

### 3.大気汚染物質の拡散

(2)排ガス拡散の一般特性

(4)風速と拡散濃度  
 煙突出口の濃度 (g/m<sup>3</sup>) = 吐出速度 (g/sec) / 風速 (m<sup>2</sup>/sec)  
 = 吐出ガス濃度 (g/m<sup>3</sup>) × 吐出ガス流量 (m<sup>2</sup>/sec) / 風速 (m<sup>2</sup>/sec)  
 ●煙突出口付近の風下での濃度は風速に逆比例。

(5)分子拡散と乱流拡散  
 分子拡散: 静止した空気中における拡散 →  $F_x = K_x \frac{\partial C}{\partial x}$   
 乱流拡散: 渦の不規則な運動(渦拡散)

### 3.大気汚染物質の拡散

逆転層とは・・ 対流圏では、気温は高度とともに低くなるのがふつであるが、ときに気温が高度とともに高くなる層が出現する。この層のことを逆転層と呼ぶ。

接地逆転層 → 図1(a)  
 夜間の放射冷却によって、地表付近の空気が冷えてできる逆転層。冬季に曇らない夜間に発生しやすい。霧(放射霧)も発生しやすい。日の出とともに逆転層も放射霧も消えなくなる。同じ放射逆転層は、暖かい空気が冷たい海上を覆ってできる。この時も霧が発生しやすく、霧散による海面の水平混雑を繰り返す。

沈降逆転層 → 図1(b)  
 下降気流によって空気が沈降し、断熱圧縮の昇温によって地表層から離れた高度にできる逆転層である。一般に上空の空気が湿潤か湿潤でないかで、その空気が断熱的に下降してくると、下層の湿度の低い空気との境目により逆転層を生じることになる。逆転層のすぐ上の大気の湿度は断熱圧縮により乾燥断熱率となっている。質量混合比は高いこの逆転層があり、質量混合比逆転層とも呼ばれている。冬季、寒気が吹き下す際にも発生しやすく、その高度は約200m前後で、海上に発生する霧状の雲はこの逆転層によって霧を捕らえている。

移流逆転層 → 図2  
 温暖な地域や季節前線の高さにより冷たい気団と暖かい気団の境である前線は逆転層を形成する。例は、下層に冷気が滞留している。その上を暖気団に伴う暖かい雨よりの風が吹くと逆転層が形成される。図2は移流逆転層の一例であるが、下層の逆転層においては上層気団とは異なり、東風が流れ込んでいることが分かる。

### 3.大気汚染物質の拡散

(2)排ガス拡散の一般特性

(6)拡散微分方程式  
 x軸方向の拡散だけを仮定すれば、  
 流入:  $F_x dy dz$  流出:  $\left\{ F_x + \frac{\partial F_x}{\partial x} dx \right\} dy dz$   
 濃度の時間変化:  
 $\frac{\partial C}{\partial t} = \left\{ F_x + \frac{\partial F_x}{\partial x} dx \right\} dy dz - F_x dy dz = \frac{\partial F_x}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right)$

最も単純に、 $K_x$ が一定で、煙突出口 $x=0$ で $t=0$ に $Q$ 量の排煙が瞬間放出されるとき、微分方程式を解くと、任意距離 $x$ の任意時間 $t$ での拡散濃度 $C(x,t)$ が計算できる。

$$C(x,t) = \frac{Q}{2\sqrt{\pi K_x t}} \exp\left(-\frac{x^2}{4K_x t}\right)$$

### 3.大気汚染物質の拡散

(3)拡散式の基本的な導き方

(1)点源から瞬間的に放出される煙(パフ)  
 水平方向 $x, y$ 、鉛直方向 $z$ 、濃度の空間分布 $F$ は正規分布(ガウス分布)関数とすると、  
 ・有効煙突高さ $H$ の点源 $x=0, y=0, z=H$ から瞬間放出された煙 $Q'$ について、  
 $C = C_0 F(x) F(y) F(z)$   
 ここで、 $C_0$ は煙の中心濃度  
 $F(x) = \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right)$   $F(y) = \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)$   
 $F(z) = \exp\left(-\frac{(H_z - z)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(H_z + z)^2}{2\sigma_z^2}\right)$  ※第2項は地表での反射

・煙量保存則において、空間に放出された煙をすべて集めると $Q'$ (m<sup>3</sup>)になるから、  
 $Q' = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} C dx dy dz$   
 とし、ここで、 $F(x)$ の $-\infty \sim \infty$ の積分は $\sqrt{2\pi}\sigma_x$ だから、  
 $C = \frac{Q'}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} F(x) F(y) F(z)$   
 ※ $C_0$ はガウス式という。

### 3.大気汚染物質の拡散

(2)排ガス拡散の一般特性

(7)気象条件等の影響と大気安定度、温度逆転層  
 ・気温の鉛直勾配 →  $0.0098^\circ\text{C}/\text{m} \approx 1^\circ\text{C}/100\text{m}$   
 ・気圧減少による断熱膨張  
 ・大気中で上下する空気塊と周囲の大気との温度差(密度差)

### 3.大気汚染物質の拡散

(3)拡散式の基本的な導き方

(2)有風に対して連続的に放出される煙流(プルーム)  
 時間 間に放出された煙が風速  $u$  (m/s)の風の中の  $udt$  (m)の長さに入るとき、 $udt$ 内では風方向の濃度分布が無視できるとして $F(x) = 1$ とみなすと、  
 ・煙量保存則から放出された煙は $Q$ (m<sup>3</sup>/s)は  
 $Q = u \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} C dx dy$  とするから、  
 $C = \frac{Q}{2\pi \cdot u \cdot \sigma_x \sigma_z} F(y) F(z)$   
 ※これを「プルーム式」という。

### 3. 大気汚染物質の拡散

#### (4) 実用的な拡散モデルと拡散シミュレーション

##### (1) 拡散モデル

ブルームモデルは、気象条件・排出条件の定常性の仮定のもとに成立するもので、長期間の濃度出現の頻度分布や長期平均濃度の空間分布の再現や予測に威力を発揮しているが、時間依存型の短期の濃度変動予測には適さない。

パフモデルは、非定常な汚染物質の拡散をも扱い得るように考慮されているが、1回の排出源についても追跡すべきパフ(濃度)は多数あるため、計算量がかなり大きくなる。

ブルーム・パフモデルでは、任意の地点の環境濃度はすべての排出源から発するブルームやパフの寄与を積算して得られる。したがって、大気汚染に対する個々の排出源の寄与率を求めることができる利点がある。

ボックスモデルは、三次元空間にある大きさの格子(メッシュ)に切り分け、汚染物質がメッシュから隣接するメッシュへと風による移流と拡散によって移動する様子を時間差分で計算する。排出速度や風向・風速の時間変化に連動して濃度変動がある。

表3.7 実用的な拡散モデルの分類と特徴

方法	拡散モデル	モデルの特徴
線形的	ブルーム	ブルームモデルは連続して定常な排出源からの排出物を、初期の定常状態から出発する、主として定常状態に適用される。時間変化は線形に、平均風速で進行する。
	パフ	パフモデルは一定の排出源から、連続して排出される一定量の排出物を、一定の排出速度、風向・風速の条件下、時間差分で計算する。排出速度や風向・風速の時間変化に連動して濃度変動がある。
	ボックス	ボックスモデルは、三次元空間を一定の大きさの格子(メッシュ)に切り分け、汚染物質がメッシュから隣接するメッシュへと風による移流と拡散によって移動する様子を時間差分で計算する。排出速度や風向・風速の時間変化に連動して濃度変動がある。
非線形的	線形	線形モデルは一般に、排出源の位置や風速に依存する。
物理的 (気流変動)	風	風速や風向の変動、排出源の位置、風速の時間変化に依存する。

### 4. 燃焼における大気汚染の防止技術 その1 燃料の特性と燃焼計算

#### (2) 燃料の種類と特徴(つづき)

燃料の種類と成分・用途

燃料の種類	成分	用途
石炭	C, H, O, N, S	火力発電、工業用
石油	C, H, S	発電機、船舶、自動車
天然ガス	CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	家庭用、工業用
バイオマス	C, H, O	発電機、工業用
廃棄物	C, H, O, N, S	発電機、工業用

### 3. 大気汚染物質の拡散

#### (4) 実用的な拡散モデルと拡散シミュレーション

##### (2) j 方向における年平均濃度の求め方

- 1年間での出現頻度  $f_j$  の異なる大気安定度  $i$  の状態が Nパターン存在するとき、
- 計算する座以外の遠方からのバックグラウンド濃度  $C_b$  も加算されるので、

$$\bar{C}_j = \sum_{i=1}^N f_i C_i + C_b$$

##### (3) 現地トレーサー実験

- 不活性なトレーサー物質(PFC, SF<sub>6</sub> など) → パーフルオロメチルシクロヘキサン、パーフルオロメチルシクロペンタン)を有効燃焼高さH<sub>eff</sub>から大気へ放出し、風下で捕集して、拡散係数  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  と濃度を検証する。

### 4. 燃焼における大気汚染の防止技術 その1 燃料の特性と燃焼計算

#### (4.2) 燃焼と燃焼計算

##### (1) 燃料の燃焼計算

燃焼とは、空気または酸素との化学反応によって、熱と光を発生する現象。

燃料計算とは、燃焼反応前後で「質量保存の法則」を適用して、取次計算し、燃焼空気量、燃焼排ガス量などの量的計算を行うこと。

##### (2) 燃焼計算方法

主な燃焼反応

- $H_2 + 1/2O_2 = H_2O + 241.1 \text{ MJ/kmol} (57600 \text{ kcal/kmol})$
- $CO + 1/2O_2 = CO_2 + 283 \text{ MJ/kmol} (67600 \text{ kcal/kmol})$
- $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O + 799.6 \text{ MJ/kmol} (191900 \text{ kcal/kmol})$
- $C_2H_6 + 3.5O_2 = 2CO_2 + 3H_2O + 1305.2 \text{ MJ/kmol} (313000 \text{ kcal/kmol})$
- $C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O + 2086 \text{ MJ/kmol} (499000 \text{ kcal/kmol})$
- $C + O_2 = CO_2 + 406 \text{ MJ/kmol} (97000 \text{ kcal/kmol})$
- $C + 1/2O_2 = CO + 133.1 \text{ MJ/kmol} (29400 \text{ kcal/kmol})$
- $S + O_2 = SO_2 + 296.8 \text{ MJ/kmol} (71000 \text{ kcal/kmol})$

### 4. 燃焼における大気汚染の防止技術 その1 燃料の特性と燃焼計算

#### (4.1) 燃料の特性

##### (1) 燃料の定義

- 燃料とは空気中で燃焼し、その燃焼熱を経済的に利用できる物質。

##### (2) 燃料の種類と特徴

気体燃料: 天然ガス、油ガス、液化石油ガス(LPG)、精油所ガス、五炭ガス、高炉ガス

- 燃焼効率が高く、僅少な過剰空気で完全燃焼でき、すすが生じにくい。
- 硫黄分を含まないものが多く、燃焼してSO<sub>x</sub>を生成しない。
- 灰分がほとんどなく、はいじんを発生しにくい。

液体燃料: 揮発油(ガソリン)、灯油、軽油、重油

はいじん: 燃料その他の燃焼に伴い発生する硫黄酸化物、はいじん、有害物質の総称。

固体燃料: 工業的には石炭、コークス、他にまき(薪)、炭

はいじん: ホイラーや電気炉等から発生するすすや固体粒子のこと。

### 4. 燃焼における大気汚染の防止技術 その1 燃料の特性と燃焼計算

#### (2) 燃焼計算方法(つづき)

##### 気体燃料の燃焼

燃焼による空気および生成ガスの理論量を示す。酸素は21%、残りは窒素

表2.10 理論ガスの燃焼表

燃料	燃焼反応式	燃料 1 m <sup>3</sup> に対する		
		理論空気量 (m <sup>3</sup> )	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
水素	2H <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> → 2H <sub>2</sub> O	0.5	1.88	1
一次炭化水素	2CO + O <sub>2</sub> → 2CO <sub>2</sub>	0.5	1.88	1
メタン	CH <sub>4</sub> + 2O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	2	7.32	1 2
エタン	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> + 3.5O <sub>2</sub> → 2CO <sub>2</sub> + 3H <sub>2</sub> O	3	11.28	2 2
プロパン	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> + 5O <sub>2</sub> → 3CO <sub>2</sub> + 4H <sub>2</sub> O	2.5	9.40	2 1
ベンゼン炭化水素	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> + 7.5O <sub>2</sub> → 6CO <sub>2</sub> + 3H <sub>2</sub> O	7.5	26.70	6 3
一般炭化水素	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> + (x + y/4)O <sub>2</sub> → xCO <sub>2</sub> + y/2H <sub>2</sub> O	x + y/4	3.76(x + y/4)	x 2

**4. 燃焼における大気汚染の防止技術** その1 燃料の特性と燃焼計算

(2) 燃焼計算方法(つづき)

液体燃料/固体燃料の燃焼計算

表 2.11 燃料中の可燃元素の燃焼表

可燃元素	①燃料中の可燃元素の質量(%) ②分子式に基く質量(%) ③分子式に基く体積(m <sup>3</sup> )	可燃元素 1kg に対する			
		燃焼生成物	体積数	質量数	燃焼ガス
炭素 C	① C	CO <sub>2</sub>	2.27 m <sup>3</sup>	3.67 kg	CO <sub>2</sub> 11.45 kg
	② C	CO	1.87 m <sup>3</sup>	2.67 kg	CO 8.78 kg
	③ C	CO <sub>2</sub>	1.87 m <sup>3</sup>	1.87 m <sup>3</sup>	N <sub>2</sub> 7.92 m <sup>3</sup> , N <sub>2</sub> 8.89 m <sup>3</sup>
水素 H	① H	H <sub>2</sub> O	9 kg	9 kg	H <sub>2</sub> O 35.34 kg
	② H	H <sub>2</sub> O	11.2 m <sup>3</sup>	5.6 m <sup>3</sup>	N <sub>2</sub> 21.67 m <sup>3</sup> , N <sub>2</sub> 32.27 m <sup>3</sup>
	③ H	H <sub>2</sub> O	11.2 m <sup>3</sup>	1.87 m <sup>3</sup>	CO 6.72 kg
硫黄 S	① S	SO <sub>2</sub>	2 kg	1 kg	SO <sub>2</sub> 5.29 kg
	② S	SO <sub>2</sub>	0.7 m <sup>3</sup>	0.7 m <sup>3</sup>	N <sub>2</sub> 2.63 m <sup>3</sup> , N <sub>2</sub> 3.33 m <sup>3</sup>
	③ S	SO <sub>2</sub>	0.7 m <sup>3</sup>	0.7 m <sup>3</sup>	

**4. 燃焼における大気汚染の防止技術** その1 燃料の特性と燃焼計算

(4.2) 燃焼と燃焼計算

(5) 発熱量

- 燃料の単位量 (気体1m<sup>3</sup>N, 液体・固体1kg) の完全燃焼時に発生する熱量 (kJ, kcal) のこと
- 熱量計では、燃料中の水分および生成した水分の凝縮熱を含む熱量が測定される。実際の燃焼では、燃焼排ガス中の水分は水蒸気として排出され、凝縮熱は利用できないことが多い。
- 高(位)発熱量(総発熱量) H<sub>h</sub> 水の凝縮熱を含む (kJ/kg)
- 低(位)発熱量(真発熱量) H<sub>l</sub> 水の凝縮熱を含まない (kJ/kg)

低(位)発熱量 = 高(位)発熱量 - 水蒸気の凝縮潜熱 × 水蒸気量

気体燃料: カッコの前の数字は水の蒸発熱(MJ/m<sup>3</sup>)

$$H_l = H_h - 2.0 \left\{ h_2 + 2ch_2 + 2c_2h_2 + \dots + \left(\frac{1}{2}\right)c_2h_2 \right\} \quad (\text{MJ/m}^3)$$

液体燃料 or 固体燃料

$$H_l = H_h - 2.5(9h + w) \quad \text{hおよびwは燃料1kg中の水素および水分量 (kg)}$$

	灯油	A重油	都市ガス13A
高(位)発熱量	46.6 MJ/kg	46.2 MJ/kg	46.0 MJ/m <sup>3</sup> N
低(位)発熱量	43.6 MJ/kg	42.7 MJ/kg	40.6 MJ/m <sup>3</sup> N
低(位)発熱量/高(位)発熱量	0.94	0.94	0.90

成産物を燃焼させる場合には、水分を多く含む場合があるため、基本的な考え方は同じだが、低(位)発熱量と高(位)発熱量が大きく異なる場合があるので要注意。

**4. 燃焼における大気汚染の防止技術** その1 燃料の特性と燃焼計算

(4.2) 燃焼と燃焼計算

(3) 理論空気量と所要空気量

理論空気量: 燃料の完全燃焼に必要な最小の空気量

気体燃料: 燃料1m<sup>3</sup>N中の各ガス体積m<sub>i</sub>Nから理論空気量A<sub>0</sub> (m<sup>3</sup>N-Air/m<sup>3</sup>N-燃料)を算出。なお、O<sub>2</sub> (m<sup>3</sup>N-O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>N-燃料)は理論酸素量

$$A_0 = \frac{O_2}{0.21} = \frac{1}{0.21} \left\{ 0.5h_2 + 0.5c_2 + 2c_2h_2 + 3c_2h_2 + \dots + \left(x + \frac{r}{4}\right)c_2h_2 - o_2 \right\}$$

液体燃料 or 固体燃料: 燃料1kg中のC、H、O、S量(kg)から理論空気量A<sub>0</sub> (m<sup>3</sup>N-Air/kg-燃料)を算出する。燃料中の酸素は結合水の状態にあり、その水素分は燃焼に利用されないため、(h - o/8) = 有効水素

$$A_0 = \frac{O_2}{0.21} = \frac{1}{0.21} \left\{ \frac{22.4}{12} c + \frac{22.4}{4} \left( h - \frac{o}{8} \right) - \frac{22.4}{32} s \right\} = 8.89c + 26.7 \left( h - \frac{o}{8} \right) + 3.3s$$

所要空気量

A = mA<sub>0</sub> (m > 1.0) mを空気比または空気過剰係数、(m - 1) × 100%を過剰空気率

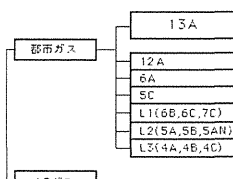
気体 1.05 ~ 1.1, 液体 1.05 ~ 1.2, 微粒炭 1.2 ~ 1.3, 流動床 1.2 ~ 1.45, 固定床 1.3 ~ 1.45

**4. 燃焼における大気汚染の防止技術** その1 燃料の特性と燃焼計算

(4.2) 燃焼と燃焼計算

(5) 都市ガスの種類

- 液化石油ガス(LPG): プロパン、ブタン
  - 発熱量(約50MJ/kg) ボンベで供給
- 都市ガス
  - 通常は13A(45MJ/m<sup>3</sup>)
  - メタン: 89.6%
  - エタン: 5.6%、他



ガス種の英字は燃焼速度を表示  
A: 速い, B: 中間, C: 遅い

**4. 燃焼における大気汚染の防止技術** その1 燃料の特性と燃焼計算

(4.2) 燃焼と燃焼計算

(4) 理論燃焼ガス量

湿りガスと乾きガス  
燃焼排ガス中の水蒸気を考慮するかしないか

理論燃焼ガス量: 燃料が理論空気量で完全燃焼したと仮定したときの燃焼ガス量

理論燃焼ガス量でも湿りガス量G<sub>0</sub>か乾きガス量G<sub>0</sub>'かを考慮する必要があり、また実際のガス量G、G'はそれぞれ次のようになる。

$$G = G_0 + (m-1)A_0, \quad G' = G_0' + (m-1)A_0$$

**4. 燃焼における大気汚染の防止技術** 演習

演習問題1 プロパン1kgを空気比1.1で燃焼する場合、必要な空気量 (m<sup>3</sup>N)はいくらか?

演習問題2 c = 87%、h = 12%、s = 1%の組成の重油 1kg を燃焼するのに必要な理論空気量を求めよ。

演習問題3 c = 86%、h = 11%、s = 3%の組成の重油を燃焼し、その排ガス分析を行ったところ、下記の結果を得た。重油 1kg 当たり燃焼に必要な空気量 (m<sup>3</sup>N)および乾き燃焼排ガス中のSO<sub>2</sub>の濃度を求めよ。

(排ガス分析結果)

[CO<sub>2</sub>] + [SO<sub>2</sub>] = 13%、[O<sub>2</sub>] = 3.0%、[CO] = 0%

※空気比 m と 乾きガス量 G' は、次式を用いて求めてよい。

$$m = \frac{21[N_2]}{21[N_2] - 79([O_2] - 0.521[CO])}$$

$$G' = mA_0 - 5.6h + 0.7o + 0.8n$$

### 4. 燃焼における大気汚染の防止技術 演習

演習問題4 常温で気体である炭化水素Aの4.48L(標準状態)を、酸素と混合して完全燃焼させた。そのとき二酸化炭素26.4gと水が生成し、444kJの熱が発生した。ただし、混合した酸素の量は完全燃焼に必要な理論量とする。

- 炭化水素Aの燃焼熱(kJ/mol)を有効数字3けたで求めよ。
- 炭化水素Aの燃焼後の気体を標準状態にもどしたところ、その体積は燃焼前の混合気体のちょうど半分減少していた。炭化水素Aの分子式を $C_mH_n$ とすると $m$ と $n$ をそれぞれ答えよ。ただし、燃焼後の気体の体積(標準状態)に占める $H_2O$ の体積は無視せよ。
- 常温で気体である別の炭化水素B 1.60gの体積は標準状態で2.24L、その生成熱は75.0kJ/molであった。炭化水素Bの分子式を求めよ。また、下記の反応式も利用して、炭化水素Bの燃焼熱(kJ/mol)を有効数字3けたで求めよ。  

$$C(\text{固体}) + O_2(\text{気体}) = CO_2(\text{気体}) + 394 \text{ kJ/mol}$$

$$H_2(\text{気体}) + \frac{1}{2}O_2(\text{気体}) = H_2O(\text{液体}) + 286 \text{ kJ/mol}$$
- 炭化水素Aと炭化水素Bをそれぞれ完全燃焼させ、等しい熱量が生じたとする。このとき発生する二酸化炭素の量は炭化水素Aと炭化水素Bでどちらが多いか。AまたはBで答えよ。また、二酸化炭素発生量の多い方は少ない方の何倍になるか。倍率を有効数字2けたで求めよ。

### 5. 燃焼における大気汚染の防止技術 その2 ばい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.1)ばい煙の排出基準

(3) 総量規制基準  
 大都市やコンビナートなどの密集地域において、施設ごとではなく、工場・事業場ごとに行う。  
 合計量の許容限度やその削減目標、計画義務。  
**SOx**:1974年から。現在24地域。  
**NOx**:1981年から。現在3地域(東京都特別区、横浜・川崎等、大阪等)。

(4) 燃料使用基準

① 季節による燃料使用の措置  
 (冬場における良質燃料の使用や使用量削減の勧告・命令)  
 ex.横浜は11/1~3/1、部内は通年で低硫黄燃料を使用。

② 指定地域での燃料使用の措置  
 (区域内で総量規制基準が適用されない小規模の工場・事業場)

### 5. 燃焼における大気汚染の防止技術 その2 ばい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.1)ばい煙の発生防止

(1) ばい煙とは？  
 ばい煙: 主に石炭や重油の燃焼から発生するSOx、NOx、すず、重金属、酸性ガスなどの総称  
 粉じん: 機械的処理施設から発生する浮遊性の固形物

浮遊粒子状物質 (SPM or PM10)
 

- 直径10μm超
  - ばいじん(物の燃焼に伴い発生)
  - 粉じん(物の破砕、選別等の機械処理から飛散)
- 直径10μm以下
  - 自動車排出ガス中の粒子状物質
  - 自然界の粒子状物質や自動車の巻き上げなど

微小粒子状物質
 

- 直径2.5μm以下
  - ディーゼル排気微粒子など

### 5. 燃焼における大気汚染の防止技術 その2 ばい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.1)ばい煙の排出基準

(5) 一般粉じん発生施設の構造基準  
 一般粉じん: 排出濃度規制ではなく、施設の構造や使用・管理の基準  
 理由: 機械的処理施設では煙突なく、粒子径大きく、健康影響小さい、飛散回数少ない等

(6) 特定粉じん発生施設(石綿のみ)

(7) 自動車排ガスに係る許容限度(CO、HC、Pc化合物、NOx、SPM)  
 車両の新規登録および定期車検による許容限度の検査

### 5. 燃焼における大気汚染の防止技術 その2 ばい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.1)ばい煙の排出基準

(2) ばい煙の排出基準

- 一般排出基準: SOxは地域区分ごと、ばいじんや有害物は全国一律
- 特別排出基準: 発生施設が集中する地域での特定の物質(SOx、ばいじん)の厳しい基準
- 上乗せ基準: 都道府県ごとの厳しい基準(SOx、ばいじん)
- 硫酸化合物に係る排出基準 (K値規制=排出口高さに応じて定める許容限度→後述する)
- ばいじんに係る排出基準 (施設の種類および規模ごとに定める排出口での許容限度)
- 有害物質に係る排出基準 (施設の種類および有害物の種類ごとに定める排出口での許容限度)

### 5. 燃焼における大気汚染の防止技術 その2 ばい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.2)ばい煙の排出基準

(1) 排煙脱硫装置の種類

・ガス成分であるSO<sub>2</sub>を化学反応によりCaSO<sub>4</sub>やMgSO<sub>4</sub>などのスラリーとして取り出す。  
 ・SO<sub>2</sub>を含むガスとの接触方式により、湿式/半乾式/乾式に分類。湿式が主。湿式の中でもアルカリスラリーやアルカリ溶液を吸収剤にするものが設置数で70%、処理能力で80%。

(表2.22 ばい煙脱硫装置の種類と脱硫率)

装置の種類	脱硫剤	脱硫率(%)	副生成物
石灰スラリー吸収法	石灰石、未燃化カルシウム、DTPM、ファインシリカ	石こう (90%)	亜硫酸カルシウム主体のスラッジ (乾式)
水酸化マグネシウムスラリー吸収法	水酸化マグネシウム	SO <sub>3</sub> 、石こう (90%)	硫酸マグネシウム (乾式)
アルカリ硫酸塩吸収法	水酸化ナトリウム、硫酸ナトリウム、アンモニア水	硫酸ナトリウム、硫酸アンモニア	硫酸アンモニウム (乾式)
タロアルカリ法	硫酸ナトリウム、アンモニア、硫酸アンモニウム	石こう (90%)	石こう (乾式)
抽出吸収法	有機溶剤抽出	抽出溶剤	抽出溶剤
スプレーライナー法	水酸化カルシウム、硫酸ナトリウム、硫酸ナトリウム、硫酸アンモニウム、石こう、有機溶剤抽出	硫酸カルシウム、石こう (90%)	硫酸カルシウム、石こう (乾式)
半乾式	水スラリー法	硫酸カルシウム、石こう (90%)	硫酸カルシウム、石こう (乾式)
乾式	炉内 燃焼石炭灰のみ法	水酸化カルシウム、石灰質生灰(石灰灰利用)	硫酸カルシウム、石こう (乾式) 石膏の2つ
	活性炭吸収法	活性炭(活性炭コート)	硫酸(乾式、湿式) (乾式)
	電子線照射法	アンモニア	硫酸アンモニウム (乾式)

**5. 燃焼における大気汚染の防止技術** その2 ばい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.2) ばい煙の排出基準

(2) 代表的な脱硫プロセス

(a) 石灰スラリー吸収法

吸収塔:  $\text{SO}_2 + \text{CaCO}_3 + 1/2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

pH調整塔:  $< \text{pH}4$

酸化塔:  $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2 + 3/2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (石膏乳液)

**5. 燃焼における大気汚染の防止技術** その2 ばい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.3) 排煙脱硝装置

(1) NOxの生成機構

(a) ヒューエルNOx: 燃料成分の酸化によるもの

(b) サーマルNOx: 燃焼時に空気中N<sub>2</sub>が酸化されて生成するもの

(2) 抑制の基本原則

(a) 有機窒素含有量の少ない燃料を使用すること

(b-1) 燃焼域での酸素濃度を低くすること (希薄燃焼=リーンバーン)

(b-2) 高温域での燃焼ガスの滞留時間を短くすること

(b-3) 燃焼温度を低くする, 特に, 局部的な高温域を発生させないこと

**5. 燃焼における大気汚染の防止技術** その2 ばい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.2) ばい煙の排出基準

(2) 代表的な脱硫プロセス

(b) 水酸化マグネシウムスラリー吸収法

吸収塔:  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$   
 $\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{Mg}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{MgSO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$   
 $\text{MgSO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{HSO}_3)_2$

吸収塔液室:  $\text{Mg}(\text{HSO}_3)_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{MgSO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$   
 $\text{MgSO}_3 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{MgSO}_4$   
 $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Mg}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{MgSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

酸化塔:  $\text{Mg}(\text{HSO}_3)_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{MgSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_3$   
 $\text{MgSO}_3 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{MgSO}_4$

再生1):  $\text{MgSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

再生2):  $\text{MgSO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{SO}_2$  (乾燥・熱分解)  
 $\text{MgSO}_4 + 1/2\text{C} \rightarrow \text{MgO} + \text{SO}_2 + 1/2\text{CO}_2$  (コークス還元)  
 $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2$

**5. 燃焼における大気汚染の防止技術** その2 ばい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.3) 排煙脱硝装置

(3) NOx低減技術

NOx低減技術: NOx生成抑制技術, 燃料改善, 脱硝による燃料の改善, 燃焼改善

排煙脱硝技術: 乾式, 湿式

表 2.26 燃料中の窒素及び燃焼条件

燃料	窒素含有率 (%)	燃焼温度 (°C)	滞留時間 (s)	NOx生成率 (ppm)
石炭	1.0	1500	10	100
石油	0.5	1500	10	50
天然ガス	0.1	1500	10	10
バイオマス	0.2	1000	10	20

**5. 燃焼における大気汚染の防止技術** その2 ばい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.2) ばい煙の排出基準

(3) 簡易形の排煙脱硝装置

(c) 炉内脱硫+水スプレー式

・脱硫剤をSO<sub>2</sub>が生成する燃焼炉内へ直接吹き込んで, CaSO<sub>3</sub>やMgSO<sub>4</sub>などを取り出す。

・脱硫率80%だが, 無排水でコンパクト。

燃焼炉:  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$   
 $\text{SO}_2 + \text{CaO} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4$

冷却塔:  $\text{SO}_2 + \text{CaO} + 1/2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$   
 $\text{SO}_2 + \text{CaO} + 2\text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

(d) スプレッドライヤー式

・アルカリ溶液やスラリーを吸収塔内に噴霧してSO<sub>2</sub>を固定化し, ガス熱と反応熱で乾燥。

・粉末状の硫酸塩, 亜硫酸塩を集じん装置で回収。

**5. 燃焼における大気汚染の防止技術** その2 ばい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.3) 排煙脱硝装置

(4) 排煙脱硝装置

(a) アンモニア接触還元法

・NOxを含む排ガス中にNH<sub>3</sub>を注入し, 触媒で250~450°CでN<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oに分解。

$$4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$$

$$\text{NO} + \text{NO}_2 + 2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$$

・脱硝触媒: TiO<sub>2</sub>担体にV<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を担持させたものをハニカム型に成型したものが主。

(b) 無触媒還元法

・900~1000°Cの高温排ガス中にNH<sub>3</sub>を注入し, 触媒を用いないでNOを選択的に分解。

**5. 燃焼における大気汚染の防止技術** その2 はい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.4) 同時脱硫・脱硝技術

(1) 活性炭による吸着・触媒分解法

- SO<sub>x</sub>を吸着
- NO<sub>x</sub>をNH<sub>3</sub>と反応させて触媒分解
- 硫酸H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>あるいは硫酸アンモニウム(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>として回収

**6. 集塵技術 その1 ダストの性状と集塵装置**

(6.1) ダストの性状

(5) ダストの粒度(粒径分布)とその測定方法(つづき)

・微分粒径分布(頻度分布):  
積算粒径分布の微分値をプロットしたもの。  
あるいは、ある粒子径幅にある粒子の質量割合  $f = \frac{\Delta R}{\Delta d_p}$   
通常は対数正規分布とみなすことが多い。

表 5.2 代表的な粒径分布の測定方法

測定方法	測定範囲	測定対象	試料	測定方法
重量分析法	10 <sup>-1</sup> ~ 10 <sup>3</sup> μm	粉体	粉体	重量法
気相重量法	1 ~ 100 μm	粉体	粉体	重量法
電気的気相法	0.1 ~ 10 μm	粉体	粉体	電気的気相法
レーザー光散乱法	0.1 ~ 10 μm	粉体	粉体	レーザー光散乱法
光散乱法	0.1 ~ 10 μm	粉体	粉体	光散乱法
電気的気相法	0.1 ~ 10 μm	粉体	粉体	電気的気相法
電気的気相法	0.1 ~ 10 μm	粉体	粉体	電気的気相法

**6. 集塵技術 その1 ダストの性状と集塵装置**

集塵:  
気流中に含まれる固体粒子の分離操作(同一気系機械的分離操作)

(6.1) ダストの性状

(1) ダスト・ミスト・エアロゾルとは

ダスト: 集塵される固体粒子。  
ミスト: 10μm以下の液体粒子

これらが気体中に安定して湯風している状態をエアロゾル(煙霧体、煙霧質)ともいう

(2) ダストの種類

- 粉砕やふるい分けなどの機械的工から生成するもの
- 燃料の燃焼過程から生成するもの(煙)
- 焼結、溶融など高温場で蒸発した固体が凝縮して生成するもの(フューム<1μm)

**6. 集塵技術 その1 ダストの性状と集塵装置**

(6.1) ダストの性状

(6) 平均粒子径

平均値とは期待値のこと。考え方によって定義が異なる。

表 6.3 平均粒子径の定義

平均値の種類	意味	定義式
個数平均径	ある径d <sub>p</sub> の粒子の個数ベースでの存在割合を積分したもの	$\frac{\sum (N_i \cdot d_i)}{\sum N_i}$
長さ平均径	ある径d <sub>p</sub> の粒子の長さベースでの存在割合を積分したもの	$\frac{\sum (N_i \cdot d_i^2)}{\sum (N_i \cdot d_i)}$
面積平均径	ある径d <sub>p</sub> の粒子の面積ベースでの存在割合を積分したもの	$\frac{\sum (N_i \cdot d_i^3)}{\sum (N_i \cdot d_i^2)}$
体積平均径	ある径d <sub>p</sub> の粒子の体積ベースでの存在割合を積分したもの	$\frac{\sum (N_i \cdot d_i^4)}{\sum (N_i \cdot d_i^3)}$
平均表面積径	粒子1個当たり平均表面積に対する直径	$\frac{\sum (N_i \cdot \pi \cdot d_i^2)}{\sum (N_i \cdot \pi \cdot d_i)}$
平均体積径	粒子1個当たり平均体積に対する直径	$\frac{\sum (N_i \cdot \frac{\pi}{6} \cdot d_i^3)}{\sum N_i}$

最頻径(モード径) もっとも頻度の高い粒子径  
中位径(メジアン径) 残留率が50%に対応する粒子径  $d_{p,50}$

**6. 集塵技術 その1 ダストの性状と集塵装置**

(6.1) ダストの性状

(3) ダストのサイズ(粒度)

ex. カーボンブラック 0.01μm, 珪砂 > 100μm

(4) ダストの濃度 = 単位体積の気体中に含まれる捕集される粒子の質量

- 大気粉塵濃度は0.2mg/m<sup>3</sup>程度
- 工業的な集塵対象排ガスでは10~100mg/m<sup>3</sup>

(5) ダストの粒度(粒径分布)とその測定方法

・積算粒径分布: ある粒子径 d<sub>p</sub> より大きい粒子の合計質量割合 (ふるい上残留率)

$$R = \sum_{d_p} \frac{\Delta R}{\Delta d_p} \Delta d_p = \int_{d_p}^{\infty} f(d_p) \cdot d_p \cdot d_p$$

ふるい下D = 1 - R

### 4.3 補充教材としての演習内容の開発

教育効果を高めるための材料・機械安全工学分野の演習内容を開発・試行した。

以下にその内容を報告する。

#### 4.3.1 実施日時

2015年1月26日 16時15分～18時

#### 4.3.2 受講者

就業前学生(修士課程1年生):6名

#### 4.3.3 方法

高圧ガス保安協会が公開している「高圧ガス事故データベース」の各事故概要を用い、漏えいを以下の①、②、③の3つに分類する。これにより、損傷モード、漏洩モードを明らかにすることができる。さらに、分類結果を用いて事故の根本の現象、原因及び対策を解析、議論する。

**漏えい①:** 機器、配管などの本体(溶接部を含む)の損傷、破壊(疲労、腐食など)による漏えい。

**漏えい②:** フランジなどの締結部、バルブなどの開閉部と取付部、可動シール部からの比較的微小な漏えい(パッキンなどの劣化を含む)。

**漏えい③:** 漏えい①と漏えい②以外のバルブの誤開閉、開閉忘れ、液封、外部衝撃、などによる破裂、破損、変形、その他の比較的大規模な漏えい。

#### 4.3.4 結果

受講者が高圧ガス施設の事故概要から漏洩の分類を行うとともに、事故の現象と原因を解析した。さらに、その後、受講者がそれらの内容を発表し、漏洩原因や現象の解析と対策についてグループディスカッションを行った。リスクの視点から問題点を指摘するなど多くの意見交換を行うことができ、大変有効な教材と成り得ることがわかった。今回の演習内容を踏まえ、教材内容のさらなる強化を図っていきたい。

#### 4.3.5 配布資料

演習内容	
事故事象と原因を明確にするために、高圧ガス保安協会の高圧ガス事故事例データベースの事故概要を用いて、漏えいを以下の①、②、③の3つに分類するとともに、事故の根本現象と原因を推測する。	
漏えい①:	機器、配管などの本体(溶接部を含む)の損傷、破壊(疲労、腐食など)による漏えいである。
漏えい②:	フランジなどの締結部、バルブなどの開閉部と取付部、可動シール部からの比較的微小な漏えい(パッキンなどの劣化を含む)である。
漏えい③:	漏えい①と漏えい②以外のバルブの誤開閉、開閉忘れ、液封、外部衝撃などによる破裂、破損、変形、その他の比較的大規模な漏えいである。
破裂・破損: 温度と圧力の上昇で、高圧ガス設備等が破壊し、破片が高速で遠距離まで飛翔するなどの災害を引き起こすもの。	

分類結果(演習結果)の例	
事故概要	高圧ガス保安協会「高圧ガス事故データベース」より引用
分類結果	漏えい①
原因	機器本体の疲労破壊による漏えい
対策	定期的な点検と交換の実施
事故概要	高圧ガス保安協会「高圧ガス事故データベース」より引用
分類結果	漏えい②
原因	フランジの劣化による微小な漏えい
対策	定期的な点検と交換の実施
事故概要	高圧ガス保安協会「高圧ガス事故データベース」より引用
分類結果	漏えい③
原因	バルブの誤開閉による破裂
対策	操作手順の厳格化と安全教育の実施

## 第5章 有識者による教育プログラムの検証

3年間、労働安全衛生総合研究事業として実施してきた「大学等教育研究機関における就業前及び若手技術者向けの安全工学教育プログラムの提案」を振り返り、安全工学を専門とする大学教授、企業で長い間安全に関わっている専門家の方2名に「安全工学教育」についてご意見を、また同時に、企業の現場で活躍している中堅技術者の方々6名に教育プログラムの検証をして頂いた。それぞれの経験や立場で感じている貴重なご意見を集約することで、今後社会から求められる「安全工学教育」を検証する材料とする。

### 5.1 安全工学教育プログラムについてのあるべき姿

「大学等教育研究機関における就業前及び若手技術者向けの安全工学教育プログラムの提案」についての総評、安全工学教育の現状、今後あるべき姿について、安全工学を専門とする大学教授、化学系民間会社で安全工学の中核的役職を担う専門家の2名に話をうかがった。

#### 5.1.1 実施日時

2015年1月19日 16時～

2015年1月24日 15時～

#### 5.1.2 内容

##### 5.1.2.1 安全工学に造詣が深い大学教員

安全確保では、化学産業などの現場に接すれば危険に対する印象が違う。自分の身は自分で守るという事がわかるが、安全工学の教育では、ある程度、知識が必要である。しかしなが

ら、効率的な安全工学教育において企業で働いた経験が絶対必要とは思わない。たとえば、卒業研究で実際に実験に取り組んでいる学生などに対しては、効果的であると思う。

安全工学の内容は、安全工学手法を使いこなすレベルまで達する必要がなくても、概要説明や具体的事例について説明すれば、学生はある程度理解してくれ、それが必要になった際に、講義資料を見直して重要性を理解している。つまり、学生に安全工学手法に関する引き出しを持たせることが重要である。工学リテラシーとしての安全工学を学生に植え付け、セーフティマインドをきちんと持ち、リスクゼロでない、リスクに対する感覚を持つような安全工学教育が必要である。

昔の現場では、装置や設備の原理原則がわからないと運転できなかつたが、今はボタンで操作・運転をする。大学の研究室でも実験設備をボタンで操作する時代になっている。さらに大学では、化学工学の基礎をきちっとわかる教育を重点的に実施し欲しいが、基礎的な研究をしていると、研究費の取得や論文を執筆することが困難であるため、先端分野の研究を実施している。従って、たとえば、化学系の企業で化学工学を専攻した学生を入社させても、現在は違和感を感じる人が多いのではないかと。

##### 5.1.2.2 化学系民間企業で安全工学の中核的役職を担う専門家

安全工学だけの問題でなく、学生に限らず若い技術者は、コミュニケーション能力、論理的に考える力が低下傾向にある印象を受ける。現場では、インターネットで情報を集めるのではなく、人間や機械の状態を見極め、改善策の提案などをする必要があるが、それが弱くなっている。そこをどう鍛えるのか。が重要となる。



最近では、大学では各分野の基礎技術に関する実験や研究より、先端の実験研究を実施する向にあるが、本来ならば、化学工学と機械工学などの産業界で基礎となる技術分野と連携しながら、安全に関する教育に取り組む必要がある。法規とか規則などは会社に入ってから取り組むべき課題であり、学部教育としては、現在提案している程度の安全工学教育資料で十分な印象を受ける。

安全工学を修得した技術者の良いところは、業務で必要になった際に、スムーズに FTA や QRA などの手法を用いた解析に取り掛かることができる。また、安全とは「リスクが許容できる状態」だが、安全工学を修得していない技術者の多くはリスクゼロと考えられている。現場では継続的なリスクの低減が大事であり、安全工学を修得した技術者は常にリスク低減について考えている印象を受ける。

## 5.2 安全工学に関連する中堅技術者による教育プログラム有効性の検証

労働安全衛生総合研究事業の一環として 6 単位相当の「安全工学教育モジュール」として教材を作成した。この教材について、民間企業で技術系社員として働く中堅社員 6 名にアンケートを実施した。

上記「教材」の内容について意見を伺うとともに、企業が抱える「社員の安全意識や知識」の問題や企業が求めている「安全教育」について状況を把握することにより、安全工学教材やプログラムの改良や「安全教育」に関して民間企業から求められている大学の役割など今後の方向性を検討する材料とすることを目的とする。

### 5.2.1 アンケート実施概要

民間企業で活躍をしている中堅技術者 6 名に直接会い、インタビュー形式でアンケートを実施した。

実施期間：2015 年 2 月上旬～3 月下旬

### 5.2.2 アンケート項目

アンケート項目を以下に列記する。

●技術系新入社員教育用教材として下記のご質問にお答えください。

Q1. 全体的に見てニーズはあるでしょうか？

Q2. 教材の量は適切でしょうか？

Q3. 全体的なレベルは問題ないでしょうか？

Q4. 不足しているあるいは不要な教育内容や具体的な項目があればお教えてください。

●学部学生に対する教育用教材として下記のご質問にお答えください。

Q5. 新卒学生が学んでくる内容として適切でしょうか？

Q6. 教材の量は適切でしょうか？

Q7. 全体的なレベルは問題ないでしょうか？

Q8. 不足しているあるいは不要な教育内容や具体的な項目があれば教えてください。

●安全工学に関するカリキュラムを履修してきた方々と履修をしていない方々と安全に関する考え方など違いを感じることはありませんか？もしあればどのような場合でどのような内容かをお聞かせください。

●その他にお気づきの点

### 5.2.3 アンケート結果

アンケート結果を以下に列記する

●技術系新入社員教育用教材として下記のご質問にお答えください。

Q1. 全体的に見てニーズはあるでしょうか？

【回答内容】

(A氏) 教育用教材という点では社員教育で社内学校のような制度はなく、現在はセミナーなどで教育を行っているので不要。ただし部分的にニーズはある。無料で配布してくれるのであれば使いたい。

(B氏) ニーズはあるが、教育コストの調整が必要。安ければ取り入れたい。危険性を甘くみている社員も多くいる。教育コストを気にしないでよいのであれば、「教育」の必要性はあると思っている。

(C氏) ニーズはあると思う。資料をみる限り、ここまで知識のある人はいない。今後、安全の知識を持っている人が必要だという意識を広めたいし広めなければならないと思う。熱エネルギー管理士の国家資格は広範囲にわたって学ばなければならない、工場で使用するエネルギーの規模に応じて配置しなければならないが、安全も同様の資格が必要という流れにしたい。

(D氏) 全体的にみて、必要な部分もある。社員教育としては有用な可能性を感じた。これをきっかけに安全教育を進めていくことが出来るし、さらなる専門性にもつなげることが出来る。このように体系化された教材は会社にはないので有益だと思う。

(E氏) 内容的にはニーズはあると思う。基本的なベースとしてもこれでいいと思う。興味の内容は会社や部署の業務内容等によっても異なると思われるため、さらに、可能であれば個々の会社の業務に関連した事項を加えるなどした方

がより効果的なものとなると思う。

(F氏) ニーズはあるが、大企業であれば各社なんらかの教育教材は持っていると思う。それらは各企業の製品、プロセスにカスタマイズされているのが普通だと思うが、今回の教材は大学の専門講義向けで総論的なので、そのまま使ってもらえそうなところは少ないかもしれない。工場の運転員向けとしてはどちらかといえば不向きで、環境安全部や防災担当者の基礎知識習得用としてはニーズがあると思う。中小企業向けであれば、その企業の設備、プロセス、取扱い物質、事故例等にマッチした教材でないとなかなか受け入れてもらえないかもしれない。

Q2. 教材の量は適切でしょうか？

【回答内容】

(A氏) 多い。学問として知識を深める必要はない。企業で必要な内容を選択し、使用出来ればと思う。

(B氏) 多い。会社の業務に関係ない部分も多くあり、また内容も深い。的を絞る必要がある。

(C氏) ボリュームを少なくしようとしている努力は感じるが、その分ストーリー性を感じず、わかりづらい。また文字数も多い。スライドではなく本にしたほうがよいのでは。

(D氏) ちょっと多い印象。これより多いと頭に入らない。

(E氏) 燃焼とか理論的な説明が資料の多くを占めており、全体のバランスを考えると理論的な内容が少し多いような気がする。(後日談:たまたま仕事上爆発下限界の条件を調べる必要があり、この資料が参考になったのでこれらの理論的な情報が有効になりうることを実感した。よって、全体的な情報量としては適切であると見なせると思う。)

(F氏) 材料安全工学の教材量が少な目に感

じた。

### Q3. 全体的なレベルは問題ないでしょうか？

#### 【回答内容】

(A氏) 完成度は高いが、レベルも高すぎ。細かい説明がわかりにくいので先生の講義がないと難しい。化学系の製造業の理系の修士卒レベル。

(B氏) もう少し難度を下げた方がよい。

(C氏) 難しいというわけではないが、教材で使うには、ストーリー性がなく、レイアウトもバラバラでわかりづらい。学問でやっている人と会社で必要としている内容の違いを感じる。

(D氏) 新入社員としては十分。新人にはちょうど良い。ただ専門分野の人には物足りないと思う。

(E氏) レベル的には問題ないと思うが、基本的な説明資料としての理論的な内容はもう少し簡単にし、細かい説明は補足資料的な扱いにしてもいいかもしれない。理論に関して深い知識が必要となる人は少ないのではと思われる。また、概要を把握するという観点からはもう少し、簡単にした方が内容を捉え易くなると考えられる。しかしながら、個々の意味をきちんと理解しようとした場合、それらの情報も有効に成り得るため、全体の量はそのまま扱うレベルに段階を設けてもいいと思う。会社や担当部によって、多少重要とする点を変えるなどの工夫があればよりいいと思う。

(F氏) 3つの教材のレベルは比較的合っているとと思う。

### Q4. 不足しているあるいは不要な教育内容や具体的な項目があればお教えてください。

#### 【回答内容】

(A氏) 不足している内容は3点。まずは、人間工学について。「人」が災害を起こさないための意識が大切。もっとヒューマンエラーの内容を含んで欲しい。2点目は、GHSについて。安全衛生をやっていると、GHSの話がとても多く出てくる。入社後、衛生管理者や高圧ガス関係の資格を取らなければならないので必要だと思う。スライドの中にも少し記載はあったが。3点目は、世界の管理制度について。管理方法は国によって違っているので輸出の時に問題がおきやすい。学問ではないかもしれないが、必要な情報であり重要です。

(B氏) 全体的に不足している内容は、「具体例、事故と具体的対策」。以下教材別に記載。

#### ・「化学安全工学」の教材について

「燃焼」の定義や説明、「爆発」の説明が難しい。実際に事故が起きた時の影響の大きさなどイメージをつかめるようにしてから話を進めていってはどうか。また説明がくどいので、キーワード的なものに絞り、理論的な説明より図解や写真を多くしたらよいと思う。さらに実際の事故事例と写真をもっと多くし危険に対するイメージがわくようにして欲しい。実際には爆発や燃焼について、燃焼限界などやってはいけないという法律だけに頼るケースがある。必ずしも決まった条件で起こるわけではないので、もっと要件を広範に検討して欲しいと誤解のない範囲で記載して欲しい。安全対策は厳しい条件下でも対策をする必要があると思う。

#### ・「材料安全工学」の教材について

化学系の会社なので直接業務に関係がない部分が多い。ただ、やはり事故事例や写真など具体例から、対策も一緒に記載してくれるとわかりやすい。そうすると、点検や検査についての意識も高まると思う。説明文が多いので汎用性のない事象はカットした方が見やすいかも。材料

安全に関しては、保守保全の担当者には認識を持ってもらうべきだが、それ以外でも事務担当者にも同様に認識してもらいたい。見た目で大丈夫だと費用が計上してもらえないので、安全保持のために必要。

#### ・「環境安全工学」の教材について

もっと具体的な内容が欲しい。例えば、実際の被害(例えば水質汚染の影響や環境ホルモン、地球温暖化の影響など)や、摂取基準値を超えたらどうなる、など。ドイツなど世界の環境対策の具体例などもよい。

(C氏) 震災を経験して、物質漏えいをどう処理するかが一番必要な知識となった。化学物質、分解、熱の問題についてどう冷やすのか、放っておいてよいなど「安全工学の知識」が必要だと思う。またヒューマンファクターについて。産業としていつも悩む要素の1つ。

不足内容ではないが、自分の会社に照らし合わせると不要な教育内容が多い。また教材として使用するならば全体の流れがわかりづらいので、内容の精査が必要。以下教材別に記載。

#### ・「材料安全工学」の教材について

材料の強度、回転体、共鳴振動の問題に常にさらされているその内容が欲しい。

スライド全体的にストーリー性を感じない。例えば最初に総論や背景から入り、次にキャビテーション破壊の話が始まる。そしてET、FTの話になり保全の話が続く。項目ごとのつながりがわかりづらいと思う。

#### ・「化学安全工学」の教材について

事故事例について数値的な部分も含めると興味がわくのではないか。また事故の影響など具体的な内容も入れ込まれていると、もっとわかりやすくなる。以前燃焼の講義で漏えいの影響度を学んだが勉強になった。

(D氏) 潜在とか環境とか暴露に関して非常に

厳しい会社。特に物を作る研究開発では、どういう物質が環境に悪いのかを総合的に勉強しておくのが重要。安全に関して得意分野の部署があるので全部を網羅する必要ない。スライドの内容として、全体的な背景がもっと欲しい。またこの三科目を教えるという事的前提。以下教材別に記載。

#### ・「化学安全工学」の教材について

歴史、各論がしっかりしている。内容としても良いと思う。化学安全工学は知らない社員も多く重宝される内容。燃焼・爆発に特化しているが、粉じん爆発は会社でも大切。生産現場においては重要視しているし、もっと内容を充実してもよいかもしれない。会社でもしっかり勉強させられる。また粉体・物を混ぜる時の安全対策についても記載が欲しい。会社ではGHSが必要とされていて、そこをもっとブラッシュアップして欲しい。また安全性のSDSを重要視している。SDSを作るのに重要なデータを法令に併せて作っていく。その他、食品や薬も扱っているので毒性は重要な課題。人の体にはいるもの、皮膚に接触するもの、水に流すものを扱っており、研究職は勉強しておかないといけないので。

#### ・「材料安全工学」の教材について

背景が欲しい。なぜ材料のここを見ないといけないのか、具体的に知りたい。現在、材料安全に関して多くの知識は必要ないが、破壊・腐食・知識は重要。

#### ・「環境安全工学」の教材について

なぜこういうものが必要なのかという背景が欲しい。歴史はともかく現状。

環境安全工学は、研究職にとってほとんど必要な知識。学生時代は十分に理解ができなかった。世の中の「規制がどうしてあるのか」それを伝えてほしい。理解しやすいと思う。

(E氏) 学生にとっては現状通りでいいかもしれ

ないが、会社としては安全工学を分野として化学、材料、環境の三つの独立した分野として扱う必要はなく、安全工学という一つの分野の中で、(化学、材料、環境)を考慮するとした方がわかりやすいのではないかと。同様に安全工学の歴史は、化学、材料、環境の区別なく、いずれにも関わってくるものと思うが、“化学安全工学”の中のみはその記載があり、他の材料、環境との関係が明記されていない。その辺りの相互関連性を明確にした方がいいと思う。作成された各分野の資料の内容に関して、作成方法に全体としての統一感に欠ける感じがする。特に企業向けについてはそれらを総合的に安全という観点でとらえた説明が少しばかりあった方がいいものと思う。全体的な統一はこれから行うのだと思いますが、タイトルを“化学安全工学”“材料安全工学”“環境安全工学”とするならばそれらの言葉が入った方がいいと思う。目次もないので、何を説明しようとしているのかわかりにくい面があります。以下教材別に記載。

#### ・「化学安全工学」の教材について

燃焼の理論に関する記述が多いように感じられる。一部の理論的な項目に関しては上記でも述べたが情報としてあってもいいと思うが、企業からすれば実用的な面に関する記載を多くした方がわかりやすいものと思う。また、全体の内容を全て同じトーンとするのではなく、一部は参考資料のような扱いで学びたい人が学ぶようなスタイルにしてもいいのでは。

#### ・「材料安全工学」の教材について

ETとFTはこれを行うことにより、どう実際の設計や診断等に反映されるのか？もしくはETとFTは具体的には何に使用されるか。以降の設備の寿命、保全活動・・・、劣化現象・・・とは直接に関係なさそうなので。材料安全科学といいながら、別に材料に限定した事柄ではなく一般的に

安全性を評価する手法の一つなのではないのか。保全活動も一般的なことで、安全工学としての一般的なことと、材料、化学、環境に特有の事象と分けた方がよりわかりやすくなるものと思う。劣化現象の傾向と検出技術との関係というタイトルが長く続き、最後に1枚だけ、材料の欠陥検出技術となっています。劣化現象の傾向と検出技術との関係というタイトルに副題で材料の欠陥検出技術になっている箇所もあり、最後一枚だけ異なる理由はあるか。もしくは、設備診断技術は“材料の欠陥検出技術”に該当するのか？

(F氏) 知識を具体的な生産現場にどう生かすかという点が不足していると思う。仕事、設備等の具体例を例示し、この問題を解決するためにこの知識をこう使うというような教材が理想だと思う。以下教材別に記載。

#### ・「化学安全工学」の教材について

製造業の技術系新入社員教育教材という用途ならば以下の点を補えば更に良い教材になると思う。

- ・静電気の教材を追加した方が良いと思う。静電気は例年、危険物施設の火災原因の第一位になっているので外せないと思う。
- ・熱暴走、熱発火理論を追加した方が良いと思う。近年、国内でも重大事故が発生しているので。
- ・総論的で網羅的な教材であるという利点は、一方で具体的生産設備との関連が連想しにくいと思う。事故例を挙げ、原因、教訓、対策を示したり、業務別、工程別、設備別等に分類した教材とすることで取捨選択できるようになり、更に使ってもらいやすい教材になると思う。
- ・火炎に関する教材は大学教育向けで生産現場向けではないと思う。(理由:教材の目

的が着火防止であるならば、既に着火した火の性質を勉強するのは少々の外れかもしれない)

・FTA, ETA, HAZOP, LOPA, QRAも追加した方が良いと思う。これらはリスクマネジメントという点で今後、重要性が一層高まっていくと思う。また、リスクアセスメントは労安法で努力義務が盛り込まれており、防災面でも静電気分野で取組が始まっていたりしている。

・安全工学の歴史は国、地域、宗教、文化等で異なると思う。それらを踏まえた教材であれば更に良いと思う。

・「材料安全工学」の教材について

ET、FTは材料安全の例示を入れると更に分かりやすくなると思う。

●学部学生に対する教育用教材として下記のご質問にお答えください。

Q5. 新卒学生が学んでくる内容として適切でしょうか？

【回答内容】

(A氏) 特になし

(B氏) 適切だと思う。ただし、実際の会社の現状を把握したほうが良い。会社に入ってからギャップを感じることもあるので。

(C氏) この教材はよいもので適切だと思う。ただ学んで終わりではなく、学んだことが安全工学の全体のマップの中でどこに当てはまるのか理解することが必要。学んだことを実例とか絵とか印象に残すことも大切です。

(D氏) 十分です。これだけ頭に入っていれば即戦力。

(E氏) どのタイミングで教材を利用するかはわからないが、学部学生にとっては、自分の専門に近い内容と思われるため、ニーズはあると見

ていいのでは。

(F氏) ニーズはあると思う。

知識を具体的な生産現場にどう生かすかという点が補強できれば更に良いと覆います。仕事、設備等の具体例を例示し、この問題を解決するためにこの知識をこう使うというような教材が理想だと思う。そのような教材は学生の進路選択に大いに役立つと思う。

Q6. 教材の量は適切でしょうか？

【回答内容】

(A氏) 特になし

(B氏) 質的に深すぎる部分もある。もう少し重要なポイントに意識を集中させるために少なくしても良いかも。

(C氏) 特になし

(D氏) 充実している。過去の授業は各論がところどころ理論とか全体的な必要性や背景を意識していなかったなのでこの教材はわかりやすく出来ている。

(E氏) 安全工学を選択する学生にとっては重要と思われることが詰められていると思うので、教材としては別に多くてもいいのではないかと。講義で使用するのか、自主学習なのか不明だが、例えば講義で全て話せなくても時間がなければ残りは自主学習させるとか、どうとでもできるものと思う。

(F氏) 適切だと思います。

Q7. 全体的なレベルは問題ないでしょうか？

【回答内容】

(A氏) 特になし

(B氏) 問題ない。

(C氏) 難度が高いわけではない。後は学ぶ人の動機づけが大切。

(D氏) 問題はない。新入社員がこれだけ知っ

ていたらありがたい。特定分野は勉強している  
が全体が出来ている人はいないので十分。

(E氏) 理論的なもの、演習もあつたりするため  
学生向きであると思う。

(F氏) 問題ないと思います。

**Q8. 不足しているあるいは不要な教育内容や  
具体的な項目があれば教えてください。**

**【回答内容】**

(A氏) Q4. でも記述したが、世界の管理制度  
について勉強しておいて欲しい。

その他、災害事例・欧米と日本の違い・安全の  
考え方(※1)・HE 対策・5S・安全の3原則(整理  
整頓・点検整備・標準作業)や実験時の RA、メ  
ンタルヘルス、法律の概略、健康安全の三管  
理、喫緊の課題(トピックス胆管癌など)、交通  
安全など。

(※1)安全の考え方・・・日本の 5Sのような考え方  
があるが、欧米の RA という考え方など。

また、体感教育も大切。

(B氏) 事例。

(C氏) ストーリー性。

(D氏) Q4 と同じです。学生に対しては理論が  
多くなっており、影響や対策の事例をわかりやす  
く多く入れてほしい。そうしないと頭に入らない。  
原因、現状、理論、対策などのつながりが欲し  
い。不足というわけではないが、学部のうちから  
「危険物の資格」を取っておくのも良いかも。法  
的な知識や必要性は役に立つと思う。会社に入  
ると自分の専門分野以外のこともやることがある。  
知識の幅をひろげておくことが重要。

(E氏) Q4 同し。

(F氏) 知識を具体的な生産現場にどう生かす  
かという点が不足していると思う。仕事、設備等  
の具体例を例示し、この問題を解決するために  
この知識をこう使うというような教材が理想だと

思う。以下教材別に記載。

・「化学安全工学」の教材について

静電気、暴走反応、熱発火理論、リスクアセス  
メント、HAZOPあたりを追加すれば更に良いと  
思う。

・「材料安全工学」の教材について

ET、FTは材料安全の例示を入れると更に分  
かりやすくなると思う。

●安全工学に関するカリキュラムを履修してき  
た方々と履修をしていない方々と安全に関する  
考え方など違いを感じることがありますか？もし  
あればどのような場合でどのような内容かをお  
聞かせください。

**【回答内容】**

(A氏) 安全工学を「学んだ、学んでいない」に  
関わらず、役職が上の人ほど安全の考え方や  
感度が高いと実感している。それは部下の怪我  
や過去の災害を経験してわかっているからだと思  
う。一方、入社当時を思い出すと同期の中でも  
学んでいない人は安全に対しての意識が低いと  
感じた。やはり前例(痛ましい事故など)などを  
学んでいる、いないの差はあると思う。

(B氏) 安全に関する考え方の違いは感じる。  
履修してきた人はやはり怖さを知っているので  
取扱が慎重になる。逆に履修をしていない人は  
ものすごくいい加減な事をすることがある。ただ、  
40 歳代になってくると労災はなくてもヒヤリハッ  
などの経験をしているので安全に対する認識は  
出てくる。さらに年配の人の安全意識はとても強  
い。それに比べると若い人たちは危険行動を起  
こす率が高いので注意が必要。

(C氏) 履修したことにより、設備投資や最終的  
な判断に役に立っている。また、過酸化水素の  
漏洩など突発的にある出来事に対して学んだこ  
とから対処法について話ができたということはあ



った。履修した人としらない人でのリスクの概念の差を感じることはあったが、安全について会社ごと工場ごとに叩き込まれるので大きな違いはあまり感じない。

(D氏) 違いはあります。開発の現場では問題が起きて理由を考えることが多い。なんで？と考えるまえに危ないという予見、予測ができる人間があまりいない。問題が起きたとき、なんで？と思うのは遅く、事前に勉強しておけば危ないことやらないで済むので予備知識を持って欲しい。失敗も勉強だが、やっていけない失敗もある。それは、効率が悪いという事もあるし、取り戻すことが大変だし、取り戻せないこともあるから。「大丈夫」と「予測」するのと「確信」をもつのは違う。安全に対する確信や感性、そこが違う点だと思う。そうは言っても、同年代の人たちの間では、安全工学を履修したから、しないから、という差は大きくは感じない。やはり上の方は失敗も経験しており、より慎重になる。上の立場に立って経験を積んで初めて安全の大事さが分かってくると感じる。業務として納期などの制約の中で、安全の議論も十分にできなくなっている上に、教える人も少なく、また教える機会も減少している。産業界の実状をかんがえると現場力の低下に対し、安全教育の充実は大事だと思う。

(E氏) 他人の Background がどのようなものか深く知っているわけではないので、特に他人との違い云々を意識することはありません。安全に関して言えば、業務の中で通常考慮すべきことがあり、一般化されたそれらの手順、手法などに基づいて検討を行うため予備知識がなかったとしても慣れてしまえばそれなりに対応ができるものであると思う。それでも、自らの中に安全工学出身で一通り学んだという意識が頭の片隅にあり、安全に関わる事項については一通りの

知識を持ち、常にできるだけ正しい対応をすべきという意識が働き、安全という言葉に対し多少は敏感になっているところはあるかもしれません。例えば、設計過程で検討する必要が生じた爆発を防止するための希釈条件を検討した際などは、過去の知識を思い起こしより慎重に確実に調べて対応を行おうという意識が働いていたと思う。

(E氏) 安全工学者は歯止め役、生産現場と化学工学者が本質的に生産優先志向なのは当たり前です。これらの関係者が建設的に議論して安全投資を最適化することが出来れば、それでよいと思う。

安全に対する考え方が安全工学に関する大学の数単位のカリキュラムで簡単に変わることは稀ではないかと思う。安全工学を志す人の中にも車の運転が荒かったり、ヘビースモーカーだったりする人がいる。これらの人はタバコの害や免許更新時の交通安全教育を受けても簡単に変わるものではないと思う。通常は安全人間でも気分のムラで変わってしまうこともあり、これには性格ともいえる個人差がある。解決には小学校高学年程度から日常生活、産業活動、健康問題等の様々な安全問題やリスクに関する継続的な教育が必要だと思う。

## ●その他にお気づきの点

### 【回答内容】

(A氏) スライドの構成として、キーワードだけを示し、文字を少なくした方がわかりやすい。内容に関して言えば、企業の場合、「学問」よりも「事例」が知りたいと思う。また、企業の役割、大学の役割を整理して欲しい、と思う。

(B氏) 数式や文字の難しい説明が多いので、イメージをつかみやすい工夫があるとよい。

(C氏) 現実には法令の点検など外的なしぼりではなく安全を考えていない。そうではなく、内的に安全について考えていけるのが理想。ただ企業内で安全を評価する基準がないし、どう評価するのかさえもないのが現実。事故がないことが、「安全工学」の効果なのか、ただの運なのか、安全があまりに当たり前になっているので「評価する」「考える」「導入する」難しさがある。安全に関しては法的体制というか行政、国の力で安全工学の導入または国家資格の取り組みをし意識を変えた方がよいと思う。

デザイン面ではフォーマットを揃えストーリー性を統一する必要がある。あまりにまとまっていない。

スライドの文字数も多い。仕方がない部分もあるが会社のプレゼンだったら許されるものではない。学問の安全と会社の安全の落差を感じた。学問は一つ一つの追求だが実社会ではそうではない。

(D氏) 構成として、どの分野も目次をつくりわかりやすくしておくこと。情報をもっと細かくするとわかりやすい。字が多く会社のプレゼンでは見えてくれない。キーワードの列挙は良いが説明書きはだめ。この状態だと本の方がよい。

(F氏) 自習させる教材ならば更に作り込みが必要、eラーニングであればナレーションが重要、座学教材であれば講師がどれだけ生産現場の実例を踏まえた講義が出来るかがカギになると思う。

安全評価は危険に気付くことから始まる。危険に気付くためには危険に対する感受性が大変重要ですが、これには大きな個人差がある。危ないかも、と思えることと、誰に相談すれば解決できるかさえ知っていれば、かなりの事故は防げると思う。その点で特に体感教育(事故の模擬体験)は非常に重要だと思う。

交通事故や交通違反で捕まると安全運転に対

する感受性が跳ね上がるように、製造現場の事故の模擬体験を講師の話の中にどれだけ盛り込めるかが勝負だと思う。

設備設計や運転操作も事故防止では重要であり、これらは人に依存する部分も多々あるので、それらを扱うヒューマンファクターに関する項目を盛り込めると更に良い教材になると思う。

### ●その他

アンケート回答対象者ではない民間企業の社員から貴重な意見が寄せられたので以下に特記する

セーフティエンジニア要請のための5日程度の短期的なリスクアセスメントの化学版になるような講座があると良い。」「セーフティエンジニアリーダー養成のための中期・土日・夜間開催で半年程度実施され、セーフティエンジニアのリーダーを育てることのできる教育体制が必要。」基盤的な部分は外部講習機関でも比較的充実しているが、コストや教える人材の問題などから、上述したような上級コースはなかなか成立していない。

現在、大学は社会人学生を正規の教育プログラムに受け入れると研究中心の教育に比重をおくこともミスマッチングの原因の一つと考えられる。今後の産業の安全レベルを上げるためにはリーダークラスの人材養成は非常に重要である。しかし、民間レベルではこの形が成立しにくいことを鑑みると、恒常的にこれを支援できる公的な組織を構築するなど柔軟な支援を行う必要があるのではないかと考えられる。

## 第6章 まとめ

平成 26 年度は、平成 24、25 年度に開発した安全工学教育プログラムのコンテンツを整備・強化した。さらに、これを拡充するため、化学系専攻以外の学生に対しても安全工学・安全衛生に関する基礎事項の認識度調査を行い、その比較を行うとともに、課題の抽出や情報整理を行った。また、これまで実施した海外動向調査及び企業に対するアンケート調査についての解析を行い、公開セミナーにおいて広く情報発信と関係者との意見交換を行い、カリキュラムの発展・向上に関する今後の方向性を明らかにした。特に今回開発したカリキュラムは基盤的能力の付与には効果的であるが、産業界としては技術伝承の不足、安全管理力の低下、ルールの軽視、リスクアセスメント不足に関連するヒューマンエラーに関するカリキュラムの発展も期待されていた。さらに、大学機関に属するあるいは化学系企業の安全部門を牽引する外部の専門家に対するヒアリングを行い、カリキュラムの有効性を検証するとともに産業界との最適な役割分担や連携のあり方について提言を行った。また、国外調査としてチェコ・オストラバ工科大学、オランダ・デルフト工科大学の安全工学関連教育プログラムの調査・情報収集を行った。その結果、学部教育においては、安全工学のみならず、基礎科目の履修も重要なことが分かった。豊富な経験を有する産業界の非常勤講師の効果的な活用がなされていると同時にそれをコーディネートする教員の尽力が欠かせないものとなっていることが分かった。また修士教育や社会人教育において、教育カリキュラムはモジュールになっており、それにより短期間で高い教育効果が得られている様子が伺えた。

本事業において開発した安全工学教育基盤

モジュールは、化学安全・環境安全・材料安全とそれを包括するリスクに関する教育カリキュラムから構成されるが、前年度のアンケート調査などから就業前学生に対して実施することの有用性や学生の学習意欲が高いことが明らかとなっており、本年度の調査においてもそれが確認されると同時に、外部専門家へのヒアリング調査などから若手技術者の育成など産業界においても一定の役割を果たすことが明らかになった。今後は、これらのカリキュラムを学内外に開き、その効果の検証が行われること、その過程でカリキュラムのさらなる改善や補充を産業界と連携して行うことで、企業内でも活用されることを期待する。これらの啓蒙活動により労働災害の減少や労働災害自主管理に関する能力の早期向上に役立つものと期待できる。さらに、この教育プログラムを通じて安全に関する高い意識と感度を有する中堅技術者の育成だけでなく、安全を牽引するエンジニアリングリーダーの育成にもつながっていけるよう活用の幅を広げる必要がある。

## 研究成果の刊行に関する一覧表(平成 24～26 年度)

### 書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
—	—	—	—	—	—	—	—

### 雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
鈴木雄二	大学の安全管理 その2	環境・安全シンポジウム	—	P.11- 14	2015
T. Shibutani, N.Kasai, H. Kobayashi, H. Akatsuka, T. Takahashi, T. Yamada	STATISTICAL ANALYSIS OF ACCIDENTS DUE TO FATIGUE AND CORROSION AT FACILITIES PRODUCING HIGH PRESSURE GAS	Proceeding on NEW METHODS OF DAMAGE AND FAILURE ANALYSIS OF STRUCTURAL PARTS,			2014
鈴木雄二, 岡崎慎司, 笠井尚哉, 小柴佑介, 澁谷忠弘	安全教育に関する 事例研究	平成 26 年度 北海道 大学総合技術研究会 報告集	—	DVD 11-04	2014
Yuji Suzuki, Tadahiro Shibutani, Naoya Kasai, Shinji Okazaki, Yusuke Koshiba, Yasushi Oka, Takeshi Kobayashi, Mieko Kumasaki, Atsumi Miyake, Hideo Ohtani	Improvement of safety engineering education in a university	1 <sup>st</sup> Asian Conference on Safety and Education in Laboratory	—	0-13	2014