

4. 化学物質の曝露～小演習

有害物質0.002mg/Lを含む水を大人が2L/d、子供が1L/d、乳幼児0.75L/d飲んだときの曝露量をWHOの基準で計算して比較せよ

答え
 大人: $0.002\text{mg/L} \times 2\text{L/d} / 60\text{kg} = 0.000067\text{mg/kg/d}$ 1
 子供: $0.002\text{mg/L} \times 1\text{L/d} / 10\text{kg} = 0.0002\text{mg/kg/d}$ 3
 乳幼児: $0.002\text{mg/L} \times 0.75\text{L/d} / 5\text{kg} = 0.0003\text{mg/kg/d}$ 4.5

ある薬品の動物の慢性毒性試験を行ったところNOELが20mg/kg/dであった。体重が70kgのヒトへのADIを計算せよ。

答え
 $20\text{mg/kg/d} \times 70\text{kg} / (10 \times 10) = 14\text{mg/d}$

5. 有害化学物質の環境保全技術～(1) 環境汚染防止技術の特徴

環境汚染防止技術の特徴とは
 汚濁物質(水)や汚染物質(ガス)を濃縮分離して回収あるいは無害化する技術

- 低濃度～高濃度の物質を対象とする (ppm=10⁻⁶～% = 10⁻¹)
- 対象規模が広範囲 (ex. 家庭排水1日1m³ << 下水処理場1日10000m³)
- 共存物が多い複雑な系を扱う (理想的な単成分の理論が当てはまらない)
- 質and量ともに変動が大きい系を扱う

4. 化学物質の曝露～小演習

50m×20m×1.5mのプールに角砂糖(1.5cm角、かさ密度0.5g/cm³)を1個入れたときの濃度はどれくらいになるか?

答え
 $(1.5\text{cm} \times 1.5\text{cm} \times 1.5\text{cm} \times 0.5\text{g/cm}^3) \div (50\text{m} \times 20\text{m} \times 1.5\text{m})$
 $= 1.1 \times 10^{-3}\text{g/m}^3$ (mg/L)
 $= 1.1\text{ }\mu\text{g/L}$ (ppb)

5. 有害化学物質の環境保全技術～(2) 環境保全技術の分類

(1) 発生抑制技術

- ① 使用量/含有量の削減技術**
 - 小型化/軽量化設計
 - 歩留まりの向上
 - 軽油の低硫黄化、ガソリンの無鉛化
 - クリーン添加剤 (ex. 燃焼補助材)
- ② 有害性の低い物質への代替技術**
 - 冷媒 (CFC→HCFC→HFC→PFC)
 - スプレー缶 (CFC→プロパン)
 - 燃料 (石炭→石油→LNG)
 - 合成洗剤 (有リン→無リン)
- ③ 反応制御技術 (副生成物、非意図的生成物)**
 - 完全燃焼
 - 低NOxバーナー
 - リーンバーン(希薄)燃焼
 - Gasoline Direct Ignition (GDI) エンジン

平成23年度(生産・建設・知能物理)
安全工学概論 (Section 3)

環境問題と化学物質との係わり/
 環境安全管理の基本手順

化学物質の有害性とばく露

▶ 環境保全技術/まとめと総合演習

5. 有害化学物質の環境保全技術～(2) 環境保全技術の分類

(2) 環境への排出管理技術

- ① 回収技術**
 不要となった有害物質が環境中に拡散しないように、分離・回収する技術
- ② 再生技術**
 その物質の有する本来の性質や機能を元通りに還元直す技術。あるいは、品質の劣る用途に順次利用(カスケード利用)できるようにする技術。
 ex. 横浜国立大学のトイレ洗浄水は実験系排水を処理した中水道を利用。
- ③ 破壊技術**
 物質が潜在的に有害性を有するため、それ自体を完全に分解・破壊して、存在を消滅させてしまう技術。
 ex. 冷蔵庫やエアコン等から回収されたフロンは焼却分解される。

5.有害化学物質の環境保全技術～(2)環境保全技術の分類

(3)環境の汚染修復技術

環境の汚染修復技術とは

ex. **ダイオキシン除去/PCE・TCE除去/PCB分解/流出重油**

① 分離技術

ex. PCE汚染土壌の真空吸引技術。

② 破壊技術

ex. PCE汚染地下水のバイオレメディエーション。

5.有害化学物質の環境保全技術～(4)主な排ガス処理技術

(1)基本的なプロセスフロー

1 集じん (粉子)

2 排塵機

集じん

無機ガス除去

有機ガス除去

再加熱

煙突排気

(2)単位操作の概要 ※基本技術が「分離」か「分解」

① 集じん: 重力分離、慣性分離、電気集塵、濾過集塵

② 排塵機: カス除去、粉塵除去

(a) 石灰スラリー吸着法

③ 無機ガス除去: SO₂ + CaCO₃ + 1/2H₂O → CaSO₃ + 1/2H₂O + CO₂

(b) 水酸化マグネシウムスラリー吸着法

④ 有機ガス除去: Mg(OH)₂ + H₂SO₄ → MgSO₄ + 2H₂O

5.有害化学物質の環境保全技術～(3)主な排水処理技術

(1)基本的なプロセスフローと除去対象物質

原水

予備処理... 1

1次処理... 2

2次処理... 3, 4, 5

3次処理... 6, 7, 8, 9

殺菌後、放流

(2)単位操作(Unit Process)の概要 ※基本技術が「分離」か「分解」

1 スクリーン: 粗大ゴミの除去

2 凝集沈降: 凝集剤を投与して水中の微細な汚濁物質を凝集させ、沈降させる

3 活性沈降: 活性汚泥を投与して水中の有機物を分解し、沈降させる

4 生物膜法: 微生物が有機物を分解する

5 曝気性分解: 曝気槽で有機物を分解する

6 粒状物沈降: 粒状物を沈降させる

7 吸着: 吸着剤を投与して水中の有機物を吸着させる

8 イオン交換: イオン交換樹脂で水中のイオンを除去する

9 膜分離: 膜分離装置で水中の微細な汚濁物質を除去する

5.有害化学物質の環境保全技術～(4)主な排ガス処理技術

(2)単位操作の概要(つづき) ※基本技術が「分離」か「分解」

3 排塵機: NOx処理法

4 吸着: 活性炭吸着法

5 吸着: 活性炭吸着法

6 排ガス燃焼: 排ガス燃焼法

5.有害化学物質の環境保全技術～(2)環境保全技術の分類

(3)横浜国立大学の排水処理システム

大学内で発生する排水は3区分(①試薬原液などの無機濃厚廃液、②実験用流し台からの実験系排水、③洗面台からトイレ洗浄水などの生活系排水)され、それぞれに応じた処理が施されている。

・1日約300トンの水を購入(一部は地下水)→使用→処理→再利用(1回)→排水・水道料金+下水道料金で約800円/m³ → みんなで節水を!

・有機廃液は産業廃棄物として業者委託

種類	処理施設	処理フロー
①濃厚液	排水浄化センター	沈殿 → 脱色 → 砂濾過 → 活性汚泥槽 → 水質モニタ設備 → 実験系へ
②実験系	"	凝集沈降 → アンスト → 砂濾過 → 活性汚泥槽 → 実験系へ
③生活系	市下水道処理場	スクリーン → 沈殿 → 活性汚泥槽 → 脱色 → 消毒 → 河川へ放流

5.有害化学物質の環境保全技術～(5)主な廃棄物処理技術

(1)廃棄物処理の流れ

発生 → (再利用) → 排出 → (一時保管) → 収集 → 運搬 → 保管 → 中間処理 → 最終処分

資源化処理 → 再商品化

- 一般廃棄物は市町村、産業廃棄物は排出事業者が処理責任を負う。
- 廃棄物許可業者だけが委託された処理処分を行うことができる。
- 一般廃棄物処理許可業者(市町村からの委託)/産業廃棄物処理許可業者
- 収集運搬/中間処理/最終処分それぞれの守備範囲に別々に登録される。
- 産業廃棄物はマニフェスト伝票と一緒に移動させ、不法な処理・投棄を防止。
- 中間処理: 廃棄物の減量化、減容化、安定化、無害化 → 最終処分
- 資源化処理: 有価物の分離、選別、無害化、精製 → 再商品化
- 最終処分の方法は埋立処分のみ。

5.有害化学物質の環境保全技術～(5) 主な廃棄物処理技術

(2) 廃棄物の焼却技術

- 焼却炉内に空気(O₂)を吹き込んで燃焼させ、CO₂と灰(飛灰・残灰)に変換。ダイオキシン類、HCl、COなどの有害排ガスの対策も必要。
- 焼却炉内での固形物(ごみ)への熱伝達率を高め、完全燃焼を促進するために **固定炉(ストーカー)** **ロータリーキルン** **流動炉** といった炉の形式が工夫されている。

```

    ごみピット → 投入ホッパー → 燃焼室 → 灰燃焼室 → 燃焼ガイヤ → 排ガス処理 → 焼却
  
```

※ c.f. 都市ごみ発電の計算例(人口100万人の都市・地域の場合)

※ 基礎データ
 ごみの排出量単位1kg-wet/人・day ごみの低位発熱量: 2,000kcal/kg-wet 発電効率: 10%

発電容量
 = ごみ量単位数 × 人口 × 発熱量単位数 × 発電効率 ÷ 時間換算 ÷ 熱量換算
 = 1 kg-wet/人・day × 1,000,000 × 2,000 kcal/kg-wet × 0.1 ÷ 24h/day ÷ 860kcal/kWh
 = 9,690kW

5.有害化学物質の環境保全技術～(5) 主な廃棄物処理技術

(3) 廃棄物の埋立方法

安全・安定な管理に向け、廃棄物の種類によって大きく3分別されている。

安定型 処分場 安定5品目を谷や沢や穴に埋める

管理型 処分場 ゴムシートの上に埋め、浸出水を処理する構造

遮断型 処分場 屋根付の頑丈なコンクリート槽に入れて永久保管

* 海洋投棄(禁止の方向)

1-1. 人間活動と環境

(1) 人間活動による環境インパクト

- 狩猟(食糧資源の捕獲)から農耕(再生可能資源の生産)へ
- 道具(鉱物資源)とバイオマス燃料(再生可能資源)の利用
- 発酵技術(微生物機能)の利用
- 化石燃料(長期間を経て集積された資源)の利用
- 化学品(石炭化学、石油化学、天然物化学)の分離・合成利用
- 動力(蒸気機関、内燃機関、電動機、ジェットエンジン、ロケットエンジン)の開発
- 原子力(核分裂、核融合)の利用

1-1. 人間活動と環境

(2) 公害問題の歴史

化学産業

ルブラン法…環境に配慮していない化学産業公害の歴史

ルブラン法は、炭酸ナトリウムから最終的に炭酸ナトリウム(ガラス原料)を生成する一連の反応であった。最初の段階では、炭酸ナトリウムを硫酸と混合して加熱し、硫酸ナトリウム(ソルトケーキと呼ばれる)を生成する。この化学反応はスウェーデンの化学者 カール・ウィルヘルム・シェーレによって1772年に発見された。この化学反応で発生した塩化水素ガスは、1800年代初期の当時は工業的な使い道がなく、大気放出された。

$$2 \text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2 \text{HCl} \uparrow$$

フランスの化学者 ニコラ・ルブランの貢献は次の第2段階の化学反応にあり、ソルトケーキが破砕した石灰石(炭酸カルシウム)および石灰と混合され加熱された。この化学反応では、石灰(炭素)は二酸化炭素へと酸化され、硫酸塩は硫化物へと還元されて分解し、後には黒灰と呼ばれる炭酸ナトリウムと硫化カルシウムの混合物が残る。

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 + 2 \text{C} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaS} \downarrow + 2 \text{CO}_2 \uparrow$$

炭酸ナトリウムは水に溶け、炭酸カルシウムおよび硫化カルシウムは水に溶けないので、ソルトケーキは黒灰を洗浄することによって分別される。その後、固体の炭酸ナトリウムを得るために蒸発水を蒸発する。使い道のない硫化カルシウムは工場の周辺に空き地に山積みになり、嵐雨にさらされて塩化水素を放出し、腐った卵のような臭いを放ち続けた。

1-1. 人間活動と環境

(2) 公害問題の歴史 **化学産業**

アンモニア・ソーダ法

$$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$$

$$\text{NaCl} + \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaHCO}_3 \downarrow + \text{NH}_4\text{Cl}$$

$$2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$$

$$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$$

$$2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3 \uparrow + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

食塩と石灰石から炭酸ナトリウムを製造する方法。
 炭酸ナトリウムの代表的な工業的製法。
 石灰石を焼成し、酸化カルシウムと二酸化炭素にする。食塩の飽和水溶液にアンモニアを吸収させ、これに二酸化炭素を反応させ、炭酸水素ナトリウムを得る。
 これを分離し、加熱分解を行い、炭酸ナトリウムを得る。酸化カルシウムを消和させ、塩化アンモニウムと反応させ、アンモニアは循環使用する。

4

1-1. 人間活動と環境

(2) 公害問題の歴史 **化学産業**

水俣病

水俣病に関する政府統一見解(昭和43年9月26日厚生省発表):
「水俣病は、水俣湾産の魚介類を長期かつ大量に摂取したことによっておこった中毒性中枢神経系疾患である。その原因物質は、メチル水銀化合物であり、新日本窒素水俣工場のアセトアルデヒド酢酸設備内で生成されたメチル水銀化合物が工場排水に含まれて排出され、水俣湾内の魚介類を汚染し、その体内で濃縮されたメチル水銀化合物を保有する魚介類を地域住民が摂取することによって生じたものと考えられる。」

メチル水銀がアセトアルデヒド工程から発生し人体に至る経路:

URL: <http://www.pref.amakusa-city.jp/kyo/044/00000044.htm>

7

1-1. 人間活動と環境

(2) 公害問題の歴史

林業

過伐採 → 第二次大戦中の日本、産業革命以前の欧州(木材、木炭: コークス代わりに利用) 管理されない森林の増加、森林の後退、土砂崩れ

製紙産業

過去には、パルプ製造過程で原料の木材チップを煮た後に有機汚濁物質を高温度で含む廃液が発生し、ヘドロとなって環境を汚染した。また、熱源として用いる重油ボイラーから大量のばい煙(NOx、SOx、ばいじん)が発生した。パルプ漂白ではダイオキシン類が発生した。また、大量の水を使用した。このため、エネルギー多消費型産業、水多消費型産業として問題視されたが、わが国の製紙業界ではすでにかなりの改善がなされている。

5

1-1. 人間活動と環境

(2) 公害問題の歴史 **化学産業**

水俣病(つづき)

メチル水銀生成過程

生石灰(CaO) / コークス(C) → カーバイド(CaC₂) → 炭素(Na) / 石灰元素(CaCN₂) → アセチレン(C₂H₂) → アセトアルデヒド(CH₃CHO) → 酢酸(CH₃COOH) → 酢酸メチル水銀(CH₃HgOAc)

有機化学工場: 生石灰・コークスから有機化学製品ができるまで

生石灰(CaO) / コークス(C) → カーバイド(CaC₂) → アセチレン(C₂H₂) → アセトアルデヒド(CH₃CHO) → 酢酸(CH₃COOH) → 酢酸メチル水銀(CH₃HgOAc)

気体(水銀水素 Hg₂SO₄) / 水(H₂O) / 硫酸(H₂SO₄) → 炭酸水素ナトリウム(NaHCO₃)

気体(水銀水素 Hg₂SO₄) / 水(H₂O) / 硫酸(H₂SO₄) → 酢酸メチル水銀(CH₃HgOAc)

塩化カルシウム(CaCl₂) / 塩化ナトリウム(NaCl) / 塩化カルシウム(CaCl₂) / 塩化ナトリウム(NaCl) → 塩化カルシウム(CaCl₂) / 塩化ナトリウム(NaCl)

・食塩の電気分解 → 塩素 → 化学工業 ↑、消毒・漂白 → 水道、下水道
・水酸化ナトリウム → 多様な化学産業: 石鹸、ソーダガラス、紙・パルプ、石油化学、吸収塔
・熊本県には小規模水力発電多数 → 新日本窒素に電力供給

8

1-1. 人間活動と環境

(2) 公害問題の歴史 **製紙産業**

化学パルプ(KP)製造工程

URL: <http://www.pref.amakusa-city.jp/kyo/044/00000044.htm>

6

1-1. 人間活動と環境

(2) 公害問題の歴史

鉱業: 鉱山廃水

足尾銅山 → 1610年～1973年。
 鉱毒ガス: 精製時の燃料からの排煙、亜硫酸ガスSO₂生成
 鉱山廃水(鉱毒水): 銅、亜酸化鉄、亜鉛、カドミウム(米)、鉛、硫酸
 松尾銅山 → 19世紀末～1969年。硫酸の酸化 → pH低下 → 鉱毒水: 七素
 坑道跡や山中の高湿に雨水や雪解け水が触れて、有害な七素を含むpH2.2の強酸性の鉱毒水が毎年17～24トンわき出し、北上川を赤茶けた「死の川」にした。中和処理施設の建設によって汚濁を取り戻そうと、岩手県では毎年約6億円の費用を掛け、処理施設建設費93億円を含め、鉱山閉山後の環境対策に356億円以上の税金を費やしている。
 金 鉱 山 → 水銀アマルガム法: メチル水銀汚染、灰吹法: 鉛汚染
 金の精錬法として、微細粒にした金鉱石を水で練り、水銀を加えて攪拌すると鉱石中の金が水銀に溶け込みアマルガム(金-水銀合金)を形成する。これを加熱すると水銀が蒸発して金が残る。水銀の蒸気は集めて冷却し回収するが、この際に有害なメチル水銀も副生成する。

9

1-1. 人間活動と環境

(2) 公害問題の歴史

おもに工業、建設業

産業廃棄物

中間処理 → 最終処分 → リサイクル

→ 後日

10

1-1. 人間活動と環境

(3) 衛生工学、環境工学とは、そしてめざすところ

多様な衛生・公害問題を捉えてEnd of pipeから発生源対策へ、持続可能社会の実現に向けて

<p>① 18世紀までの欧州では</p> <p>コレラの大流行(パンデミック) → 必要なのは水道整備か下水道整備か?</p> <p>■ マックス・ヨゼフ・フォン・ハッテンコプファー ... 下水道整備推進派</p> <p>・生活排水や産業廃水が土壌に混入することを避けるために上下水道を整備することの重要性を政府と市民に強く訴えつづけた</p> <p>・ミュンヘン大学にドイツ初の衛生学講座を設立してその教授を務めた。「近代衛生学の父」「実験衛生学の父」</p> <p>■ スノー (イギリスの医師) ... 上下水道整備推進派</p>	<p>② 日本では</p> <p>戦前から、衛生工学講座が主要大学の土木工学科に僅かに設置されていた(陸大)</p> <p>1957年: 北海道大学に衛生工学科 1958年: 京都大学に衛生工学科(6講座) 1960年: 東京大学都市工学科 (衛生工学3講座)</p> <p>土木工学を基礎とした環境工学</p> <p>1967年: 環境国立大学では 安全工学科(環境安全工学1講座) 1973年: 環境科学センター(環境工学1講座)</p> <p>※ 1973年日本発!</p>
---	--

13

1-2. 大気汚染の現状と社会制度

(1) 大気汚染物質

(1) 硫黄酸化物 SO_x

- 原油、重油、軽油等の燃料中の硫黄分が燃焼により酸化されて生成。大部分がSO₂。
- せん息、気管支炎

(2) 窒素酸化物 NO_x

- モノの燃焼時に生成。燃料成分由来よりも大半は空気中のN₂が酸化されて生成。
- 燃焼により生成する大半はNO(水に不溶)。NOが大気中で酸化されてNO₂が生成。
- 酸雨や植物への直接的な影響はNOよりもNO₂の方が大。
- 排気源は燃料を使用している工車(固定発生源)、自動車(移動発生源)。
- 光化学オキシダントの原因物質の一種。
- せん息、気管支炎

(3) 光化学オキシダント O_x

- NO_xと非メタン炭化水素を含む揮発性有機物VOCの大気中での光化学反応で生成。
- O₃が90%以上。
- VOCは塗料、印刷インキ、接着剤、洗浄剤
- せん息、気管支炎

(4) 非メタン炭化水素 NMHC

- O_xの原因物質の一種。

11

1-1. 人間活動と環境

(3) 衛生工学、環境工学とは、そしてめざすところ

<p>③ 1970年ごろ</p> <p>高度経済成長を経て公害問題への対応:</p> <p>水質汚染 北九州・洞海湾、東京湾、大阪湾、瀬戸内海、伊勢湾</p> <p>大気汚染 四日市、川崎、千葉</p> <p>廃棄物 産業廃棄物、生活系廃棄物</p> <p>重金属: カドミウム、6価クロム、水銀。</p>	<p>④ オイルショック以降</p> <p>1973、1978年のオイルショックを経て、省資源・省エネルギー化、クローズドシステム化が進展</p> <p>↓</p> <p>世界に先駆けて、 ↓</p> <p>土木学的発想、手法では対応が困難に。</p> <p>※ 日本は対応ができたか?</p>
---	---

14

1-2. 大気汚染の現状と社会制度

(1) 大気汚染物質(つづき)

(5) 一酸化炭素 CO

- 燃料等の不完全燃焼により生成。
- 赤血球のヘモグロビンと結合して体内の細胞や組織への酸素供給不足を引き起こし、特に中枢神経や脳に影響。

(6) 粒子状物質 PM

- 固体粒子やミストの総称
- 発生源は、工場や自動車などでの燃焼に伴うじんや埃等によって発生する粗じん(一次粒子)、SO_xやNO_xやVOCなどから大気中で生成されるもの(二次粒子)。
- 大気中の有害物質(特に沸点等の高いものなど)を含有している。

(7) 有害大気汚染物質

- 「組織的に摂取される場合には人の健康を損なう恐れのある物質で大気汚染の原因となるもの」
- 優先取組物質として23物質をリストアップ。うち、
- ベンゼン、ジクロロメタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンに環境基準を設定。
- アクリロニトリル、塩化ビニルモノマー、水銀、ニッケル化合物、クロロホルム、1,2-ジクロロエタン、1,3-ブタジエンに指針値。
- 有害大気汚染物質に該当する可能性のある物質として234物質をリストアップ。

12

1-1. 人間活動と環境

(3) 衛生工学、環境工学とは、そしてめざすところ

5 化学物質対策、化学物質リスク管理

POP: ダイオキシン、PCB、各種農薬、内分泌かく乱物質(環境ホルモン、EDS)

6 地球環境

7 循環型社会

8 脱温暖化社会

21世紀環境立国戦略

地球温暖化の危機 | 生態系の危機

資源の浪費による危機

↓

低炭素社会
温室効果ガス(GHG)排出量の大幅削減

循環型社会 | 自然共生社会
3Rを践じた資源循環 | 自然の恵みの享受・継承

↓

持続可能な社会
地球温暖化に発生して、持続的に成長・発展する経済社会の実現

15

1-2. 大気汚染の現状と社会制度

(2) 環境基準等

(1) 硫黄酸化物 (SO_x: SO₂, SO₃)

環境基準: 1時間値の1日平均値が0.04ppm以下であり、かつ1時間値が0.1ppm以下であること。

(2) 窒素酸化物 (NO_x)

環境基準: 1時間値の1日平均値が0.04ppm以下から0.06ppmまでのゾーン内又はそれ以下であること。

(3) 光化学オキシダント (O_x: パーオキシアシルナイトレート、RCO₂NO₂、RCO₃NO₂)

※ 光化学反応で生成する酸化性物質から二酸化窒素を除いたもの。

環境基準: 1時間値が0.06ppm以下

(4) 非メタン炭化水素 (Non Methane Hydro Carbon NMHC)

... 光化学オキシダント原因物質

指針値: 午前6時~9時の3時間平均値が0.20~0.31ppmCの範囲にあること。

(5) 一酸化炭素 (CO)

環境基準: 1時間値の1日平均値が10ppm以下であり、かつ1時間値の8時間平均値が20ppm以下であること。

1-2. 大気汚染の現状と社会制度

(2) 環境基準等(つつき)

(6) 浮遊粒子状物質(SPM) = 浮遊粉じんのうち粒子径 10µm 以下のもの
 環境基準: 1時間値の1日平均値が 0.10mg/m³ 以下であり、かつ1時間値が 0.2 mg/m³ 以下であること。

(7) 有害大気汚染物質

物質	環境上の条件(年平均値)
ベンゼン	0.003mg/m³以下 (H9.2.4告示)
トクロロエチレン	0.2mg/m³以下 (H9.2.4告示)
ポリクロロエチレン	0.2mg/m³以下 (H9.2.4告示)
ジクロロメタン	0.15mg/m³以下 (H13.4.20告示)

(8) ダイオキシン類

質	環境上の条件(年平均値)
ダイオキシン類	0.6pg-TEQ/m³以下 (H11.12.27告示)

TEQ: 毒性等価量 (Toxicity Equivalency Quantity) と Toxic Equivalents) 一番毒性が強い 2,3,7,8-TCDD の等価量として 異性体を含む DNX量 を表示。

1-2. 大気汚染の現状と社会制度

(3) 大気汚染物質

(2) 排出規制

- 排出規制
 - 総量規制基準(高濃度汚染地域)
 - 総量規制地域の燃料使用基準(SOx)・・・低硫黄燃料を推奨
 - 自動車排出ガス対策(NOx, 粒子状物質(ディーゼル黒煙))

横浜市: 大規模事業場からの SOx, Nox 排出を常時監視 (90%を捕捉)

(3) 発生源対策

- 輸入燃料の低硫黄化・・・益々困難に
- 重油脱硫
- 排煙の脱硫、脱硝
- 発生施設の構造、使用及び管理に関する基準(粉じん)

(4) 産業公害防止活動

- 長期低金利による貸付融資
- 公害防止のための集団設置建物、工場移転用地等の建設促進
- 公害防止機械・設備の取得初年度の特別償却(所得税=国税)
- 排出抑制設備、NOx対策継続改善設備の減税(固定資産税=地方税)

1-2. 大気汚染の現状と社会制度

(2) 環境基準等(つつき)

(9) 石棉(アスベスト)

規制基準: 敷地境界線上で10本/L(繊維長 5µm 以上)以下、(石棉に係る特定粉じん発生施設)

(10) 悪臭物質 (22物質)

アンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、硫化メチル、二硫化メチル、トリメチルアミン、アセトアルデヒド、プロピオンアルデヒド、ノルマルブチルアルデヒド、イソブチルアルデヒド、ノルマルパレルアルデヒド、イソパレルアルデヒド、イソブチルアルコール、酢酸エチル、メチルイソブチルケトン、トルエン、スチレン、キシレン、プロピオン酸、ノルマル酪酸、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸

2. 大気汚染の発生機構と影響

(4) 大気汚染の発生原因

大気的主要組成: N₂(78%), O₂(20.9%), Ar (0.9%), CO₂(360ppm=0.036%)
 大気汚染物質: 自然由来(火山)、人為由来(材料や燃料の消費)、人為由来+自然由来

(4) 光化学スモッグ

対温圏オゾンが地球規模で増加傾向
 主成分は O₃ → 自然のみ人為発生源がない! → 反応による

$$\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O} \quad h\nu: \text{光}$$

$$\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}_3$$

$$\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2 \quad \text{NOがO}_3\text{を消費}$$

$$\therefore [\text{O}_3] = [\text{NO}_2] [\text{O}_2] / K [\text{NO}]$$

・4成分系の場合、実大気では [O₃] 平衡濃度よりも一桁高い濃度0.03ppm程度。
 光の当たらないO₃濃度は、夜間に減少、夏季の昼間に大きくなる。
 → 別の反応あり。
 ・水とO₃を亜硝酸の光分解で生成するOHラジカルにより、炭化水素過酸化化合物RO₂が生成。
 $\text{RO}_2 + \text{NO} \rightarrow \text{RO} + \text{NO}_2$ NOが減少 → O₃が蓄積!

1-2. 大気汚染の現状と社会制度

(3) 大気汚染物質 (1) 法規

環境基本法
 環境基準の制定、排出基準の制定、公害防止計画
 公害対策基本法 = 自然環境保全法 → 環境基本法

公害防止法
 1 環境の悪化の予防と改善等
 2 環境への負荷の少ない持続的発展が可能な社会の構築等
 3 国際的協定による地球環境保全の積極的推進

大気汚染防止法
 工場、事業場や自動車からのばい煙等の排出を規制
 道路運送車両法
 自動車からのばい煙等の排出規制
 道路交差法
 騒音不良車両の運転禁止、交通公害防止のための交通規制
 自動車NOx法
 NOx改善の見られない大都市の特定地域における総量規制
 電気事業法
 発電工場

ガス事業法
 ガス工作物
 特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律
 フロン等の製造、輸出入の規制等
 スライクタイや粉じんの発生を防止に関する法律
 悪臭防止法
 アンモニア、硫化水素、メルカプタン類、アルデヒド、低級脂肪酸等

全国環境保全
 環境基本法
 環境影響評価法
 公害防止法
 水質汚濁防止法
 大気汚染防止法
 騒音規制法
 電磁波等規制法
 電気事業法
 労働安全衛生法
 労働組合法
 労働争議調整法
 労働基準法
 労働契約法
 労働者派遣法
 労働時間法
 労働安全衛生法
 労働者派遣法
 労働契約法
 労働基準法
 労働争議調整法
 労働時間法
 労働安全衛生法

2. 大気汚染の発生機構と影響

(4) 大気汚染の発生原因

(2) 地球温暖化

$$\text{SO}_2 + \text{OH} \rightarrow \text{HSO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$$

$$\text{NO}_2 + \text{OH} \rightarrow \text{HNO}_3$$

・SO₂の酸化速度は1時間あたり夏季で3%、冬季で1%。
 NO₂はそれよりも1桁大きい。

・湿性沈着: 雲や雨(=水)にガス吸収される
 → 酸性雨、酸性霧

・エアロゾル: アンモニアと反応して形成する硫酸塩や硝酸塩
 → 固形物

・乾性沈着: エアロゾルや粒子状物質に付着する

2.大気汚染の発生機構と影響

(1)大気汚染の発生原因

(3)成層圏オゾン層の破壊

$CFCl_3 + hv \rightarrow Cl + CFCl_2$
 $Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$
 $ClO + O \rightarrow Cl + O_2$ Cl, ClOの連鎖によりO₃を消費

- ・冷媒、油膜の洗浄剤、樹脂の発泡剤
- ・CFC → HCFC → HFC → PFC へと代替
- ・代替物はオゾン層破壊力は小さいが、温室効果大
- ・パーフルオロメタン(CF₄)=R14、
- ・パーフルオロエタン(C₂F₆)=R116

成層圏では、大気から242nm以下の紫外線を吸収してオゾン層を破壊する。この過程はオゾン層を破壊してオゾンと酸素とに分解する。また、オゾン層を破壊してオゾンと酸素とに分解する。また、オゾン層を破壊してオゾンと酸素とに分解する。

$O_3 + hv \rightarrow 2O$
 $O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$
 $O_3 + hv \rightarrow O + O_2$
 $O + O_2 \rightarrow 2O_2$

2.大気汚染の発生機構と影響

(3)大気汚染による影響

(1)科学的知見の集約

- 過去の被害事例 → 表1.18
- 大気汚染の影響 (急性影響/慢性影響) → 表1.19
- 影響の捉え方 (無影響/軽微な影響/重篤な影響)
- 量-影響関係

表1.18 大気汚染との関連で問題になった事件

表1.19 大気汚染の影響

急性影響(短期曝露)

- ぜん息発症率の増加
- 慢性呼吸器疾患患者の呼吸器状態の悪化
- 心臓血管系の障害(CO-Hbの増加などによる)
- 目の赤さ、慢性刺激性眼炎(花粉アレルギーなど)
- 発目の赤さや涙目の赤さ、目眩(ロンドン事件など)
- 急性呼吸器疾患の増加(ロンドン事件など)
- 通勤通学時の遅延(光化学大気汚染に関連して)
- 一過性の可視性の悪化

慢性影響(長期曝露)

- 慢性呼吸器疾患(ぜん息)の発症率
- 慢性気管炎などの慢性疾患(慢性肺病)の発症率
- 癌(がん)

2.大気汚染の発生機構と影響

(1)大気汚染の発生原因

(4)地球温暖化

温室効果ガス:

H₂O, CO₂(×1), CH₄(×21), N₂O, O₃, CFC11(×3800), CF₄(×6500)

・IPCC報告書

2.大気汚染の発生機構と影響

(3)大気汚染による影響

(2)一般環境と作業環境における健康影響に関する考え方の違い

1 地域社会と職業性の違い → 表1.22

2 作業環境許容濃度

- 時間加重平均濃度(TLV-TWA: Threshold Limit Value-Time Weighted Average Conc.)
- 45分間の労働時間中の平均濃度で、大多数の労働者が繰り返し曝露されても健康障害を起さない
- 短期暴露限界(TLV-STEL; TLV-Short Term Exposure Limit)は5分間以下の短時間、短期的に曝露されても健康被害を起さない最高濃度で、1日労働時間内の平均濃度がTWA以下、TWA値が4日4回以下で60分以下の間隔
- 上限値(TLV-C; TLV-Ceiling)

3 環境基準

- 全日本一律基準
- 地域項目と生活環境維持項目

表1.22 許容濃度と環境基準の違い

表1.23 表が値と未開の環境基準

項目	表が値	未開の環境基準
SO ₂	0.8 ppm (4時平均)	0.15 ppm (24時間平均)
NO _x	0.8-0.9 ppm (4時平均)	0.15 ppm (24時間平均)
CO	18 ppm (4時平均)	10 ppm (24時間平均)
オゾン	0.12 ppm (4時平均)	0.1 ppm (4時平均)
PM ₁₀	0.15 ppm (24時間平均)	0.15 ppm (24時間平均)
PM _{2.5}	0.075 ppm (24時間平均)	0.075 ppm (24時間平均)
NO ₂	0.05 ppm (年平均)	0.05 ppm (年平均)
CO	9 ppm (24時間平均)	9 ppm (24時間平均)

2.大気汚染の発生機構と影響

(2)大気汚染物質の発生源

発生源の種類

- ・燃焼工程 (燃焼エネルギー生成、廃棄物焼却)からの発生・拡散
- ・金属の精錬工程や加工工程からの拡散・飛散
- ・溶剤の使用工程からの拡散
- ・有害物質の使用工程からの拡散
- ・火山活動による拡散
- ・植物の呼吸からの拡散
- ・光化学反応による生成 など

地域要因

- ・地理条件(発生源の密集、盆地など)
- ・気象条件(日射量、風向風速、気温逆転など)

発生源の把握

- ・大気モニタリング
- ・PRTIR情報

2.大気汚染の発生機構と影響

(3)大気汚染による影響

(3)人以外への被害

- ・カイコの被害(養蚕地域における養蚕農家)
- ・植物への影響
 - ・歴史的には発電所-精錬所のSO_x、アルミナ電解工場のHFなどによる被害
 - ・O₃による植物や農作物の減収 → 図 CaF₂(蛍石) ↑
- ・ゴムのひび割れ(オゾン)
- ・建造物や文化財への影響

オゾン濃度と農作物減収率の関係

日本の環境基準

現在のレベル

ヨーロッパ山地帯における観測データ

表1.24 表が値と未開の環境基準

3. 大気汚染物質の拡散

(1) 排出された大気汚染物質の挙動

- ① 風による移流
- ② 拡散による希釈
- ③ 光化学反応による分解
- ④ 光化学反応による二次汚染物質の生成
- ⑤ 雨によるウォッシュアウト/レインアウト
- ⑥ 地表面や物体への沈着

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
 煙突出口での濃度 (g/m³) = 吐出速度 (g/sec) / 風速 (m²/sec)
 = 吐出ガス濃度 (g/m³) × 吐出ガス流量 (m³/sec) / 風速 (m²/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

(2) 排ガス拡散の一般特性

(1) 煙突出口付近での拡散とダウンウォッシュ

- 煙突から排出されたガス → 図3.1
→ 吐出速度 + 高温による密度差で上昇
- 吐出速度が風速より小さい場合
→ 煙突や建物の背後に生じる渦に巻き込まれて、急激に地上へ降下(ダウンウォッシュ)
- ダウンウォッシュを避けるためには、
① 煙突を高くする、② 吐出速度を大きくする。

ダウンウォッシュ(Downwash)
 煙の大気拡散現象を抑制する目的、煙突から排出される煙の拡散が煙突の位置よりも小さく、また、煙速が低い場合には、煙はあまり上昇せず、風下にある煙突の後ろに生じる渦に巻き込まれて落下し、煙を落とすことがある。この現象をダウンウォッシュという。これによって、大気中に拡散される汚染物質が煙突付近に留まり汚染物質濃度を高めるため、この現象を抑制する必要がある。改善策として煙突周辺の煙速をより速くする、吐出速度を高めるなどの措置が有効とされる。

ダウンウォッシュ(Downwash)
 煙の大気拡散現象を抑制する目的、煙突から排出された煙は煙速、その吐出速度と煙速による浮力によって上昇し、風速や煙速により大気中に拡散していく。しかし煙速が小さい場合は煙速が周囲の風速よりも小さく、また、煙速が低い場合には、煙はあまり上昇せず、煙突の背後に生じる渦によって巻き込まれて落下することがある。この現象をダウンウォッシュという。大気中に拡散される汚染物質が煙突周辺に、もしくは地表付近に留まり局地的に汚染物質濃度を高めるため、この現象を抑制する必要がある。改善策として煙突周辺の煙速を上昇させ、吐出速度を高めるなどの措置が有効とされる。

図 3.1 ダウンウォッシュ、ダウンドラフトなどの巻き込み現象の概略

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。

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

図 3.7 煙突から排出された汚染物質の拡散濃度 $C(x,t)$

3. 大気汚染物質の拡散

(2) 排ガス拡散の一般特性

(2) 有効煙突高さ → 図3.2
 煙突高さ H_e = 煙突高さ H + 運動量上昇高さ H_m + 浮力上昇高さ H_f
 ● 排煙は有効煙突高さからほぼ水平に移流・拡散していく。

(3) 最大着地濃度 C_{max} と最大着地濃度距離 x_{max} → 図3.3
 ● 有効煙突高さ H_e → 大:
 最大着地濃度 C_{max} → 小、最大着地濃度距離 x_{max} → 遠

● 鉛直方向の拡散係数 → 大:
 最大着地濃度 C_{max} → 大、最大着地濃度距離 x_{max} → 近

図3.2 煙の上昇と拡散の様相 図3.3 煙突の風下軸上における排ガス

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℃/m 毎 1℃/100m
- 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)

図 3.19 汚染物質の拡散に及ぼす気象条件の影響

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。冬季に冷たい夜間に地上で発生しやすい。霧・放射霧も発生しやすい。日中とともに逆転層も放射冷却も消失する。別な型の逆転層は、冷たい空気が暖かい空気に覆れることもある。この層も霧が発生しやすく、初夏ごろ北海道の太平洋岸を襲う海霧がそれに該当する。

油降逆転層 → 図1(b)

下伏山によって空気が沈み、放射冷却の作用によって地表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暖かいので、その空気が断熱的に下降してくると、下層の温度の低い空気の間に逆転層を生じることになる。逆転層の上の空気の温度が放射冷却の作用により放射冷却帯帯となっている。放射冷却帯帯にはないでこの逆転層があり、放射冷却帯帯とは異なっている。冬季、寒風が吹き出す日本海上でも発生しやすく、その高度は約2km前後で、海上に発生する低気圧の雲はこの逆転層によって阻まれてはいる。

移流逆転層 → 図2

遠洋前線や寒冷前線のように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。すなわち、下層に冷気が滞留している。その上を暖気団が押し寄せ、暖かい空気が暖かく逆転層が形成される。空気が放射冷却の作用で冷える。下層の逆転層においては上層気団とは異なり、寒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

(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、長期間の汚染出現の程度分布や長期平均濃度の空間分布の再現を主眼として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(塊)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計算して得られる。したがって、大気汚染に対する数々の排出源の寄与度を求めることができる利点がある。

ボックスモデルは、三次元空間をある大きさの格子(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流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続して計算できる利点がある。

手法	拡散モデル	モデルの特徴
ブルーム	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、長期間の汚染出現の程度分布や長期平均濃度の空間分布の再現を主眼として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。	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、長期間の汚染出現の程度分布や長期平均濃度の空間分布の再現を主眼として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	パフモデルは、非定常な汚染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(塊)は多数あるため、計算量がかなり大きくなる。	パフモデルは、非定常な汚染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(塊)は多数あるため、計算量がかなり大きくなる。
ボックス	ボックスモデルは、三次元空間をある大きさの格子(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流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続して計算できる利点がある。	ボックスモデルは、三次元空間をある大きさの格子(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流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続して計算できる利点がある。

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, z 、鉛直方向 z 、濃度の空間分布は正規分布(ガウス分布)関数とすると、有効煙突高さ H の点源 $(0, 0, 0)$ から瞬間放出された煙について、

$$C = C_0 F(x) F(y) F(z)$$

ここで、 C_0 は煙の中心濃度

$$F(x) = \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right) \quad F(y) = \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

$$F(z) = \exp\left(-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right) = \exp\left(-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

※煙の中心濃度は、煙の中心濃度を表す。

・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^3/s)になるから、

$$Q' = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} C dx dy dz$$

となり、ここで、 $F(x)$ の $-\infty \sim \infty$ の積分は $\sqrt{2\pi}\sigma_x$ だから、

$$C = \frac{Q'}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} F(x) F(y) F(z)$$

※これは「ガウス式」といふ。

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、

・計算する煙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, SF₆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)を有効煙突高さ H から大気へ放出し、風下で捕捉して、拡散係数 σ_x, σ_y と濃度を検証する。

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(ブルーム)

瞬間に放出された煙が風速 u (m/s)の風の中の udu (m)の長さに入るとき、 udu 内では風の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^3/s)は

$$Q = u \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} C dx dy$$

とわかるから、

$$C = \frac{Q}{2\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} F(y) F(z)$$

※これは「ブルーム式」といふ。

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)、精留所ガス、石炭ガス、高炉ガス

- 1 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。
- 2 硫黄分を含まないものが多く、燃焼してSO_xを生成しない。
- 3 灰分がほとんどなく、ばいじんを発生しない。

液体燃料: 揮発油(ガソリン)、灯油、軽油、重油

- 1 発熱量が高くほぼ一定、貯蔵や運搬が容易。
- 2 石炭の燃焼に比べて通常はばいじん発生量は少ないが、重質油の燃焼では注意。
- 3 重質油は硫黄分を含み、燃焼してSO_xを生成する。
- 4 灰分がほとんどなく、灰中の金属硫化物が吸着の原因となることがある。
- 5 一定の品質のものを購入可能。

固体燃料: 工業的には石炭、コークス、他にまき(薪)、炭

- 1 硫黄分を含むため、燃焼してSO_xを生成する。
- 2 灰分を含むため、ばいじん発生量が多い、また水を含む。

用語

ばいじん: 燃料その他の燃焼に伴って発生する固体塵埃物。ばいじん、有害物質の総称。

ばいじん: 水や油や蒸気等から発生するすすや微粒子のこと。

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) 燃料の種類と特徴(つづき)

燃料の種類と成分/用途

燃料名	成分	用途
天然ガス	CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , i-C ₄ H ₁₀ , n-C ₄ H ₁₀ , i-C ₅ H ₁₂ , n-C ₅ H ₁₂ , n-C ₆ H ₁₄	家庭用・工業用
都市ガス	CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , i-C ₄ H ₁₀ , n-C ₄ H ₁₀ , i-C ₅ H ₁₂ , n-C ₅ H ₁₂ , n-C ₆ H ₁₄ , H ₂	家庭用・工業用
LPガス	i-C ₄ H ₁₀ , n-C ₄ H ₁₀ , i-C ₅ H ₁₂ , n-C ₅ H ₁₂ , n-C ₆ H ₁₄	家庭用・工業用
灯油	C ₁₀ H ₂₂ , C ₁₁ H ₂₄ , C ₁₂ H ₂₆ , C ₁₃ H ₂₈ , C ₁₄ H ₃₀ , C ₁₅ H ₃₂ , C ₁₆ H ₃₄ , C ₁₇ H ₃₆ , C ₁₈ H ₃₈ , C ₁₉ H ₄₀ , C ₂₀ H ₄₂	家庭用・工業用
軽油	C ₁₂ H ₂₆ , C ₁₃ H ₂₈ , C ₁₄ H ₃₀ , C ₁₅ H ₃₂ , C ₁₆ H ₃₄ , C ₁₇ H ₃₆ , C ₁₈ H ₃₈ , C ₁₉ H ₄₀ , C ₂₀ H ₄₂	家庭用・工業用
重油	C ₁₅ H ₃₂ , C ₁₆ H ₃₄ , C ₁₇ H ₃₆ , C ₁₈ H ₃₈ , C ₁₉ H ₄₀ , C ₂₀ H ₄₂ , C ₂₁ H ₄₄ , C ₂₂ H ₄₆ , C ₂₃ H ₄₈ , C ₂₄ H ₅₀ , C ₂₅ H ₅₂ , C ₂₆ H ₅₄ , C ₂₇ H ₅₆ , C ₂₈ H ₅₈ , C ₂₉ H ₆₀ , C ₃₀ H ₆₂	家庭用・工業用
石炭	C, H, O, N, S	家庭用・工業用
褐炭	C, H, O, N, S	家庭用・工業用
亜炭	C, H, O, N, S	家庭用・工業用
煙煤	C, H, O, N, S	家庭用・工業用
焦炭	C, H, O, N, S	家庭用・工業用
木炭	C, H, O, N, S	家庭用・工業用
薪	C, H, O, N, S	家庭用・工業用
バイオマス	C, H, O, N, S	家庭用・工業用

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

可燃元素	可燃元素の燃焼	可燃元素1kgに対する	
		質量	体積
C	C + O ₂ = CO ₂	3.667 kg	0.504 m ³
H	H ₂ + 1/2 O ₂ = H ₂ O	9 kg	11.2 m ³
S	S + O ₂ = SO ₂	2 kg	0.25 m ³

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、収支計算し、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

- H₂ + 1/2 O₂ = H₂O + 241.1 MJ/kmol (57600 kcal/kmol)
- CO + 1/2 O₂ = CO₂ + 283 MJ/kmol (67600 kcal/kmol)
- CH₄ + 2 O₂ = CO₂ + 2 H₂O + 799.6 MJ/kmol (191300 kcal/kmol)
- C₂H₄ + 3 O₂ = 2 CO₂ + 2 H₂O + 1305.2 MJ/kmol (312000 kcal/kmol)
- C₂H₆ + 5/2 O₂ = 2 CO₂ + 3 H₂O + 1558.8 MJ/kmol (372000 kcal/kmol)
- C + O₂ = CO₂ + 406 MJ/kmol (97000 kcal/kmol)
- C + 1/2 O₂ = CO + 128.1 MJ/kmol (30400 kcal/kmol)
- S + O₂ = SO₂ + 296.8 MJ/kmol (71000 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

(4.2) 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 1 m³中の各ガス体積 m₃N から理論空気量 A₀ (m³N-Air/m³N-燃料) を算出。
 なお、O₂ (m³N-O₂/m³N-燃料) は理論酸素量

$$A_0 = \frac{O_2}{0.21} = \frac{1}{0.21} \left\{ 0.5a_1 + 0.5c_{CO} + 2c_{CH_4} + 3c_{C_2H_4} + \dots + \left(x + \frac{y}{2}\right)c_{C_nH_m} - a_2 \right\}$$

液体燃料 or 固体燃料：燃料 1 kg 中の C, H, O, S 量 (kg) から理論空気量 A₀ (m³N-Air/kg-燃料) を算出する。燃料中の酸素は結合水の状態であり、その水素分は燃焼に利用されないため。
 (h - o/8) ← 有効水素

$$A_0 = \frac{O_2}{0.21} = \frac{1}{0.21} \left\{ \frac{22.4}{12} c + \frac{22.4}{4} \left(h - \frac{o}{8} \right) + \frac{22.4}{32} s \right\} = 8.9c + 26.7 \left(h - \frac{o}{8} \right) + 3.3s$$

所要空気量
 A = m · A₀ (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、微粉炭 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

(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 燃料ガスの燃焼表

燃料名	燃焼反応式と分子数	燃料 1 m ³ に対する			
		空気量 (m ³)	体積 (m ³)	質量 (kg)	体積 (m ³)
水素	H ₂ + 1/2 O ₂ = H ₂ O	0.5	1.88	—	1
CO	CO + 1/2 O ₂ = CO ₂	0.5	1.88	1	—
メタン	CH ₄ + 2 O ₂ = CO ₂ + 2 H ₂ O	2	7.52	1	2
エタン	C ₂ H ₆ + 5/2 O ₂ = 2 CO ₂ + 3 H ₂ O	3	11.28	2	2
プロパン	C ₃ H ₈ + 5 O ₂ = 3 CO ₂ + 4 H ₂ O	2.5	9.40	2	1
ブタン	C ₄ H ₁₀ + 13/2 O ₂ = 4 CO ₂ + 5 H ₂ O	2.5	9.40	3	3
一般化燃料	C _x H _y + (x + y/4) O ₂ = x CO ₂ + y/2 H ₂ O	x + y/4	3.76(x + y/4)	x	y/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

(4.2) 燃焼と燃焼計算

(4) 理論燃焼ガス量

燃焼ガス中の水蒸気量を考慮するかしないか
 燃焼排ガス中の水蒸気量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燃焼ガス量 G₀ が燃焼ガス G₀' を考慮する必要があり、また実際の燃焼ガス G₀' 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 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1m³N、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、燃焼炉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_h 水の凝縮熱を含む(kJ/kg)
- 低(位)発熱量(真発熱量) H_l 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/m³)

$$H_l = H_h - 2.0 \left\{ h_2 + 2c h_1 + 2c_2 h_2 + \dots + \left(\frac{1}{2} \right) c_2 h_2 \right\} \quad (\text{MJ/m}^3)$$

液体燃料 or 固体燃料

$$H_l = H_h - 2.0(9h + w) \quad (\text{MJ/kg}) \quad h \text{ および } w \text{ は燃料 } 1 \text{ kg 中の水素および水分量 (kg)}$$

	灯油	A重油	軽油JISKA
高(位)発熱量	40.5 MJ/kg	42.2 MJ/kg	40.0 MJ/m ³ N
低(位)発熱量	43.5 MJ/kg	42.7 MJ/kg	40.6 MJ/m ³ N
低(位)発熱量/高(位)発熱量	0.94	0.94	0.99

底素物を燃焼させる場合には、水分が多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注意。

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としたところ、その体積は燃焼前の混合気体のちょうど半分になっていた。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H₂O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(固体) + O₂(気体) = CO₂(気体) + 394kJ/mol
 H₂(気体) + (1/2)O₂(気体) = H₂O(液体) + 286kJ/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。

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) ホンベで供給
- 都市ガス
 - 通常は13A(45MJ/m³)
 - メタン: 89.6%
 - エタン: 5.6%、他

ガス種の数字は燃焼速度を表示(A:速い, B:中速, C:遅い)

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除・脱硝

(5.1) はい煙の発生防止

(1) はい煙とは?

はい煙: 主に石炭や重油の燃焼から発生するSO_x、NO_x、すす、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

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(m³N)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当たり燃焼に要する空気量(m³N)および乾き燃焼排ガス中のSO₂の濃度を求めよ。

(排ガス分析結果)
 [CO₂] + [SO₂] = 13%、[O₂] = 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。

$$m = \frac{21[N_2]}{21[N_2] - 79([O_2] - 0.52[CO])}$$

$$G' = m A_0 - 5.6h + 0.7o + 0.8n$$

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除・脱硝

(5.1) はい煙の排出基準

(2) はい煙の排出基準

- 一般排出基準: SO_xは地域区分ごと、は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(SO_x、はいじん)の厳しい基準
- 上乘せ基準: 都道府県ごとの厳しい基準(SO_x、はいじん)
- 硫黄酸化物に係る排出基準 (K値規制 = 排出口高さに応じて定める許容限度 → 後述する)
- はいじんに係る排出基準 (施設の種類の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 (施設の種類の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 はい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.1) はい煙の排出基準

(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、都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 はい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.2) はい煙の排出基準

(2) 代表的な脱硫プロセス

(a) 石灰スラリー吸収法
 吸収塔 : $SO_2 + CaCO_3 + 1/2H_2O \rightarrow CaSO_3 \cdot 1/2H_2O + CO_2$
 pH調整塔 : < pH4
 酸化塔 : $CaSO_3 \cdot 1/2H_2O + 1/2O_2 + 3/2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (石膏乳濁液)

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

(5.1) はい煙の排出基準

(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、飛散範囲少ない等

(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 はい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.2) はい煙の排出基準

(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: $SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3$
 $H_2SO_3 + Mg(OH)_2 \rightarrow MgSO_3 + 2H_2O$
 $MgSO_3 + H_2SO_3 + H_2O \rightarrow Mg(HSO_3)_2$
 吸収塔液室: $Mg(HSO_3)_2 + Mg(OH)_2 \rightarrow 2MgSO_3 + 2H_2O$
 $MgSO_3 + 1/2O_2 \rightarrow MgSO_4$
 $H_2SO_4 + Mg(OH)_2 \rightarrow 2MgSO_4 + 2H_2O$
 酸化塔: $Mg(HSO_3)_2 + 1/2O_2 \rightarrow MgSO_4 + H_2SO_3$
 $MgSO_3 + 1/2O_2 \rightarrow MgSO_4$
 再生1): $MgSO_4 + Ca(OH)_2 + 2H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + CaSO_4 \cdot 2H_2O$
 再生2): $MgSO_3 \rightarrow MgO + SO_2$ 乾燥・熱分解
 $MgSO_4 + 1/3C \rightarrow MgO + SO_2 + 1/2CO_2$ コークス還元
 $MgO + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2$

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

(5.2) はい煙の排出基準

(1) 排煙脱硫装置の種類

- ガス成分であるSO₂を化学反応によりCaSO₄やMgSO₄などのスラリーとして取り出す。
- SO₂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%。

装置の種類	脱硫プロセス	吸収剤/反応剤	副生成物	特性(長所)
石灰スラリー吸収法	石灰石、水酸化カルシウム、ドロマイト、フライアッシュ	石膏 (乾物)	亜硫酸カルシウム主体のスラurry (乾物)	(乾物)
水酸化マグネシウムスラリー	水酸化マグネシウム	SO ₂ 、石膏 (乾物)	硫酸マグネシウム (乾物)	(乾物)
吸収法				
アルカリ溶液吸収法	水酸化ナトリウム、亜硫酸ナトリウム、アミノ酸系	亜硫酸ナトリウム、硫酸ナトリウム、硫酸アミノ酸系		(乾物)
オゾン酸化法	硫酸ナトリウム、アンモニア、硫酸アルミニウム	石膏 (乾物)		(乾物)
熱分解法	硫酸カルシウム	石膏 (乾物)		(乾物)
スプレードライヤー法	水酸化カルシウム、硫酸カルシウム、硫酸ナトリウム、熱分解用(石灰)	亜硫酸カルシウム、石膏 (乾物)		(乾物)
半乾式	水酸化ナトリウム、水酸化カルシウム			
乾式	水酸化ナトリウム、水酸化カルシウム、硫酸カルシウム、硫酸ナトリウム			
電子線照射法	アンモニア	硫酸カルシウム、石膏 (乾物)		(乾物)

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

(5.2) はい煙の排出基準

(3) 簡易形の排煙脱硫装置

(c) 室内脱硫+水スプレー式
 ・脱硫剤をSO₂が生成する燃焼炉内へ直接吹き込んで、CaSO₄やMgSO₄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 : $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$
 $SO_2 + CaO + 1/2O_2 \rightarrow CaSO_4$
 冷却塔 : $SO_2 + CaO + 1/2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$
 $SO_2 + CaO + 2H_2O + 1/2O_2 \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O$

(d) スプレードライヤー式
 ・アルカリ溶液やスラリーを吸収塔内に噴霧してSO₂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 はい煙の発生防止と脱硫・脱硝

(5.3) 排煙脱硝装置

(1) NO_xの生成機構

(a) ヒューエルNO_x: 燃料成分の酸化によるもの
 (b) サーマルNO_x: 燃焼時に空気中N₂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、局所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 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_xを吸着
- ・ NO_xをNH₃と反応させて触媒分解
- ・ 硫酸H₂SO₄あるいは硫酸アンモニウム(NH₄)₂SO₄として回収

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

(5.3) 排煙脱硝装置

(3) NO_x低減技術

NO_x低減技術

- NO_x生成抑制技術
 - 燃料改善
 - N分の少ない燃料への転換
 - 窒素による燃料の改質
 - 燃焼改善
 - NO_x生成の少ない運転条件への変更
 - NO_x生成の少ない燃焼装置への変更
- 排煙脱硝技術
 - 乾式
 - 湿式

表 5.16 燃焼中の窒素及び汚染物質

項目	単位	値
窒素	ppm	1000
酸素	ppm	20000
水素	ppm	1000
炭素	ppm	10000
硫黄	ppm	100
塩素	ppm	10
窒素酸化物	ppm	10
酸素酸化物	ppm	10
水素酸化物	ppm	10
炭素酸化物	ppm	10
硫黄酸化物	ppm	10
塩素酸化物	ppm	10

6. 集塵技術 その1 ダストの性状と集塵装置

集塵: 気流に含まれる固体粒子の分離操作(固-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(塵)
- ・ 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)

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

(5.3) 排煙脱硝装置

(4) 排煙脱硝装置

(a) アンモニア接触還元法

- ・ NO_xを含む排ガス中にNH₃を注入し、触媒で250~450°CでN₂とH₂Oに分解。

$$4NO + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$$

$$NO + NO_2 + 2NH_3 \rightarrow 2N_2 + 3H_2O$$

- ・ 脱硝触媒: TiO₂担体にV₂O₅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NH₃を注入し、触媒を用いないでNOを選択的に分解。

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集塵される粒子の質量

- ・ 大気粉塵濃度は0.2mg/m³程度
- ・ 工業的な集塵対象排ガスでは10~100mg/m³

(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 dp より大きい粒子の合計質量割合 (ふるい上残留率)

$$R = \sum_{d_j} \frac{\Delta R}{\Delta d_j} \Delta d_j = \int_{d_j}^{d_{max}} f(d_j) = \int_{d_j}^{d_{max}} d_j^3 f(d_j)$$

ふるい下FD = 1 - R

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

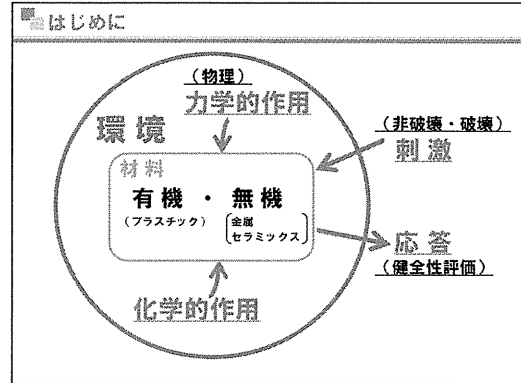
(5)ダストの粒度(粒度分布)とその測定方法(つづき)

・微分粒度分布(頻度分布):
 積算粒度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。

測定方法	測定範囲	測定粒径	試料	測定地点
気相吸引法	100-10,000μm	100, 1000	粉体、F・D	作業現場
重力降下法	1-100μm	10, 100	粉体、F・D	作業現場
呼吸器法	5-10μm	5, 10	粉体、F・D	作業現場
電気集塵法	0.1-10μm	0.1, 1, 10	粉体、F・D	作業現場
電気集塵法	0.1-10μm	0.1, 1, 10	粉体、F・D	作業現場
電気集塵法	0.1-10μm	0.1, 1, 10	粉体、F・D	作業現場
電気集塵法	0.1-10μm	0.1, 1, 10	粉体、F・D	作業現場
電気集塵法	0.1-10μm	0.1, 1, 10	粉体、F・D	作業現場
電気集塵法	0.1-10μm	0.1, 1, 10	粉体、F・D	作業現場
電気集塵法	0.1-10μm	0.1, 1, 10	粉体、F・D	作業現場

6.2.5.4 材料安全工学における教育コンテンツの一例

1



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 平均粒子径の算式

平均値の種類	意味	算式
個数平均径	ある径dpの粒子の個数ベースでの存在割合を積分したもの	$\sum \left(\frac{N_i \cdot d_i}{\sum N_i} \right) = \frac{\sum (N_i \cdot d_i)}{\sum N_i}$
長さ平均径	ある径dpの粒子の長さベースでの存在割合を積分したもの	$\sum \left(\frac{N_i \cdot d_i^2}{\sum N_i \cdot d_i} \right) = \frac{\sum (N_i \cdot d_i^2)}{\sum (N_i \cdot d_i)}$
面積平均径	ある径dpの粒子の面積ベースでの存在割合を積分したもの	$\sum \left(\frac{N_i \cdot d_i^3}{\sum N_i \cdot d_i^2} \right) = \frac{\sum (N_i \cdot d_i^3)}{\sum (N_i \cdot d_i^2)}$
体積平均径	ある径dpの粒子の体積ベースでの存在割合を積分したもの	$\sum \left(\frac{N_i \cdot d_i^4}{\sum N_i \cdot d_i^3} \right) = \frac{\sum (N_i \cdot d_i^4)}{\sum (N_i \cdot d_i^3)}$
平均表面積径	粒子1個当たり平均表面積に対する直径	$\frac{1}{V} \cdot \frac{\sum (N_i \cdot \pi \cdot d_i^2)}{\sum N_i} = \frac{\sum (N_i \cdot d_i^2)}{\sum (N_i \cdot d_i^3)}$
平均体積径	粒子1個当たり平均体積に対する直径	$\frac{1}{V} \cdot \frac{\sum (N_i \cdot \frac{\pi}{6} \cdot d_i^3)}{\sum N_i} = \frac{\sum (N_i \cdot d_i^3)}{\sum N_i}$
積算径(モード径)	もっとも頻度の高い粒子径	
中位径(メジアン径)	積算率R=50%に対応する粒子径	d_{50}

2

キャビテーション破壊

- HII A-8号機エンジン破損
- インデューサのフィンで発生
- 閉着 異音発生時 1次冷却水漏れ
- 高速流体中のオリフィス部でのキャビテーション

3つの要因が絡む複合問題

1. 高速流体
2. 振動
3. 疲労

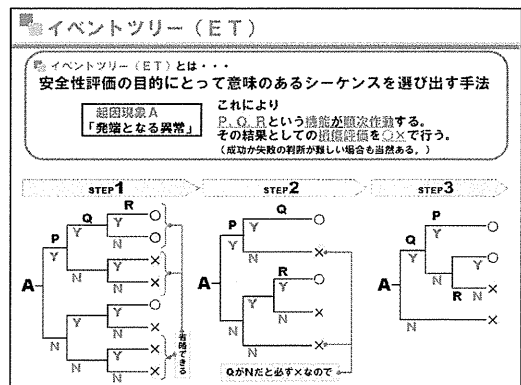
気泡の圧潰と衝撃波

設計上の注意
 キャビテーション係数

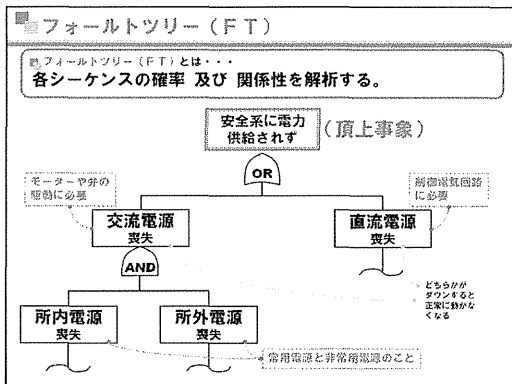
$$\sigma = \frac{P_{\infty} - P_v}{\frac{1}{2} \rho U^2}$$

σが小さいほどキャビテーションが出やすい
 σが大きいほどキャビテーションが出にくい

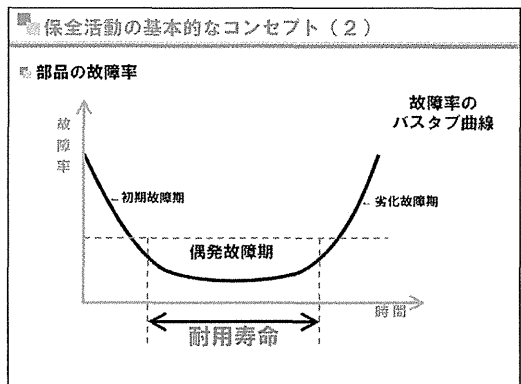
3



4



7



5

設備の寿命

寿命: 設備に要求される機能が喪失した時

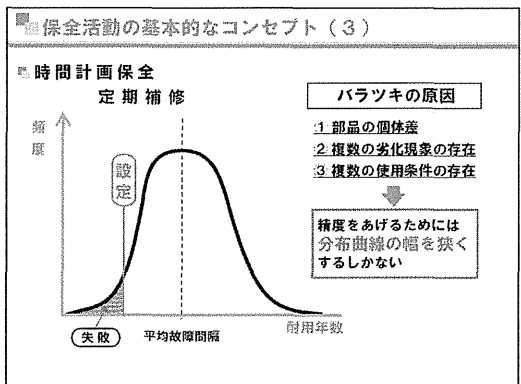
- 物理寿命
- 安全寿命 (物理寿命 ÷ 安全率)
- 設計寿命 (設計基準値 (許容応力率) ÷ 安全率)
- 機能寿命
- 経済寿命
- 年次寿命
- 社会的寿命

保全とは寿命を適切に管理すること。
管理が適切でない場合、大規模事故に発展する可能性がある。

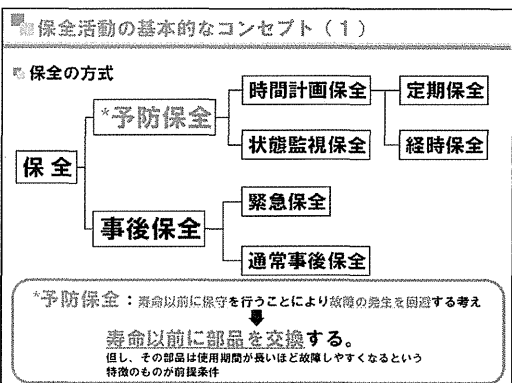
安全率2の場合: 物理寿命が2年でも、 $2 \div 2 = 1$ 年で安全寿命として部品のメンテナンスを行う。

- 機能寿命: トータルのパフォーマンスによって設定された寿命を定義
- 経済寿命: 補修、メンテナンスを含めた経済性から寿命を定義
- 年次寿命: 部品供給停止、後継者不在
- 社会的寿命: (公共電話など)

8



6



9

保全活動の基本的なコンセプト (4)

状態監視保全

劣化現象に対応した状態量を監視
診断・検査技術が必要
常時 or 間接的 (必ずしも常時の必要でない)

「定期保全」と「経時保全」は「時間計画保全」を更に細かく分類したもの

- 定期保全: 暦上で決められた時に保全を行う
- 経時保全: 累積された使用時間が決められた値になった時に保全を行う。

16

劣化現象の傾向と検出技術との関係

設備の劣化
材料の劣化や損傷の機構を知る。

① 変形
金属材料弾塑性体に荷重を作用させたととき、永久変形を開始する点を「降伏点」と呼ぶ。
降伏点を越えた変形が部材に出現したとき、これを「弾性破損」という。

弾性という特性が破損するということ

19

劣化現象の傾向と検出技術との関係

② 座屈
圧縮やねじれなどの荷重を受けている安定な弾性変形状態にある柱や板などの部材がさらに荷重を負荷されて別のモードの変形状態に不安定に移行する現象

モードが変わる

わずかな湾曲や支持アンバランスなどに起因

ダイヤモンド座屈などそうきんのしぼり目のような形状

17

劣化現象の傾向と検出技術との関係

塑性変形～き裂発生までを 損傷 (a)
き裂発生～破断までを 破壊 (b) 2つあわせると 破損 (c)

最大引張応力を超えると歪むが材料に入る
欠陥なき裂がない場合
要検証

きず

σ

ε

20

劣化現象の傾向と検出技術との関係

応力σ: 試験片単位面積当たりに作用する力
ひずみε: 単位長さ当たり伸び

A. 上昇伏点
B. 下降伏点
C. 引張強さ

ひずみε

図 応力-ひずみ線図 (炭素鋼の場合)

18

劣化現象の傾向と検出技術との関係

加工硬化とは

一度ここまで塑性変形して除荷すると
このときの傾き、すなわちヤング率は最初と同じ(ヤング率は温度以外のファクタニでは、ほとんど変化しない。)
ヤング率は物質の原子構造に關係する物性定数と考ふるべき

次に応力を加えたときは弾性域が広くなり降伏応力が大きくなる。

硬化

最初 次

21

劣化現象の傾向と検出技術との関係

③ 延性破壊
破壊部近傍に塑性変形が伴う場合の破壊。
破壊の一般的な様式(微小空洞の成長・合体)

微小空洞の発生 → 微小空洞の成長 → 微小空洞の合体(ディンプル)

キャップアンドコーン形

放射状破面

シアリップ

破面

等軸ディンプル・伸長ディンプル

延性破面

22

劣化現象の傾向と検出技術との関係

延性破壊の破面の特徴

▲破面に現れるディンプルの形状

25

劣化現象の傾向と検出技術との関係

破壊解析図 (例)

高応力拡大係数 $K_I = \sigma \times \sqrt{\pi a} \times f(a)$

作用応力 σ 、き裂長さ a 、き裂と構造物の形状因子 $f(a)$

脆性破壊条件 $K_I \geq K_{IC}$

K_{IC} : 平面ひずみ破壊靱性

高強度材では、き裂などの欠陥寸法が大きくなると破壊速度が急激に減少し、ある寸法以上では低強度材の値より低くなる脆断現象が現れる。

A: 巨視的な塑性変形を伴わず破壊する最高温度
 CAT: き裂阻止下限曲線
 B: 弾性-破壊遷移点
 C: 破壊応力が引張強さに等しくなる点

23

劣化現象の傾向と検出技術との関係

④ 脆性破壊

材料が巨視的にほとんど塑性変形を伴わずに破壊すること。弾性限が大きい。

一般的な脆性材料: 焼入れした鋼・鍛鉄・コンクリート・岩石・セラミック・ガラス

ミクロ的には「リバーパターン」
 マクロ的には「シェvronパターン」
 ※観察上でV字逆V字型のことをいう。
 別に「ヘリクボーンパターン(にしんの骨形模)」とも書かれている。

26

劣化現象の傾向と検出技術との関係

脆性破壊と延性破壊の違い

脆性破壊 ←→ 延性破壊

24

劣化現象の傾向と検出技術との関係

脆性破壊の破面の特徴

▲リバーパターン

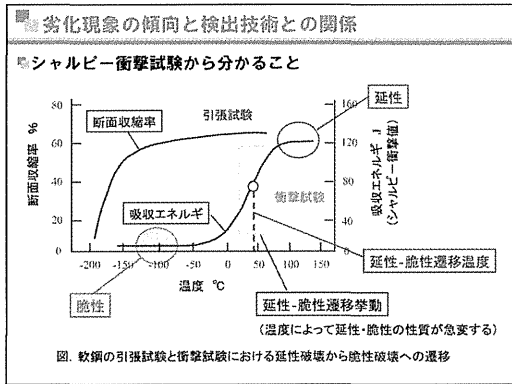
27

劣化現象の傾向と検出技術との関係

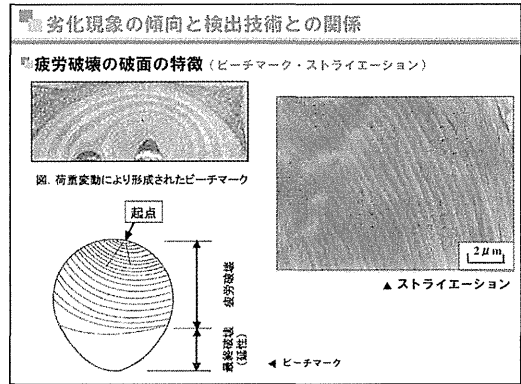
靱性評価

シャルピー衝撃試験機

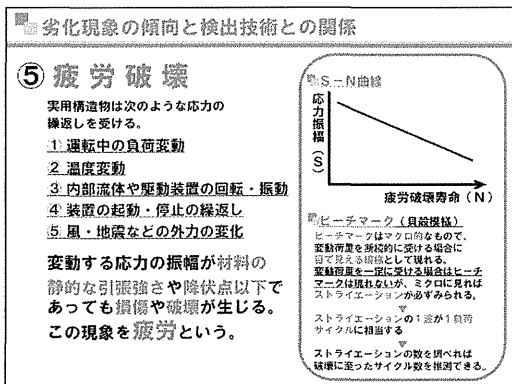
28



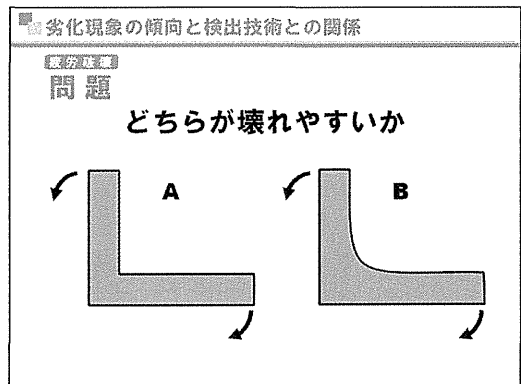
31



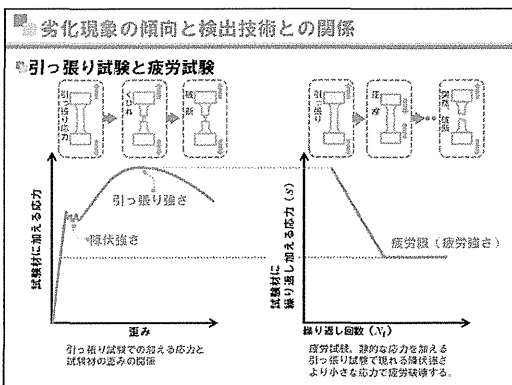
29



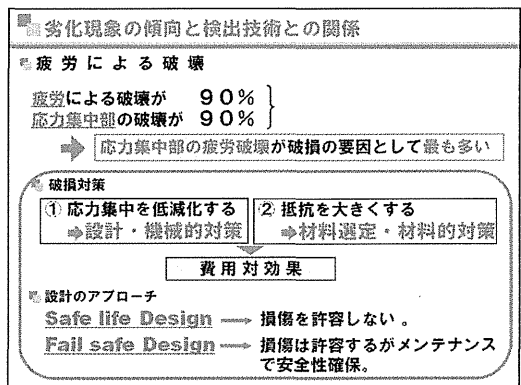
32



30



33



34

劣化現象の傾向と検出技術との関係

⑥ 割れ・亀裂

設備そのものの寿命を支配する**重要管理項目**

理由：・設備の構造的破壊
・内部流体の漏洩

脆化

温度・環境（化学的）・材料の
3因子が複雑に関係

37

劣化現象の傾向と検出技術との関係

475°C脆化

図1 鉄素二相ステンレス鋼SUS440のスピノーダル分解によって生じた二相分相の状態を示す電子顕微鏡画像 (70kV X1M50kE)

475°C脆化による脆化度曲線

© 社団法人日本鉄鋼協会 2004

資料名: 475°C脆化による脆化度曲線
発行年度: 1999年
発行元: 社団法人日本鉄鋼協会
発行所: 東京都千代田区有明4-2-2
発行部局: 技術情報部
発行部局番号: 001-0020510

35

劣化現象の傾向と検出技術との関係

主な脆化現象

- ◎475°C脆化
- ◎σ相脆化
- ◎焼戻し脆化
- ◎黒鉛化
- ◎水素脆化
- ◎浸炭
- ◎水素侵食

38

劣化現象の傾向と検出技術との関係

焼戻し脆化

脆化初期強度

試験温度

遷移温度

— 未脆化材
- - 脆化材

焼戻し脆化による遷移温度の上昇概念図

36

劣化現象の傾向と検出技術との関係

主な脆化現象

475°C脆化

(375~540°C) にさらされた高Crステンレス鋼における現象。鋼中のクロム炭化物のスピノーダル分解 (SPD) と呼ばれる炭化物の形態変化がおこり常温で硬くなり伸びが減少する。溶接熱の熱をおさえる急速冷却、低温処理による原因等。

スピノーダル分解 (SPD) → 全体に細かく分散した相分離が生じる。 → 高クロムの硬い相が見れる。

(析出物の必要がない) 鋼質異相によって相分離が起こる。

(注4) スピノーダル析出: 析出によって硬直に連続が生じる現象。熱的平衡系に属する。(=相分離) 炭素、セラミック、ガラス等が起こる様々なもの。

焼戻し脆化

低合金鋼が焼戻し温度近傍の温度 (325~575°C) に加熱された際に鋼中の不純物 (P, S, Pb, Sn, As) 等が鋼材中を拡散して結晶粒界に偏析。鋼材の機械的性質を低下させる現象。

マンガンは主要元素であり、タイタニウムは酸化マンガン。応い効果は少ない。

焼戻しは、硬いマルテンサイト組織の状態からじん性を与えるために行われる。

参考

39

劣化現象の傾向と検出技術との関係

主な脆化現象

水素脆化

鋼中に侵入した水素が鋼材の機械的性質を低下させる現象。鋼中で水素化物 (硬い) を形成したり、空隙・介在物境界で分子状水素を再生成する。炭化物を不安定化させ、Fe₃Cの分解を助長するためCrやMoは効果的とされている。

水素侵食 (水素アタック)

ニッケル鋼 $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$

σ(シグマ)相脆化

Crを15%以上含む鋼材において、540~815°Cの温度範囲加熱されると硬くて脆いσ相と呼ばれる相の析出が起こる。オーステナイト系ステンレス鋼の溶接部におけるフェライトの母材溶接熱処理における析出または使用時の高温における析出が原因となる。

参考