定できるとされており、

参考文献 6)では Drager 社の検知管により(同様の検知管による特定体系を有する会社としてガステック社などがあり、会社毎の気体特定フローチャートを準備している可能性もある 8))、可燃物、アルコール類、アルデヒド類、ハロゲン化炭化水素、エステル類、エーテル類、芳香族炭化水素、ケトン類あたりまで分類が可能であるとしている。

これ以上の特定を続けるためには、試料を集気瓶などに採取して、分析のために試験センターにここまで得られた検知器等での結果、採取場所、採取日時、試料番号などの記録の写しと共に分析のため送付する。

これら一連の特定作業は、準備の程度にもよると思われるが、短時間で済むものではない。物質の特定のために、漏洩・漏出現場に試料採取のため人員を派遣することを決定してから、除染場所の設営、酸素濃度計の暖機その他、可燃性ガス検知器の暖機その他、放射線検知器の暖機・背景値の計測、必要とされる検知管の手配、通信機器の準備など資機材の準備に加えて、何をどう行うべきかのブリーフィング、試料採取場所から戻った際の人員及び資機材・試料の除染、試料の記録・搬送、試験所における分析などに時間を必要とする。

4-2.1.3.3 以下に掲げる存在危険の判断に用いられる監視装置、試験紙及び試薬の種類を特定すること。

- | | |
|------------------------------|----------|
| (a)腐食性(pH) | (b)燃焼性 |
| (c)酸化電位(oxidation potential) | (d)酸素欠乏 |
| (e)放射性 | (f)毒性レベル |

注. これらの存在危険の判断に用いられるものには、次に掲げられるものがある。

(a)腐食性(pH) 4,6)

腐食性(pH)の判断には、pH 試験液(pH 指示薬)、pH 試験紙、pH 計が使用される。このうち、pH 試験紙及び pH 試験液は pH の値により変色する試薬の色を基準となる色の表と比較する比色試験であり、pH 試験紙は pH 試験液を紙に浸透させ、乾燥させたものである。pH 計は市販品ではガラス電極法を用いたものが一般的であるとされる。

(b)燃焼性 4,6)

燃焼性の判断には、可燃性ガス検知器が使用される。測定に用いられるセンサーには、ホイートストン・ブリッジ・センサー、触媒ビーズ・センサー、酸化金属センサー及び赤外線センサーがある。

前二者は空気中の可燃性気体(蒸気)を加熱されたセンサー部で触媒をもちいて燃焼させ、燃焼熱によるセンサー部の温度上昇に伴う電気抵抗の増加から LEL%濃度を測定するものである。

酸化金属センサーは空気中の可燃物及び水分とも反応し、この反応により生じた熱によるセンサーの温度変化に伴う電気抵抗の変化から濃度を求めるものであるが、前二者と異なり LEL%濃度を直接表示しないが、高感度であるとされる。

赤外線センサーは、空気中の気体分子がある種の赤外線を吸収することを利用した一種の吸光度センサーであり、他のセンサーと異なり燃焼反応を利用していない。

なお、気体濃度計には熱伝導センサーを用いた%濃度を測定するものもあるが、これは気体燃焼性の危険を測定するというより、文字通り気体濃度を測定するものである。また、可燃性ガス検知器で、ppm 濃度を表示するものもあるが、可燃性気体の漏出、可燃性液体の漏洩などに起因する不均一系での対応が主なものとなること、校正気体と異なる可燃性気体(蒸気)を検知することが多いと思われることから、表示が細かい ppm 濃度表示より大まかな LEL%濃度表示で充分であると思われる。

(c)酸化電位 9-15)

酸化電位(oxidation potential)は、酸化還元電位(oxidation-reduction potential: ORP)とも呼ばれ、溶液の酸化力を示す量であり、2つの物質の間で酸化還元反応が起こるとき、酸化還元電位のより大きい物質が他の物質を酸化できる。一般的には、mV 単位で測定され、酸化傾向の大きい物質では大きな正の値、還元傾向の大きい物質では大きな負の値を示す。酸化電位の測定には、構造的に pH 計に類似している ORP 計が使用される。

しかしながら、筆者の現在の浅識では、危険物事故対応時にこの値をどのような目的で使用するのかわかりません。文献によれば、地下水、表面水の汚染度の測定、下水・工業廃水処理の進行状況の判断などに使用されているようであるが、危険物事故対応時の使用例については検索したもののなか該当するものが存在していない。過酸化物質、シアン化合物及び硫化物の検知のために酸化還元電位値を使用すると記載している文献¹³⁾もあるが、具体的方法が記されておらず、また、酸化還元電位の Nernst 式からも直接これらの物質の特定のために用いることはできないと思われる。ORP 計が NFPA 472 に掲げられている理由として考えられるのは、NFPA 471、Recommended Practice for Responding to Hazardous Materials Incident(危険物事故への対応に関する勧告された行為)の 4-5.1(i)に Other meters to measure specific products such as chlorine, hydrogen sulfide, or ethylene oxide と掲げられているためであるのかもしれない。

(d)酸素欠乏 4,6)

雰囲気中の酸素欠乏の判断に用いられる装置は、酸素濃度計である。現在のところ、ガルーバニ電池式のもので主流のようである。

(e)放射性 4,6)

放射性物質からの放射線の判断に用いられる装置は、各種放射線計(α 、 β 、 γ 線用)である。放射線が存在する場所での、被爆線量の測定には線量計が用いられる。

(f)毒性レベル 4,6)

雰囲気中に毒性物質がどの程度存在しているかの判断に用いられる装置は、0.1%単位で測定される酸素濃度及び数 00ppm 単位(1LEL%は、ものによって異なるが、大体 100~1000ppm 程度)で測定される可燃性気体を測定する装置と異なり、人体への影響が懸念される濃度が数桁低い場合があるため、かなりの高感度が要求されることがある。このような

雰囲気判断に使用されるものには、酸化金属センサーを用いた測定装置、FID(Flame Ionization Detector)、PID(Photoionization Detector)、イオン移動度スペクトル計(ion mobility spectrometry: IMS)を用いた測定装置がある。これらの測定装置は、物質の特定はできないものの、毒性化学物質が雰囲気中に数 ppm 存在する場合でも、検知するとされる。

4-2.1.3.4 以下に掲げる監視装置、試験紙及び試薬の選択及び使用に関連する能力及び限界要因を特定すること。

- | | |
|---------------------|-------------|
| (a)一酸化炭素濃度計 | (b)検知管 |
| (c)可燃性ガス検知器 | (d)酸素濃度計 |
| (e)線量計 | (f)光イオン化検知器 |
| (g)pH 指示器及び／又は pH 計 | (h)放射線検知装置 |
| (i)試薬 | (j)試験紙 |

注. これらの能力及び限界には、次に掲げるものがある。

(a)一酸化炭素計

現在、一酸化炭素濃度計に使用されているセンサーには、赤外線気体センサー、電気化学気体センサー(低電位電解式センサー又はエレクトロケミカルとも称される)、半導体気体センサー(ソリッド・ステート気体センサー、MOS(metal oxide sensor)又は酸化金属センサーとも称される)がある¹⁶⁾。これらのセンサーの有する利点及び欠点には次に掲げるものがある。

①赤外線気体センサー(Infrared gas sensor)^{17,18)}

赤外線気体センサーは、試料気体中を赤外線を通させ、この結果生じる赤外線の減衰又は試料気体中の特定の気体の温度上昇を測定することにより、試料気体中の特定の気体濃度を測定するものである。

利点

- ・ 測定雰囲気とセンサーとの直接接触がない
- ・ (直接接触しないため、センサーの劣化が生じにくく)維持管理の回数が少ない
- ・ 使用が容易である
- ・ 高精度
- ・ 気体選択性が高い(各気体は独特の赤外線吸収特性、吸収量を有するため)
- ・ 測定範囲が広範である(ppm 水準から 100vol%まで測定できる、但し、一酸化炭素については通常 1vol%以上について測定可)
- ・ センサーの寿命が長い(10 年程度)
- ・ 化合物によるセンサー中毒問題がない
- ・ 校正が容易であり(1 回の校正で 5 年程度使用可)、異常機能の判断が容易である
- ・ 濃度に対する応答が直線的である

限界

- ・ 温度変化に敏感である

- ・暖機に 10～20 分かかる

②電気化学センサー(Electrochemical sensor) 18,17,19)

電気化学センサーは、電解質内に拡散してきた特定の気体を電極で酸化又は還元反応させることにより生じた電流を測定することにより、特定の気体の濃度を測定するものである。

利点

- ・濃度に対する応答が直線的である
- ・気体選択性が良好
- ・精度が高い
- ・再現性が良い
- ・センサーの寿命が長い(通常、2～3 年、長寿命のものは 5 年程度)
- ・消費電力が少ない

限界

- ・使用可能温度範囲が制限されている
- ・温度変化に敏感である
- ・電磁的干渉・無線周波数干渉を受ける
- ・保管時(使用していないとき)にも化学反応が進行するため寿命がある
- ・分極性が消失している場合、立ち上がりに時間が掛かる
- ・ある種の雰囲気(溶媒蒸気中)では、中毒が生じる
- ・正常に機能するためには、酸素を必要とする

③半導体気体センサー(Solid-state Gas Sensor)18,17)

特定の温度に加熱された酸化金属上を試料気体が通過するとき、特定の気体は荷電イオン又は錯体へと解離し、結果として電子の移動が生じる。これにより変化した酸化金属の導電性を検出し、特定の気体の濃度を測定するものである。

利点

- ・長寿命(10 年以上)
- ・多様性(異なる気体の測定又は異なる測定範囲での測定が可能)

限界

- ・濃度に対する出力が直線的でない

これらのセンサーのうち、赤外線気体センサーは、一酸化炭素濃度の測定範囲が 1vol% 以上であるため、危険物事故対応時における使用は勧告できない(一酸化炭素の TWA は 35ppm(NIOSH)又は 50ppm(OSHA)であり、IDLH は 1200ppm であるため 20)、1vol%以上しか測定できないのは非常に危険である)。

残りの電気化学センサー及び半導体気体センサーいずれも、一酸化炭素濃度の測定値に干渉する気体を有するため(例えば、電気化学センサーでは H_2S 、 SO_2 、 NO 、 NO_2 、 H_2 など)、予めどのような気体によりどの程度の影響を受けるのかを調査しておくべきである。

(b)検知管 6,21,22)

検知管は、種々の特定の気体と反応させるため一定の量の試料空気を引き入れて、変色域の長さ又は変色の程度により、当該特定の気体の濃度を測定するために、試薬で処理した珪素などの媒体物質をガラス管の中に封入したものである。検知管に用いられる反応は、存在することが推定される気体ごとに異なるため、ある程度の気体の特定ができていない場合には、効果的に使用することはできない。

利点

- ・選択性がある
- ・広範な種類の気体の存在及び濃度を即時に測定できる。
- ・未知の気体を、特殊な検知管を用いた「有／無」検査及びこれに引き続く一連の他の試験管を使用した測定により特定できることがある

限界

- ・目的気体以外の干渉気体により反応が生じる
- ・濃度が時間変化している場合、これに対応した測定ができない
- ・湿度、温度、圧力、光、製造後の経過年数の影響を受ける

その他として、検知管の変色域を判断することが困難なことがあるため(特に、夜間又は保護衣着用時)、比較用としてみ使用の検知管を持参し、これと比較することが勧告されている。また、検知管で何も変色が生じないということは、その場所に、干渉気体を含めて、対象気体が存在しないという有用な否定的な情報であることを考慮する必要がある。新しい検知管による測定装置では、目視ではなく光センサーにより変色域を判断し濃度を測定するものもある。

(c) 可燃性ガス検知器

①触媒センサー22)

ホイートストン・ブリッジの片側の両脚に燃焼触媒として作用する白金などで表面処理した被覆されたコイル及び表面処理していないコイルを配置したもの。触媒で表面処理されたコイル上では、LEL 未満で燃焼反応が生じるため、もう一方のコイルより温度が上昇し、抵抗が増加するため、電圧差が生じる。この電圧差が燃焼反応の多少により変動することを利用して可燃性気体(蒸気)濃度を測定するもの。

利点

- ・広範な種類の可燃性気体(蒸気)に応答する

限界

- ・触媒燃焼のため空気中に酸素があることが必要(必要とされる酸素濃度は機種に依存する)
- ・正確な可燃性気体(蒸気)濃度は、校正に用いたものに対してのみ得られ、それ以外のものには修正を必要とする
- ・ある種の物質を含む雰囲気中で使用するとセンサーが中毒する(センサー表面が被

覆されたり、触媒中で化学反応しセンサーの能力が損なわれる。清浄空気中で元の機能に戻ることも戻らないこともある)

- ・高濃度の可燃性雰囲気中では、触媒が熱により損なわれることがある
- ・長期間の使用により、センサーの感度が下がる(最初に、メタンに対する感度が低くなる)

②熱伝導性センサー(22,23)

%LELではなく、0～100vol%の可燃性気体(蒸気)濃度を測定するセンサー。触媒センサーと同様に2つのコイルがホイートストン・ブリッジの片側の両脚に設置されているが、いずれも白金等で触媒処理されていない代わりに、参照側のコイルは密閉された小室に配置され周囲の空気から遮断されている。可燃性気体がより多く存在する場合、測定コイルからより効果的に熱を奪うことにより生じた温度差及びこれに伴う電圧変化に基づいて可燃性固体濃度を測定する。

利点

- ・100%LELを超える濃度でも測定可能

限界

- ・正確な可燃性気体(蒸気)濃度は、校正に用いたものに対してのみ得られ、それ以外のものには修正を必要とする
- ・熱伝導性が異なるのは、可燃性気体に限らないため、可燃性気体雰囲気であることが既知でなければならない

③半導体センサー

(1)③で記述済み

④赤外線センサー

(1)①で記述済み

(d)酸素濃度計 6,16,24)

現在、空気中の酸素濃度を測定するために使用されているセンサーは、電気化学センサー、半導体センサーである。

①電気化学センサー

(a)②で記述済み

②半導体センサー

(1)①で記述済み

(e)線量計(dosimeter)

長時間にわたる化学物質曝露を調べる dosimeter(大型の検知管に長期間雰囲気を通し、作業中の曝露量を測定するものなど)及び騒音曝露を調べる dosimeter も存在しているが、一般的に、線量計とは個人の放射線曝露量を測定するためのものであると思われるので、放射線曝露量を測定するための線量計について述べる。

① ポケット線量計 6,25-30,31)

ポケット線量計(pocket dosimeter, self reading dosimeter: SRD, direct reading dosimeter: DRD, pocket ion chamber: PIC と呼ばれることがある)は、電離箱(電離放射線により箱の中の気体が電離して生じたイオンを測定する装置)と箔検電器(物体が帯電しているかを調べるための装置)を組み合わせたもので、予め箔検電器の箔に相当する石英糸に帯電させておき、電離箱を通過した電離放射線により生じたイオン対により帯電が中和されるにつれ石英糸が移動することを利用したものである。読み取る場合には、光源に向け、接眼レンズを通して、石英糸が中の目盛りのどの位置にあるかを観測する。一般的に、X 線及び γ 線の線量を測定するために使用される。

利点

- ・ 帯電器を用いて帯電させることにより、繰り返し使用できる
- ・ 即時に線量が判断できる

限界

- ・ 頻繁な帯電を必要とする(保管時でも。長期間帯電状態でない場合には、完全に帯電させるまで時間がかかる)
- ・ 自然放電により、石英糸が移動するため、予め個々の線量計の時間当たりの移動量を測定しておく必要がある(自然放電は湿度及び温度の影響を受ける)
- ・ 放射線量が大きくなると、石英糸が振り切れ、測定できなくなる
- ・ 乱暴な取扱、落下により、石英糸が移動することがある
- ・ この線量計の読み取り値は、法的記録として扱われない

② 電子式ポケット線量計 32,6,29,33,31,34)

電子式ポケット線量計(電子式個人線量計(JIS Z 4312)、electronic dosimeter: ED、personal alarm dosimeter と呼ばれることがある)は、電離放射線の固体の電離を検出する半導体検出器と警報又は表示のための電子回路を組み合わせたものである。X 線及び γ 線のほか、装置によっては β 線、 α 線なども測定できる。

利点

- ・ 即時に線量を判断できる(ものによっては、放射線強度も表示できる)
- ・ 予め設定した水準を越えた場合、警報がなるように設定できる
- ・ 広範な線量範囲で利用可能

限界

- ・ 技術的に線量計に要求される基準を完全に満たしていないため、二次的な線量計として扱われている(日本においては、放射線障害防止法などにより、放射線測定器を使用するよう定められているが、主及び副線量計に関する規定は存在しない)

③ フィルム・バッジ 6,34,35,36)

フィルム・バッジは、プラスチック保持体内の遮光体で覆われた小型の写真乳剤を含むフィルムである。これらの写真乳剤は、X 線、 γ 線、 β 線及び中性子に対し、異なる感度を有する。また、バッジには、異なる種類の放射線を区別するために窓及びフィルターが

設けられている。放射線が写真乳化剤に到達し、これと相互作用することにより像として蓄えられる。このフィルムを現像し、黒化した像の程度を既知の放射線量に曝露したフィルムと比較することにより放射線量を求めるものである。

利点

- ・安価である
- ・それなりに正確且つ感度である
- ・永久的記録として保存できる
- ・被爆放射線の種類及びエネルギーに関する情報を提供する

限界

- ・他の個人用監視装置ほど正確でもなく、信頼できるものでもない
- ・暗室が必要であり、測定が複雑
- ・測定に日数がかかる(2日以上)
- ・温度、湿度、製造後経過期間の影響を受ける

④ 熱ルミネンス線量計 31,35,36)

熱ルミネンス線量計(thermoluminescent dosimeter: TLD)は、フッ化カルシウム結晶などの放射線曝露により電子を吸収し、高エネルギー状態へ励起する物質を使用している。励起した状態の結晶に熱を加えると、励起された電子が基底状態に戻り、この際紫外線としてエネルギーを放出する。この紫外線は結晶が受け取った放射線量と比例することを利用して放射線量を求めるものである。

利点

- ・発光体として組織等価物質が選定できる
- ・広い線量範囲で使用可能である
- ・繰り返し使用ができる
- ・測定操作が簡単である
- ・人為的誤差が入らない
- ・フィルム・バッジ、ポケット線量計より正確、信頼性があり、感度が良い
- ・通常の熱、湿気の影響を受けない
- ・数分で線量が求まる

限界

- ・費用がかかる(フィルム・バッジの2倍程度)
- ・永久的な記録として残せない(測定時に、記録が失われる)

(f) 光イオン化検知器 4,6)

光イオン化検知器(photoionization detector: PID)は、空気中の汚染物に紫外線を照射し、これをイオン化させて測定するものである。紫外線ランプの強度(eV で表される)よりもイオン化ポテンシャル(Ionization Potential: IP)の低い有機物及び無機物がイオン化されて測定される。

利点

- ・紫外線ランプの強度(9.5～11.8eV が一般的とされる)よりイオン化ポテンシャルの低い有機、無機汚染物を総量的に検出できる
- ・検出限界濃度が低い(0.1～2000ppm)

限界

- ・選択性がない
- ・応答と濃度との関係が直線でない
- ・メタン(IP=13.0eV)を検出できない
- ・湿度、イオン化されない気体の影響を受ける
- ・海水、ほこり等の粒子によりランプが汚染されると読み取り値に影響する
- ・高濃度の気体を測定できない

(g) pH 指示器及び／又は pH 計 37,38,39)

pH を測定するため、一般的に使用されている方法はガラス電極法であるとされる。ガラス薄膜の両側に二種の異なった溶液が接したとき(具体的には、ガラス電極内(製品によってはガラスではなく、プラスチック又はエポキシ樹脂製のものもある)に封入されている pH が固定された測定用溶液とガラス電極の外側の被測定溶液)、両液の pH の差に比例した電位がこのガラス薄膜の両面に発生することを利用したものであり、装置全体としてはガラス電極、参照電極、温度計及び電位計から構成される。

利点

- ・繰り返し測定ができる

限界

- ・電極を侵す液体の pH を測定できない
- ・参照電極の塩橋部で生じる液体接合電位(liquid junction potential)が、校正用液体と測定液体とで異なることによる誤差を有する
- ・ガラス電極の電位が水素イオン濃度だけでなく他の金属イオン濃度にも影響されることによる誤差を有する(sodium error)
- ・保管手続きが煩雑である(酸性溶液にガラス電極を浸した状態で保管する必要がある)

(h)放射線検知装置 40,41)

放射線を検出する装置は、電離放射線の電離作用、蛍光作用及び写真作用を用いた様々なものがあるが、ここでは放射性物質事故時に用いられる放射線検知器について述べる。

事故対応時に必要とされる放射線検知に関する能力は、立入制限区域(ホット・ゾーン及びワーム・ゾーン)の範囲を確定するためのγ線検知能力、空間中の放射性物質濃度を測定する能力並びに放射性汚染の有無を検知するためのα線、β線及びγ線等の検知能力が挙げられる。

①電離箱式測定装置 41,35,6,42)

電離放射線により箱の中の気体が電離して生じたイオンを測定する装置であり、緊急時においては γ 線の空間放射線量率を測定するために使用されることとなっている。但し、文献により能力に関する記述が異なり、測定下限が $1\mu\text{Sv}$ とするものや、 1mR/hr 未満の測定では比較的効果的でなく、高放射線強度の場所のその曝露量を決定するために使用されると記載するものなどがあり、どちらが正しいのか、現在の筆者の浅識では判断できないが、参考として掲げておく。

利点

- ・エネルギー特性が良好である(1cm 線量当量換算係数に合致した応答をする)
- ・方向特性が良好である(全周にわたり良好に測定できる)
- ・ β 線も測定できるものがある
- ・散乱線の測定ができる

限界

- ・ 1mR/h 以下の測定には比較的効果的でない
- ・変化している場では応答が遅れる

②Geiger-Mueller 計数管 43,4,42,35)

Geiger-Mueller 計数管(GM 計数管)は、希薄気体を封入した円筒金属内に荷電粒子、X線、 γ 線などが入射した際生じる気体のイオン化による放電電圧を測定することにより入射粒子数を計数するものである。

利点

- ・多目的に使用できる(空間線量率及び β 線表面汚染測定)
- ・操作が容易である
- ・安価である
- ・感度が良い
- ・信頼性が良い

限界

- ・放電停止から計数可能となるまで回復期間などを必要とし($10^{-4}\sim 10^{-3}$ 秒必要とする)、入射数が多い場合には数え落しが生じるため、 200mR/hr 未満の低放射線場への使用に限定される
- ・低エネルギーのものには感度が落ちる
- ・荷電粒子の性質に依存しない出力が得られるため、どの種類の荷電粒子かを判別できない

③シンチレーション検知装置 35,42)

シンチレーション検知装置(scintillation detector)は、X線又は γ 線が入射したとき発光する結晶を使用し、この光を増幅して入射した電離放射線のエネルギーに比例する電気パルスに変換して測定する。

利点

- ・非常に高感度
- ・良好な方向特性を有する

限界

- ・結晶が吸湿性であるため GM 計数管ほど堅牢ではない
- ・散乱線の測定には適していない

(i) 試薬 44,45,6,46)

試薬とは、「検査、試験、研究、実験など試験・研究的な場合において、測定基準、物質の検出・確認、定量、分離・精製、合成実験、物性測定などに用いられるものであって、それぞれの使用目的に応じた品質が保証され、少量使用に適した供給形態の化学薬品」とも定義されているが、危険物事故対応時には物質の特定、定性などのため使用されることになる(例えば、HazCatTM など)。

利点

- ・系統的に用いれば、未知物質をある程度定性できる

限界

- ・取扱いには、化学実験操作に慣熟している者が必要となることがある
- ・所持、貯蔵には、危険物取扱責任者、毒劇物取扱者などの法定免許の所持及び適切な保管庫、標識を必要とすることがある
- ・試薬には寿命があり、数年での更新を必要とする

(j) 試験紙 6)

試験紙は、試薬をろ紙などに染込ませたものであり、さまざまな物質の特定及び定性などのために使用される。一般的に使用されている、pH 試験紙のほか、酸化性物質、フッ化物、炭化水素、含水、神経作用剤などの試験紙が市販されている。

利点

- ・取扱が容易
- ・迅速な判定ができる

限界

- ・主に変色を用いているため、解釈が難しいことがある
- ・干渉物質が存在する

4-2.1.3.5 3つの危険物(固体、液体及び気体、それぞれ1つずつ)並びに以下に掲げる監視装置、試験紙及び試薬が与えられたとき、物質を同定し、定量するために適切な装備を選択し、適切な技術を実演すること。

- | | |
|---------------------|-------------|
| (a)一酸化炭素濃度計 | (b)検知管 |
| (c)可燃性ガス検知器 | (d)酸素濃度計 |
| (e)線量計 | (f)光イオン化検知器 |
| (g)pH 指示器及び／又は pH 計 | (h)放射線検知装置 |

(i)試薬

(j)試験紙

4-2.1.3.6 所管機関により規定された監視装置、試験紙及び試薬の野外における維持管理及び試験手続きを実演すること。

注、これらの項目は、所属機関が所持している監視装置等について定めるべき事柄であり、ここで論じるものではないので割愛する。

4-2.1.4 放射性物質のラベルが与えられたとき、ローマ数字(Ⅰ、Ⅱ及びⅢ)、収納物、放射能及び輸送指数を特定し、その後、ラベルが付された物品及び放射線事故の調査においてその重大性を説明すること。

注、放射性物質のラベルとは、IMDG Code で定められたものであり、日本では危険物船舶運送及び貯蔵規則(昭和三十二年八月二十日運輸省令第三十号、最終改正：平成十六年二月二十六日)(以下、この注において「規則」という。)第九十二条第一項をうけた船舶による放射性物質等の運送基準の細目等を定める告示(昭和五十二年十一月十七日運輸省令第五百八十五号、最終改正：平成十五年十二月二十二日)(以下、この注において「告示」という。)第十五条で定められている放射性物質に関する標札である。以下、これらについて述べる47,48,49)。

放射性物質包装の類別(category)(包装から放射される線量等量率の大小による分類)を表す赤色のローマ数字(Ⅰ、Ⅱ及びⅢ)は、表札中ほどの放射性(Radioactive)の文字列の右側に表記されている。

輸送指数は、第二類黄標札及び第三類黄標札(上半分が黄色であり、ローマ数字がⅡ又はⅢであるもの)の下端の放射性物質のクラスを表す数字の7の上の枠内の輸送指数(Transport Index)の文字列の上に表記されている。

収納物は、表札中ほどの放射性(Radioactive)の文字列の左下の収納物(contents)の文字列の右側に下線付きで表記されている。

放射能は、収納物の文字列の下の放射能(activity)の文字列の右側に下線付で表記されている。

包装の類別を示すローマ数字は、大きくなるほど(Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの順で)次に示すようにそれの表面から放射される放射線の線量等量率が大きくなることを意味する。

Ⅰ－放射性輸送物では、表面における最大線量等量率が $5\mu\text{Sv/h}$ 以下であり且つ輸送指数(後述)が0のもの。オーバーパックでは輸送指数が0のもの。以前に紹介した線量限度(水晶体 300mSv、皮膚 1Sv)から、線種が γ 線であると仮定し、水晶体にかかる限度を用いれば、許容される作業時間(常に輸送物と接触している状態において)は、最悪の場合、一人につき6万時間となる。

Ⅱ－放射性輸送物では、表面における最大線量等量率が $5\mu\text{Sv/h}$ を超え $500\mu\text{Sv/h}$ (0.5mSv/h) 以下であり且つ輸送指数が1を超えないもの。オーバーパックでは輸送指数が1を超えないもの。許容される作業時間は、最悪の場合、一人につき600時間以上6万時間未満となる

Ⅲ—表面における最大線量等量率が $500 \mu\text{Sv/h}$ (0.5mSv/h) を超え $2000 \mu\text{Sv/h}$ (2mSv/h) 以下であり且つ輸送指数が 1 を越えるもの。許容される作業時間は、最悪の場合、一人につき 150 時間以上 600 時間未満となる。

Ⅲ(専用積載(規則第七条第一項第三号))—表面における最大線量等量率が $2000 \mu\text{Sv/h}$ (2mSv/h) を超え $10000 \mu\text{Sv/h}$ (10mSv/h) 以下であり且つ輸送指数が 1 を越えるもの。許容される作業時間は、最悪の場合、一人につき 30 時間以上 150 時間未満となる。

表面における放射線の強度が予想される値よりも大きい場合には、容器の破損の可能性がある

輸送指数とは、基本的に、包装の外側表面から 1m の距離における放射能を mSv/h 単位で表したものに 100 を乗じた(タンク又はコンテナを容器とする場合などには、容器の寸法に関する係数(最大 10)を乗じる)値の小数点以下 2 桁目を切り上げたものである(1.13 は 1.2 となる)。例外として、0.05 以下は 0 として考える。(簡単に言えば、輸送指数が 1.0 ならば、1m 離れた場所で予想される放射能は $10 \mu\text{Sv/h}$ 前後となる。但し、タンク、コンテナ等の場合に、測定値に乗じる係数の意味及び概念については、筆者の浅識では不明である)

専用積載以外では、個々の包装の輸送指数の値は 50 を超えてはならず、1 隻について最大でも合計 200 であり、この場合、包装を互いに最低でも 6m 離すことになっている。専用積載では、非分裂性放射性物質については輸送指数の制限はないが、分裂性放射性物質については個々の包装の輸送指数の値は 100 を超えてはならず、この場合、包装を互いに最低でも 6m 離すことになっている。

輸送指数は、包装から 1m 離れた場所で照射される放射能の大きさを表しており、この値よりも大きな値が測定される場合には、容器が損傷している可能性を示すことになる。

輸送指数は、以前には、放射能強度の指標及び核分裂性放射性物質の積載制限の指標として用いられていたが、臨界安全指数(Criticality Safety Index: CSI)が新たに導入されたため後者の指標の意味を有しなくなっている。

事故に関係する放射性物質の輸送容器が存在する場合には、距離の目盛りが付いた 3m 程度の棒を持参し、3m、2m、1m と近づきながら(距離が線量計測時には大きな意味を持つため正確な値が必要と考えられる)、予想される線量を上回っていないかを輸送指数と照らし合わせながら β 線及び γ 線を測定してゆくことになるものと思われる。

4-2.2 存在危険及び対応情報の収集及び解釈。出版リソース、技術のリソース、コンピューター・データベース及び監視装備を使用できる状態が与えられたとき、危険物技術者は、現行の版の ERG 又は MSDS からでは得られない存在危険及び対応情報を収集し、解釈しなければならない。危険物技術者は次に掲げることができなければならない。

4-2.2.1 以下に掲げる各リソースから得られる存在危険及び対応情報の種類を特定及び解釈するとともに、各リソースの利点及び欠点を説明すること。

(a)危険物データベース

(b)地図及び図表

(c)監視装置

(d)参考手引書

(e)技術的情報センター(CHEMTREC/CANUTEC/SETIQ 等) (f)技術的情報専門家

注. これらから得られる情報等並びに利点及び欠点は次に掲げるとおりである。

(a)危険物データベース

数多くのデータベースが利用可能であり、市販されているものから無料で配布されているものがある。また、インターネットの普及に伴い、これを介して利用できるものも存在する。(筆者は、EPA が無料で配布している CAMEO(Computer-Aided Management of Emergency Operation)⁵⁰⁾及びインターネットで検索できる USCG の CHRIS(Chemical Hazard Response Information System)⁵¹⁾などを使用している)

利点

- ・かなりの量の化学的及び物理的性状、毒性性状、対応情報を提供する
- ・混触反応の予測を行えるものもある

欠点

- ・携帯が容易とはいいがたい(ラップ・トップ型のコンピューターでも)
- ・他の情報との相互照会が必要(これは、データベースに限らず全ての情報についていえる)
- ・動作環境を必要とする(電源、電話など)

(b)地図及び図表

地図からは、事故発生場所の地形、周辺の市街地、河川、湖沼等の存在などが読み取れる。海図からは、これらに加えて、水深、底質、潮流の大きさ及び向き、海底設置物などの情報が読み取れる。

利点

- ・地形に関する情報が記載されている

欠点

- ・事故対応に関係する情報(家屋の換気程度、地質、貯蔵物など)は、予め記載されていないため、予備調査を行い補填しておく必要がある
- ・事故発生場所によっては、適切な縮尺の地図が存在しない可能性がある

(c)監視装置

監視装置は、存在する存在危険及び存在しない存在危険についての情報を提供するものであるが、干渉物質の存在、電磁場、湿度などにより誤った肯定応答を示したりする可能性もある。したがって、監視装置から得られた測定値も、相互照会を行うことが望ましい。

利点

- ・実際の存在危険の程度に関する情報が得られる

欠点

- ・誤った肯定応答(物質が存在しないにもかかわらず、存在するような応答を示すこと)及び誤った否定応答(物質が存在するにもかかわらず、存在しないような応答を示すこと)

すこと)の可能性が存在する

(d)参考手引書(reference manual)

米国では、多くの危険物事故対応に関する参考手引書が存在するが、日本においては、ほとんど存在しないのが現状であり、危険物事故に対応する機関毎に独自で作成し、門外不出のような取扱いになっているものと思われる(又は、出版しても売れないと思われるのかも)。また、

上に書いたような状況であるため、筆者はもっぱら米国のものを使用しているが、著者により観点が違う場合が多々あるため、やはりこれも相互照会する必要がある。

(e)技術的情報センター

CHEMTREC は米国の化学工業会社が共同出資して運営している事故対応の技術情報提供所であり、CANUTEC はカナダ版、SETIQ はメキシコ版のものである。日本には、中毒情報センターは2つ存在するが、事故対応情報を提供するような組織は存在しない。

(f)技術的情報専門家

技術的情報を提供するだけの知識を有する者を指すのだが、特定の事象について適切な回答を提供できる能力を有する者は見出すことが困難である。過去の事例では、専門家と考えられる者から得られた予測内容は一人一人異なり、却って判断を困難にしたという話が伝わってきている。事故後に、様々の情報をまとめて分析することは、事故の最中に情報が欠落している状態で予測を立てることよりも、かなり容易であることに留意しつつ、常日頃から予測できそうな者を物色し、いざという時利用できるよう確保しておかなければならないと思われる。

4.2.2.2 以下に掲げる用語を説明し、発生可能危険評価過程でのこれらの重要性を説明すること。

- | | | | |
|-----------------------------|------------------|------------------|---------|
| (a)酸、塩基 | (b)対空気反応性 | (c)沸点 | (d)触媒 |
| (e)化学的相互作用 | (f)化学的反応性 | (g)化合物、混合物 | |
| (h)濃度 | (i)腐食性(pH) | (j)臨界温度及び臨界圧力 | |
| (k)膨張比 | (l)爆発範囲(LEL&UEL) | (m)燃焼点 | |
| (n)引火点 | (o)ハロゲン化炭化水素 | (p)発火温度 | |
| (q)反応抑制剤 | (r)不安定性 | (s)イオン化合物及び共有化合物 | |
| (t)最大安全貯蔵温度 | (u)融点/凝固点 | (v)混和性 | |
| (w)有機化合物及び無機化合物 | (x)酸化ポテンシャル | (y)pH | |
| (z)物理的状態(固体、液体、気体) | (aa)重合 | (bb)放射能 | |
| (cc)飽和炭化水素、不飽和炭化水素及び芳香族炭化水素 | (dd)自己加速分解温度 | | |
| (ee)溶液、スラリー | (ff)比重 | (gg)(酸又は塩基)の強度 | |
| (hh)昇華 | (ii)製品の温度 | (kk)毒性燃焼性生物 | |
| (ll)蒸気密度 | (mm)蒸気圧 | (nn)粘性 | (oo)揮発性 |
| (pp)対水反応性 | (qq)水溶性 | | |

237-危険物事故の対応にあたる者に必要とされる能力の基準(その5)

注。これらに関する説明及び重要性は次に掲げるとおりである。

(a)酸、塩基 52,53,54,55,56)

酸の定義は何種類もあり、そのうちの一つに、水素イオンを放出するものというものがある。塩基も同様にいくつかの定義があるが、上の酸の定義と合わせた場合には、水素イオンを受け取るものとなる。

危険物事故対応時において、一般的に、酸について考慮しなければならないこととして、イオン化傾向が水素より大きい金属と反応して水素及び熱を生成すること、酸化剤として作用すること、塩基と反応して塩と水と熱を生成することなどが挙げられる。その他、個々の酸独自の性質(発熱を伴う脱水反応、発熱を伴う水への溶解、不安定性物質の生成、反応時の有毒気体の発生、分解反応、生体組織の破壊など)も考慮する必要がある。

一般的に、塩基について考慮しなければならないこととして、アルミニウム、亜鉛及び鉛などの金属と反応し水素を生成すること、酸と反応して塩と水と熱を生成すること、生体組織を破壊することがある。酸と同様に、個々の塩基独自の性質(発熱を伴う水への溶解など)も考慮する必要がある。

(b)対空気反応性(air reactivity)57,58,59)

対空気反応性とは、空気と接触したとき、熱を発生し、ある条件下で火炎を生じる可能性がある化学反応を引き起こす性質を指し、この性質を有する物質は自然発火性物質(pyroforic, 約 54℃以下の温度で自然発火する物質)とも称される。例としては、アルキル・アルミニウム類、アルキル・ボラン類が挙げられる。

窒素などの不活性気体中で保管されているため、容器が損傷し、空気と接触することになった場合、容器内の圧力が上昇し容器が損壊する可能性があり、漏出した場合、火災が発生する可能性がある。

(c)沸点 43,60)

ある圧力下(通常は 1 気圧)で、液体の蒸気圧が外圧と等しくなる温度で、液体表面からの蒸発に加えて、液体内部からも気化が生じ始める。純物質では圧力に応じて一定値となるが、混合物では圧力が同一でも組成により変化する。

沸点は、物質の状態(気体、液体、固体。物質の取扱いはこの順序で容易であるとされる)を判断するための 1 つの指標となる。

(d)触媒 43,59,61,62,63)

触媒は、化学反応速度を大きく又は小さくするため若しくは特定の反応を選択的に行わせるために、反応系に少量加えられるものであり、通常、それ自体は反応の前後で量的変化がないものである。

触媒の不適切な使用(過大使用又は過小使用)又は意図されていない触媒の添加(汚染物、金属など)により、反応性化学物質などの重合、分解などの化学反応が開始されることがあり、密閉率の高い容器などはこれに伴う熱及び圧力上昇により破壊される可能性がある。

(e)化学的相互作用 59,64)

化学的相互作用(chemical interaction)は、化学反応その他の化学的作用を総称しているものと考えられる。

このような相互作用時には、容器内圧力を上昇させる原因となる発熱を伴うことがあり、また、生成した物質が容器との適合性がない場合には容器を損傷させることがある。

(f)化学的反応性⁶⁵⁾

化学的反応性(chemical reactivity)は、物質の化学変化を起こす傾向(Tendency of substance to undergo chemical change)と定義されている。化学的反応性は、化学物質の内在的性質である必要はなく、化学的反応性に関係した存在危険は、処理温度、圧力、取扱量、濃度、他の物質の存在及び触媒効果を有する不純物などの処理特有の因子に関係するものであるとされる。

このような性質を有する化学物質のコントロールされていない化学反応は、重大な爆発、火災及び毒性物質の放出をもたらす可能性がある。

(g)化合物、混合物^{52,66)}

化合物は、二種以上の元素の原子の化学結合により生じた純物質であり、各々が固有の物理的及び化学的性状を有する。混合物は、化学的変化を伴うことなく混合された二種以上の化合物又は単体からなるものであり、混合物の各成分は機械的方法又は状態変化により分離することができるものである。

上にも述べたように化合物は、固有の性状を有することからその挙動を推測することが比較的容易であるが、混合物は各成分の割合が変化すると性状も変化するため挙動の推測が困難なことがある。

(h)濃度^{43,66,52,60)}

濃度(concentration)は、単位量中の溶媒中の溶質の量である。

危険物事故対応に関係する濃度としては、空気中の物質濃度(vol%, ppm 又は mg/m³ で表されることが多い)並びに水溶液の濃度(%)が挙げられる。

好ましくない化学反応及び毒性効果の発生可能危険(risk)は、関係する物質の濃度が大きいほど大きくなる。

(i)腐食性(pH)^{67,68)}

腐食性(corrosivity)は、米国 EPA の腐食性廃棄物に該当する腐食性の基準の一つである。RCRA(Resource Conservation and Recovery Act of 1976、1976 年の資源保全再生法)に基づき、EPA の所掌する 40 CFR(Code of Federal Regulation、連邦規則) 261.22 において、水溶性であり pH 2 未満又は pH 12.5 を超えるもの若しくは鋼鉄を腐食する液体を腐食性と定義している。

危険物事故対応作業に伴い、腐食性を有する廃棄物が生じた場合(消火放水、蒸気ノックダウン水噴霧、除染などに伴うものなど)には、適切な容器に収納し、適切な標識を添付し、適切な廃棄のための処理が必要とされる。

(j)臨界温度及び臨界圧力^{54,52,59,66,56,69)}

臨界温度は、液体が液体として留まることができる最大の温度である。臨界圧力は、臨界温度にある気体を液化するために必要とされる最大圧力である。臨界温度より温度が低くなるほど、液体を液体と保持するために必要とされる圧力は小さくなる。

臨界温度及び臨界圧力は、物性値の推定などに利用されることがあり、物質の分散予測プログラムなどで使用されている。

(k)膨張比 59)

日本ではあまり使用されていない用語であるが、膨張比(expansion ratio)は、ある温度における同質量の物質の液相の体積と気相の体積の比であり、通常、液化ガスについて使用される。

膨張比が大きいものほど、気化した場合に影響が及ぶ範囲が広がる。

(l)爆発範囲(LEL&UEL)⁷⁰⁾

可燃性気体と支燃性気体との混合組成のうち、火災伝播が生じうる組成範囲を爆発範囲といい、可燃性気体濃度の低い方の限界を爆発下限界(lower explosion limit: LEL)、高い方の限界を爆発上限界(upper explosion limit: UEL)という。

爆発範囲内にある可燃性混合気は、着火源の存在により燃焼を開始する危険がある。通常、危険物事故対応では、この燃焼危険を回避するために爆発下限界未満の状態において作業を行う。

(m)燃焼点 54,59)

燃焼点(fire point)は、可燃性液体から発生する蒸気量が、継続燃焼するに十分な大きさとなるとき液体温度であり、通常、引火点より若干大きな値となる。

閉鎖空間中での可燃性液体蒸気滞留時などの火災危険を考える場合、液面上で燃焼が継続するかより、可燃性混合気(爆発範囲内にある混合組成濃度の混合気)が形成されているかが問題となるため、燃焼点よりも引火点を使用することが多い。

(n)引火点 70,54,59)

引火点(flash point)は、可燃性液体(一部固体)から発生する蒸気量が、液面極近傍において可燃性混合気を形成する温度で、着火時には一瞬燃焼するが継続燃焼しない温度である。

引火点を上回っているかないかは、着火危険性が存在するかないかに直接関係するため重要な意味を持つ。測定法には、開放式容器を用いたもの(o.c., opened cup と表示されることがある)と閉鎖式容器を用いたもの(c.c., closed cup と表示されることがある)があり、滞留する分だけ後者で測定した値の方が小さくなる。

また、水噴霧を用いた冷却消火の可否の判断にも使用され、引火点が水温未満の場合、噴霧による冷却効果では消火できない。

(o)ハロゲン化炭化水素 54,59,71,72)

ハロゲン化炭化水素は、炭化水素の水素とハロゲンが置換したものである。ほとんどのハロゲン化炭化水素は液体であるが、一部、気体又は固体として存在するものもある。溶媒、中間体など、化学物質製造のために使用されている。フッ化炭素には、以前は、冷媒

及び消火剤として用いられていたものもあるが、オゾン層破壊物質であるということで現在は、そのような性質を有するものは生産が禁止されている。

骨格構造となる炭化水素よりも、種類が多くなるため、一概にとりまとめることは難しいが、燃焼性、爆発性、有毒性などがあり、対応時にはその性質を把握することが必要である。

(p)発火温度 43,52,73)

発火温度(ignition temperature)は、発火点(ignition point)、自然発火温度(autoignition temperature)とも称され、空气中で加熱したとき、着火源なしで、燃焼を開始する最低温度である。

火気がなくとも、酸化反応熱、発酵熱、分解熱その他の熱源により、この温度まで昇温すれば、燃焼が開始することになる。また、吹き消えを利用した消火法が、油井に限定されるのは、爆発による構造物の破壊が伴うという理由のほか、発火温度以上加熱された構造物材が存在する限り、一旦消火した物質が再着火するためであると思われる。

(q)反応抑制剤 52,71,54,74)

反応抑制剤(inhibitor)は、添加することにより化学反応速度を大きく低下させる物質である。種々の作用を有する抑制剤があるが、危険物に関係するものとしては、重合を抑制するものが挙げられる。

重合を抑制する反応抑制剤は、自然に発生した遊離基を消費し重合を抑制するものである。スチレンを例に挙げれば、重合速度を低下させるために 4-tertiary butylcatechol(TBC)が 10 数～数十 ppm 添加されている。但し、重合反応速度を抑制するために、反応抑制剤の添加のみではなく、液温及び溶融酸素量の管理も必要であるとされる。更に、反応抑制剤は、揮発するため、定期的(週に 2、3 回)にスチレン中の抑制剤濃度を測定し、濃度水準が低下している場合には追加する必要がある。このように、反応抑制剤がその効果を発揮するには、種々の条件を満たしておく必要があり、決して絶対的なものではないことを念頭においておく必要がある。

(r)不安定性 75,52,76,59)

不安定性(instability)は、衝撃、圧力又は温度条件下で、活発に重合し、分解又は縮合(2 個以上の分子又は同一分子内の 2 つ以上の部分が新しい結合を作る反応)し、自己反応し若しくは他の激しい化学変化をすることにより、エネルギーを放出する物質の内在的可能性の程度をいう。

不安定性は、避難すべき地域、防護された位置から行うべき消火活動、漏洩に接近し又は消火剤を適用する火災についてなされるべき注意又は通常の手続きを用いての消火可能性を判断するために使用される。不安定性という用語は、反応性(reactivity)という用語と互換的に使用されている。

(s)イオン化合物及び共有化合物 71)

イオン化合物(ionic compound)は、最外殻電子軌道がオクテット則(octet rule)又はデュエッ

ト則(duet rule)(最外殻電子軌道が8つ(K殻以外の電子殻)又は2つ(K殻)の電子で満たされている場合、安定となるという法則)を満たして安定となるよう、電子を放出して正電荷を帯びた金属イオン(アンモニウム・イオンの例外あり)及び電子を受容して負電荷を帯びた非金属(錯)イオンが、互いの電荷を打ち消すように電気的に結合した化合物である。

原則としてイオン化合物は固体であり、そのほとんどが水溶性である(水溶状態又は熔融状態では、陽イオンと陰イオンに分離するため、電導性を有する)。ほとんど全てのイオン化合物は不燃性(アンモニウム化合物を除く)である。その他の性質については、個々に調査する必要がある。

共有化合物(covalent compound)は、オクテット則又はデュエット則を満たすために、非金属原子(主に炭素、酸素及び水素)がその最外殻において互いの電子を共有し電子対を作るように結合した化合物である。

共有化合物は、イオン化合物と異なり、水溶状態で電導性を有せず、その種類も膨大な数に及ぶ。その他の性質については、個々に調査する必要がある。

(t)最大安全貯蔵温度 77,78)

最大安全貯蔵温度(maximum safe storage temperature: MSST)は、有機過酸化物など、特定の化学物質に対する最大の貯蔵温度であり、この温度を上回る場合、分解することがあり、容器内の圧力上昇、可燃性気体の発生、着火又は爆発が生じることがある。

(u)融点／凝固点 52,60)

融点(melting point)は、一定圧力の下で固相の物質が液相と平衡を保つときの温度で、凝固点(freezing point)と一致する。

融点／凝固点は、沸点とともに、物質の状態(気体、液体、固体。物質の取扱いはこの順序で容易であるとされる)を判断するための1つの指標となる。

(v)混和性 79,80)

混和性(miscibility)は、2つ以上の物質が混合し、単一の均一相を作る能力をいう。2つの物質が非混和性である場合、混合したとき分離層を形成する(水と油のように)。溶解性(Solubility)と同義。

水及び消火泡の使用など、コントロール方法及び消火剤の選択を評価するときに重要な性状となる。

(w)有機化合物及び無機化合物 81,52,82)

有機化合物(organic)と無機化合物(inorganic)は、かつて、植物及び動物に起因する化合物が有機化合物であり、鉱物及び非生物に起因する化合物が無機化合物であるとされていた。現在では、有機化合物は炭素の酸化物及び金属の炭酸塩など少数の簡単なもの以外の全ての炭素化合物の総称であり、無機化合物は有機化合物以外の化合物とされているが、境界にはあいまいな部分がある。

有機化合物であるかどうかの情報は、有機物と反応性のある酸化性物質の存在時及び監視装置の選択時に必要となる。

(x)酸化電位(oxidation potential)

4-2.1.3.3(c)で記述済み

(y)pH⁶⁶⁾

溶液の水素イオン指数を意味する記号。pH 7 が中性であり、これより小さい pH は酸性(値が小さい方が強い酸)を、これより大きい pH は塩基性(値が大きい方が強い塩基)を表す。

pH の値は常用対数値であるため、例えば、pH 2 の酸は pH 3 の酸より 10 倍酸性であることを示す。

pH の値は、希釈又は中和による対応を考慮する場合、必要な情報となる。

(z)物理的状態(固体、液体、気体)

固体、液体及び気体という物理的状態は、物質、温度及び圧力により定まる。

対応(回収など)は、固体、液体、気体の順で困難になってゆく

(aa) 重合 52,71)

重合(polymerization)は、1 種類の単位化合物(モノマー、monomer)が 2 個以上結合して単位化合物の整数倍の分子量を有する化学反応をいい、新しく生じた化合物は重合体(ポリマー、polymer)と称される。

この反応は、プラスチックを製造するためにコントロールされた状態で行われるが、輸送中又は貯蔵中に添加されている反応抑制剤が分離した場合、不純物が混入した場合、加熱された場合には、暴走重合反応が生じることがある。重合反応が容器内で発生した場合には、重合熱により容器が破裂する可能性がある。

(bb)放射能 52,71,83)

放射能(radioactivity)は、物質から自発的に放射線が放出される現象をいう。通常、これらの放射線は、 α 粒子、 β 粒子及び γ 放射線の 3 種である(中性子は自然核種では同位体存在率 99.3%の ^{238}U の核分裂時に発生するが、この核分裂の半減期は 6.5×10^{15} 年と、これの α 壊変の半減期 4.5×10^9 年に比較してかなり大きいことから、発生割合は少ないものと考えられる。この他、人工的に作られた核分裂性核種の核分裂時に発生するが、 ^{238}U と同様、壊変の半減期に比べ核分裂の半減期が大きいのが一般的である。したがって、何らかの人為的操作を行っていない場合には、中性子を考える必要はないと思われる)。

放射能が関係する事故又は放射性物質が存在する事故では、通常の化学的及び物理的性状による存在危険のほかに、放射線による存在危険が加わることになる。放射線に対する許容量はすでに述べているので省略するが、被曝量をできるだけ小さいものとするために、時間、遮蔽及び距離による防護効果を利用するとともに、吸入、嚥下により体内に放射性物質が侵入しないような手段を講じる必要がある。

(cc)飽和炭化水素、不飽和炭化水素及び芳香族炭化水素 52,71,84,66)

飽和炭化水素(saturated hydrocarbon)は、二重結合及び三重結合を有しない炭化水素でアルカン(alkane)又はパラフィン炭化水素(paraffin hydrocarbon)とも称され、 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ の一般式を有する。炭素数 4 以上のものでは、炭素鎖の構造が異なる異性体を有する。物理的性状と

して、水に不溶であり、水より密度が小さく、融点及び沸点は分子量及び主炭素鎖(炭素鎖の内最も長いもの)の長さが大きくなるにつれ上昇し、直鎖のものは標準状態では炭素数 4 までのものは気体、5 から 17 までのものは液体、18 以上のものは固体である。化学的性状は、一重結合が比較的安定であり開裂しにくいことから反応性は低いが、可燃性である。

不飽和炭化水素(unsaturated hydrocarbon)は、炭素原子間結合に 1 つ以上の二重結合又は三重結合を有する炭化水素(芳香族環構造は除く)であり、物理的性状及び化学的性状は、飽和炭化水素と類似しているが、異なる化学的性質は飽和炭化水素より反応性に富むこと(二重結合を有するものよりも三重結合を有するものの方が反応性に富み、わずかなエネルギーを加えることにより反応を開始する)及び重合することである。炭素原子間の三重結合を有する不飽和炭化水素で、主に使用されているものはアセチレンであり、他のものは遭遇する可能性は極めて低いとされている。

芳香族炭化水素(aromatic hydrocarbon)は、ベンゼン核(ベンゼン環)を持つ炭素環式炭化水素で、鎖式炭化水素と異なる反応をし、平面的構造を有している。炭素に対する水素数が少ないため、燃焼時には黄色がかった煤の多い火炎を生じる。また、発ガン性物質であるもの、発ガン性物質であることが疑われているものもある。

(dd)自己加速分解温度 85,86)

自己加速分解温度(self-accelerating decomposition temperature: SADT)は、通常の容器に収納された有機過酸化物が自己加速分解(分解により熱が発生し、その熱により分解が加速される過程を繰り返す分解)を開始する最低温度である。

この反応は、包装を破壊するほど激しいものであり、過酸化物、液体及び気体の分解性生物をかなりの距離まで分散させる可能性があり、生じた熱により可燃性気体が着火することがある。

SADT の 10℃未満が緊急温度(emergency temperature)とされ、この緊急温度に達した場合、予め計画された予防措置が講ぜられるべきである。一旦、SADT に達した場合には、即時撤退が必要である。また、自己分解が開始された場合には、人命及び財産を保護するために必要な措置のみを講じ、安全な距離を保ち状況を観察すべきであるとされる。

SADT は、熱の発生に対し放出が小さくなるため、包装の大きさに反比例して小さくなることが知られている。

(ee)溶液、スラリー⁴³⁾

溶液(solution)は、溶媒に溶質が分子又はイオンの状態で均一に分散している混合体をいう。単純な例としては、食塩水がある。

スラリー(slurry)は、固体と液体の流動可能な混合物(固体粒子懸濁液(液体中に固体の微細粒子が分散したもの))であり、溶液とは異なり、時間の経過とともに固体粒子は沈殿する。簡単な例としては、泥水がある。

筆者の浅識では、これらの用語が発生可能危険評価時にどのような意味を有するかは不明である。

(ff)比重 52,87)

比重(specific gravity)は、ある容積の固体又は液体の重量と同体積の水の重量との比である。一般的には、密度が最大となる4℃の水の重量が用いられるが、他の温度の水の重量が用いられることもある(この場合、通常、何℃の水と比較したのかが併記される)。固体及び液体の密度は温度により変化するため、温度によって比重は変化する。

比重は、物質が水中において沈降又は浮遊する傾向を判断するため、水による被覆消火の可否を判断するために用いられる。物質の水溶性が小さく(10%未満(推定であるが重量比))、比重が周囲の水(清水又は海水)のそれよりも小さい場合、この物質は水面を浮遊する傾向がある。可燃性液体の場合、比重が周囲の水(清水又は海水)のそれよりも小さい場合、水により可燃性液体の表面を覆うことはできないため密閉効果による消火は気体できず(冷却又は希釈効果によるものは除く)、タンク火災などの場合、注水することにより燃焼している可燃性液体を容器から溢れさせる可能性がある。

海水の場合、季節、温度、場所などにより海水密度が変化するため、厳密には事故位置における海水密度を測定する必要がある(よく使用されている海水密度 1.025 は、船舶のトン数の測定に関する法律(昭和五十五年五月六日法律第四十号、最終改正：平成一四年五月三十一日法律第五四号)第七条で用いられている仮定の値である)。

(gg)強度 71,52,88)

強度(strength)は、この場合(この注では物質の化学的、物理的性状の用語を扱っているため)、酸又は塩基の強度を指すものと推定され、水中においてイオン化する程度である。強度の大きい(強い)酸又は塩基は、水中において、イオンに解離する割合が大きいもの(解離指数 pK が3以下のもの、簡単に言えば、1つの電解質から1つの水素イオン又は水酸イオンが解離する場合、電解質の総量の3%以上程度が解離するもの)である。

一般的に、同濃度の酸又は塩基の水溶液がある場合、酸又は塩基の強度の大きいものの方が腐食性が高い。

(hh)昇華 66)

昇華(sublimation)は、固体が液体の状態を経ず気体へと相変化することをいう。この逆の過程で気体から固体へと相変化することを凝華(deposition)いう。昇華速度は、温度が上昇するにつれ増加する。

昇華する物質が存在する場合は、固体であっても、液体の場合と同様に爆発範囲及び毒性に関して空気監視を必要とする。

(ii)製品の温度 59)

製品の温度(temperature of product)は、文字通り、物質の温度である。

物質の温度は、物質の状態、蒸気圧、密度その他多くの性状に影響するため、事故対応時には考慮する必要がある。これに関連して、物質を取り巻く環境(海水温度、気温、日射量、船倉内温度など)も重要な意味を持つことになる。

(jj)毒性燃焼生成物 66)

毒性燃焼生成物(toxic products of combustion)は、物質の燃焼時(特に、低温燃焼又は不完全燃焼時)に生成される毒性物質であり、例としては一酸化炭素(carbon monoxide, CO)、塩化水素(hydrogen chloride, HCl)、シアン化水素(hydrogen cyanide, HCN)、二酸化硫黄(sulfur dioxide, SO₂)、二酸化窒素(nitrogen dioxide, NO₂)、アンモニア(ammonia, NH₃)、硫化水素(hydrogen sulfide, H₂S)、ホスゲン(phosgene, COCl₂)などがある。

実際の火災では、火災の熱により死亡することのほか、これらの毒性燃焼生成物の吸入により死亡することがあり、これが消防活動時に SCBA を装着しなければならない理由である。

毒性物質の火災時には、毒性物質を燃焼させ続けるという選択肢が存在するが、この場合、消火により当該毒性物質に汚染される流出水の影響と消火を行わないことにより発生する毒性燃焼生成物の影響とを秤にかけねばならないが生じることになる。

(kk)蒸気密度 66)

蒸気密度(vapor density)は、実際には密度ではなく、ある体積の気体の重量と同体積の空気の重量との比であり、日本においては蒸気比重と表現されている。

気体(蒸気)が空気中を沈降、上昇する傾向を表すものとして使用され、この値が1より小さいものは上昇し、1より大きいものは沈降する傾向を有し、低所では空気を排斥することがある。簡単には、物質の分子量を空気の見かけの分子量29で除して求めることができる。しかし、温度が標準状態から大きく外れるような場合(流出した LNG などの蒸気温度など)には、理想気体の状態方程式を用いて推定する必要がある。

(ll)蒸気圧 52,76)

蒸気圧(vapor pressure)は、ある温度における物質の液相又は固相と平衡時の蒸気相の圧力という(液相又は固相から生じる蒸気量と蒸気相から液相又は固相に戻る量が釣り合ったときの蒸気相の圧力)。

蒸発速度の指標並びに開放空間における液体(固体)極近傍における蒸気濃度、閉鎖空間における蒸気濃度の推定に用いられる。後者の蒸気濃度の推定は、単純なものでは、1300 則(1300 rule、mmHg で表した蒸気圧値に1300を乗じたものが ppm で表した蒸気濃度となるというもの)、より正確を期すならば、沸点における蒸気圧が大気圧となること及びそのときの極近傍濃度が100vol%となることを利用した比例配分により行うことができる。蒸気圧曲線又は蒸気圧推定式(Antonie の式など)が利用できる場合には、LEL と先ほどの関係を用いることにより、引火点を推定することができ、液体を収納した密閉容器内の蒸気空間の圧力も液温から推定することができる。

(mm)粘性 89,90,91,92)

粘性(viscosity)は、液体の流れに対する抵抗を測定したもので、流れやすさの指標である。粘性が大きい液体は流れにくく、変形しにくい。

液体漏洩時にどの程度広がるかを推定する際必要な物性値となる。

(nn)揮発性 93,94)

揮発性(volatility)は、物質の蒸発する傾向をいう。揮発性が大きい物質ほど、蒸発しやすい。

揮発性の大小は、物質の蒸気圧を用いて大まかに評価することが可能である。

(oo)対水反応性 95,59)

対水反応性(water reactivity)は、水と反応する物質の能力をいう。対水反応性物質が水又は空気中の水分と反応し、熱の放出、火炎又はある種の気体を放出する。

対水反応性は、漏出、火災などの対応時に、発生する気体の予測、消火のための水、泡の適用の可否の判断に用いられる。

(pp)水溶性 87,82)

水溶性(water solubility)は、水に対する溶解する能力をいう。

水溶性が大きい物質(10%以上、水に対する重量比と推定される)は、海上に漏洩すれば、全て海水に溶けてしまうことが予想される。水溶性の物質の場合、蒸気(気体)に水噴霧を適用することにより、噴霧中に蒸気を溶解させ、空気中濃度を減少させる蒸気ノックダウンという選択肢が存在する。水溶性がほとんどない場合には、この方法ではなく、水噴霧による空気の擾乱を利用した蒸気分散という選択肢が存在する。

(続く)

参考文献等

- 1) 国際放射線防護委員会の新勧告(Pub. 60)の取入れ等に関する人事院規則 10-5(職員の放射線障害の防止)の改正について(諮問)、
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/11/12/991272e.htm
- 2) 浅田忠一他監修、新版 原子力ハンドブック、オーム社(1989)
- 3) DRAFT Study Guide, U.S. Department of Energy,
<http://cted.inel.gov/cted/radpro/em1-3.pdf>
- 4) Carol J. Maslansky et al., Air Monitoring Instrumentation, JOHN WILEY & SONS, INC. NY(1993)
- 5) ES&H Manual(Document 22.6), Lawrence Livermore National Laboratory,
http://www.llnl.gov/es_and_h/hsm/doc_22.06/doc22-06.html
- 6) Chris Hawley, Hazardous Materials Air Monitoring and Detection Devices, DELMER, Canada(2002)
- 7) 海上保安庁警備救難部救難課、救難マニュアル 第3編 海難救助(1990)
- 8) ガステック社 HP、気体環境測定 Hand Book、http://www.gastec.co.jp/fp_top_japan.htm
- 9) キリヤ化学 HP(Q&A-43)、<http://www.kiriya-chem.co.jp/q&a/q43.html>
- 10) 計測と制御のボーダルサイト HP(pH 計測器及び ORP 計測器)、
<http://www.mandc.org/MandC/include/html/tech/40301.htm>
- 11) 東京理科大学理工学辞典編集委員会編、理工学辞典、日刊工業新聞(1996)
- 12) Theory and Practice of pH Measurement, <http://www.electro.unlp.edu.or/temas/p3-pl.pdf>
- 13) U.S. Department of Energy, TIE QUARTERLY, vol.10, No.3,2002,
<http://web.em.dog.gov/tie/tq-34.pdf>
- 14) 守永健一、基礎化学講座 9 酸化と還元、裳華堂(1972)
- 15) 藤永太郎他訳、イオン平衡、化学同人(1967)
- 16) Woori systems HP, <http://www.woorisystems.co.kr/istgaslist.htm>
- 17) Jack Chou, Hazardous Gas Monitors A Practical Guide to Selection, Operation and Applications, McGraw-Hill, New York(2000)
- 18) Air Test HP, <http://www.airtest.ca/technical/sensorcharacteristics.htm>
- 19) Electrochemical Sensor Technology HP,
<http://www.delphian.com/electrochemical%20sensors.htm>
- 20) U.S. Department of Health and Human Services, NIOSH Pocket guide to chemical hazard(1997)
- 21) Illinois Onsite Safety and Health Consultation Program HP,
<http://www.illinoisbiz.biz/osh/cnfs/cnfspecIII.htm>
- 22) Robert E. Henderson, Portable Gas Detectors used in Confined Space and Other Industrial Atmospheric Monitoring Programs, http://pksafety.com/pk_rae_confspace.pdf
- 23) Gerhard R. Wagner, TCS208F(3) Thermal Conductivity Sensor for Gases,

- <http://www.hlplanar.de/ger/datasheets/TCS208pi.pdf>
- 24) Delta F HP, <http://www.delta-f.com/AppNotes/DeltaFSolidStateCoulometricO2Sensor.pdf>
- 25) 例えば、U.S. Department of Labor HP,
http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9742
- 26) 日本原子力研究所 HP, <http://www.jaeri.go.jp/dresa/dresa/term/bp001510.htm>
- 27) 日本原子力研究所 HP, <http://mext-atm.jst.go.jp/atomica/keyword.html>
- 28) 九州大学大学院理学研究院・物理学部門・粒子物理学講座 HP,
<http://www.kutl.kyushu-u.ac.jp/seminar/MicroWorld/Part2/P21/kendenki.htm>
- 29) U.S. Department of Energy HP,
http://www.teppinfo.com/TrainingProgramSchedule/DraftModules/Mod10_SG.pdf
- 30) Stanford Liner Accelerator Center HP,
<http://www-group.slac.stanford.edu/esh/bulletins/b30.html>
- 31) U.S. Department of Energy HP, <http://cted.inel.gov/cted/radpro/rp13.pdf>
- 32) 日本原子力研究所 HP, <http://www.jaeri.go.jp/dresa/dresa/term/bp000970.htm>
- 33) Chris Hawley, Hazardous Materials Air Monitoring and Detection Devices, DELMER, New York(2002)
- 34) International Radiation Protection Association HP, <http://www.irpa.net/irpa10/cdrom/00757.pdf>
- 35) Radford university HP, <http://www.radford.edu/~fac-man/Safety/Radiation/chp5.htm>
- 36) オカニワ(株) HP, <http://okaniwa-co.co.jp/katarogu/09/3-97.htm>
- 37) Yamatake HP, <http://www.mandc.org/MandC/include/html/tech/40301.htm>
- 38) Laboratorio de Electrónica HP, http://www.electro.fisica.unlp.edu.ar/temas/pnolo/p3_ph.pdf
- 39) Weiss HP, <http://www.weissresearch.com/Literature/FAQ.htm>
- 40) 放射線測定協会 HP, <http://www.irm.or.jp/hakarukun/FAQ/appendix.html>
- 41) 原子力安全委員会、緊急時環境放射線モニタリング指針、
http://www.nsc.go.jp/anzen/sisin/hokok023/ho023_01.html
- 42) 寺中朋文、サーベイメータを使いこなそう、日本放射線技術学会雑誌、Vol.60、No.1、pp19-26(2004)、<http://www.nv-med.com/jsrt/pdf/20046001/19.pdf>
- 43) 東京理科大学理工学辞典編集委員会編、理工学辞典、日刊工業新聞社(1996)
- 44) 日本試薬協会 HP, <http://www.j-shiyaku.or.jp/home/reagents/index.html>
- 45) 石原平太郎、試薬ハンドブック、南江堂(1957)
- 46) HAZTECH SYSTEMS HP, <http://www.haztechsystems.com/>
- 47) IMO, International Maritime Dangerous Goods Code, London(1994)
- 48) 原子力安全委員会放射性物質安全輸送専門部門、IAEA 放射性物質安全輸送規則(1996年版)の国内規則への取り入れについて(平成12年1月21日)、
http://www.kokai-gen.org/information/0_kokuh.html
- 49) Federal Resister, Vol69, No.16, Monday, January 26, 2004, Part II Department of

225－危険物事故の対応にあたる者に必要とされる能力の基準(その5)

- Transportation, http://www.rampac.com/PCN/DOT_Final_Rule.pdf
- 50) U.S. Environment Protection Agency HP, <http://www.epa.gov/ceppo/cameo/>
- 51) U.S. Coast Guard HP, <http://www.chrismanual.com/>
- 52) 久保亮五他編、岩波 理化学辞典 第4版、岩波書店(1987)
- 53) Chembase HP, <http://homepage2.nifty.com/organic-chemistry/calculated/acid-base.htm>
- 54) ユージン・メイヤー著、崎川範行訳、危険物の化学、海文堂(1979)
- 55) 小島和夫、エンジニアのための化学熱力学入門、培風館(1986)
- 56) 日本化学会編、化学便覧 基礎編 改訂4版、丸善(1993)
- 57) Union Pacific HP, <http://www.uprr.com/she/emg/envigls.shtml>
- 58) 東京大学医学部生化学教室 HP、
<http://www.biochem2.m.u-tokyo.ac.jp/web/contents/Manuals/manual93.html>
- 59) Jerry Laughlin, David G. Trebisacci, Hazardous Materials Response Handbook 4th Ed., National Fire Protection Association, MA(2002)
- 60) Michael Wieder et. al., Hazardous Materials For First Responders 2nd Ed., Oklahoma State University, OK(1994)
- 61) European Chemical Industry Council, Peroxygens Hydrogen peroxide subgroup Bulk Storage Guideline (September 2001), <http://www.cefic.be/files/Publications/guideline.pdf>
- 62) ethylene oxide second edition HP,
http://www.ethyleneoxide.com/html/body_overview_of_hazards.html
- 63) American Institute of Chemical Engineers HP, <http://www.aiche.org/ccps/pdf/reactmat.pdf>
- 64) U.S. Department of Energy HP, http://www.eh.doe.gov/chem_safety//Docs/Blee.html
- 65) U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board HP,
http://www.csb.gov/completed_investigations/docs/ReactiveHazardInvestigationReport.pdf
- 66) Robert Burke, Hazardous Materials Chemistry for Emergency Responders, CRC Press, FL(1997)
- 67) Thomas O'Connel, A Guide to Working with Corrosive Substances, N.C. Department of Labor,
<http://www.nclabor.com/osha/etta/indguide/ig30.pdf>
- 68) Seton's EH&S Compliance Resource Centers HP,
<http://www.setonresourcecenter.com/40CFR/Docs/wcd00051/wcd051bf.asp>
- 69) 例えば、佐藤一雄、物性定数推算法、丸善(1954)
- 70) 安全工学協会編、改訂 安全工学便覧、コロナ社(1980)
- 71) Frank L. Fire, The Common Sense Approach to Hazardous Materials 2nd Ed., Fire Engineering, NJ(1996)
- 72) Pradyot Patnaik, A Comprehensive Guide to the Hazardous Properties of Chemical Substances 2nd Ed., John Wiley & Sons, Canada(1999)
- 73) Jessie D. Kinley, Call Kinley Adventures of an oil well firefighter, Cock-A-Hoop, OK(1995)

- 74) NOVA Chemicals HP, http://www.novachem.com/04_products/StyMon_Safety_0704.pdf
- 75) National Fire Protection Association, NFPA 704 2001 Edition, MA(2001)
- 76) David M. Lesak, Hazardous Materials: strategies and tactics, Brady, New Jersey(1999)
- 77) LSU Fire and Emergency Training Institute HP,
<http://feti.lsu.edu/glossary/browse.php?letter=M>
- 78) Smith collage HP, [http://www.science.smith.edu/resources/safety/chapter_V\(f\).html](http://www.science.smith.edu/resources/safety/chapter_V(f).html)
- 79) Fact index HP, <http://www.fact-index.com/m/mi/miscibility.html>
- 80) Gregory G Noll et. al., Hazardous Materials Managing the Incident 2nd ed., Oklahoma State University, Oklahoma(1995)
- 81) 秋葉他訳、H. ハート著、ハート 基礎有機化学、培風館(1986)
- 82) Center for Labor Education and Research, Emergency Response Training Manual for the Hazardous Materials Technician, John Wiley & Sons, NY(1992)
- 83) フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia) 』,
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%AD%E6%80%A7%E5%AD%90>
- 84) TheFreeDictionary com HP,
<http://encyclopedia.thefreedictionary.com/Saturated%20hydrocarbon>
- 85) 安全工学協会、新安全工学便覧、コロナ社(1999)
- 86) ATOFINA Chemicals HP,
<http://www.atofinachemicals.com/plants/canada/pdf/OrganicPeroxideSG.pdf>
- 87) HELCOM Manual vol.2, <http://www.coastguard.se/ra/volume2/start.html>
- 88) 島原健三、新化学計算、三共出版(1984)
- 89) word iQ HP, <http://www.wordiq.com/definition/Viscosity>
- 90) The MSDS Hyper Glossary HP, <http://www.ilpi.com/msds/ref/viscosity.html>
- 91) free definition HP, <http://www.freedefinition.com/Viscosity.html>
- 92) 海上災害防止センター編、昭和 62 年度 有害液体物質流出拡散シミュレーション解析調査報告—ケミカルタンカーからの流出液の広がり と 蒸発ガス拡散予測—、海上災害防止センター(1987)
- 93) The MSDS Hyper Glossary HP, <http://www.ilpi.com/msds/ref/volatility.html>
- 94) The MSDS Hyper Glossary HP, <http://www.ilpi.com/msds/ref/evaporationrate.html>
- 95) Union Pacific HP, <http://www.uprr.com/she/emg/envigls5.shtml>