

# 火力発電所から排出される大気汚染物質の評価

Arnold Alanzado、中谷 寛行、中山 洋一、仁平 考一

## はじめに

わが国のエネルギー供給の4割は発電所で作られている。よって、発電所のリスクを考慮するべきである。我々の班は「電力供給システムのリスクとリスク管理の方法についての考察」として、今回は石炭火力発電所をとりあげ、そこから排出される大気汚染物質のリスクを計算・考察した。

第1章は、中山が、わが国における火力発電所の現状を調べた。そして第2章では、アーノルドが、火力発電所の大気汚染物質の害とその除去、環境対策について調べた。第3章では、中谷が、石炭火力発電所からの排ガス中の大気汚染物質排出量について環境対策がある場合とない場合の定量分析をし、仁平が、煙突から拡散される汚染物質を拡散方程式を用いて計算した。

## 1. 我国の電力供給と火力発電所

### 1.1 なぜ火力発電所を建設するのか

現在の火力発電所は、化石燃料を燃やすという原理上、必ず大気汚染物質を排出する。大気汚染物質のリスクを最小にしたいのなら、火力発電所を建設せず、水力や原子力など別の電源を用いればよい。

しかし、よりマクロな立場の要請から、電力供給手段として火力発電所が一定量必要になる。

本章では、火力発電所について簡単に説明するとともに、火力発電所の必要性をエネルギー政策の見地から述べる。また、エネルギーリスクを考える上での必要な論点を提示し、本研究の位置づけを明らかにする。

### 1.2 火力発電所とは

ふつうに火力発電所という場合は、化石燃料を燃やして電気を得る施設をいう。燃料として、天然ガス・石油・石炭などを使う。燃料を燃やすと、以下のような、大気汚染物質や温暖化ガスなどが発生する。

- 温暖化ガス (CO<sub>2</sub>)
- NO<sub>x</sub>
- SO<sub>x</sub>
- 粒子状物質
- 微量金属

- 産業廃棄物 (灰)

### 1.3 日本の電力供給

エネルギー自給率 (電力以外を含む)

表 1 エネルギー自給率

	石油	石炭	天然ガス	ウラン
自給率	0.3%	2.3%	3.4%	0%

東京電力の発電設備(認可出力)

表 2 発電設備(平成 11 年 単位:万 kW)

度末	東京電力	9 電力合計
水力	<160> 810.3	< 1,166> 3,332.0
火力	< 25> 3,243.4	< 165> 11,635.0
原子力	< 3> 1,730.8	< 14> 4,230.0
風力	< 1> 0.1	< 1> 0.1
計	<189> 5,784.6	< 1,346> 19,197.0

火力が 3000 万 kW 以上と一番多いことがわかる。

新規建設計画（東京電力）

表 3 新規建設計画（東京電力）

	地点名	出力 (万 kW)	着手	運転開始	備考
原子力	福島第一 7,8 号	各 138	12/10	18/10,19/10	計画中
	東通 1,2 号	各 138.5	14 年度	22 年度,22 年度以降	計画中
石炭 火力	常陸那珂 1 号	100	63/11	15/12	工事中
	" (電源開発)	100	63/11	17/12	着工準備中
	広野 5 号	60	11/8	14/8	工事中
	広野 6 号	60	11/8	19/7	着工準備中
LNG 火力	千葉 1,2 号系列	各 144	7/7	10/12 ~ 12/7	工事中
	品川 1 号系列	114	8/3	13/7,14/3,15/11	工事中
	富津 3,4 号系列	各 152	9/12	13/7 ~ 17/6,18/7 ~ 22/7	工事中
	川崎 1 号系列	150	10/3	16/7 ~ 21/7	工事中
	川崎 2 号系列	150	10/3	24/7 ~ 26/3	着工準備中
揚水式 水力	葛野川	160	3/7	11/12,12/7,21/7,22/7	工事中
	神流川	270	7/7	16/7,17/7,21/7,23/7	工事中

LNG 火力と石炭火力の新設が進んでいる。政府は原子力増強の政策を採っているが、難航している。

1.4 電源選択の論点

環境保全

- 大気汚染
- 産業廃棄物
- 温暖化対策（CO2 排出抑制）

エネルギー分野に関しては、2010 年までに、1990 年レベルに抑制することが目標とされている。

経済性

電力料金はあらゆる産業に影響する。グローバル化の流れの中で、日本でも電力自由化が始まった。市場原理の導入による電気料金低下を目指し、2000 年 3 月よりまず大口需要家向け電力が自由化された。そのため発電所投資の早期回収が望まれるようになる。

建設費やその他のコストを考慮に入れると、原子力の発電コストが最も低く、次いで天然ガス、石炭、石油と続く。運転費は原子力と石炭が一番安い。

供給の安定

オイルショック以後、石油に頼らない社会を目指してきた。しかし最近では経済性の観点から、石油・石炭火力

発電所の建設が行われている。現在石油の供給は安定しているが、価格の変動リスクはむしろ強まっている。また、中東への依存度も上がっている。

#### 需要対応能力

ピーク電力（最大瞬間電力）の増加により、電源設備の余裕や負荷追従能力、また安定した出力が求められる。

### 1.5 原子力

#### CO<sub>2</sub> を出さない

#### 燃料供給の安定

近年、米口は核軍縮を進めており、兵器級ウランが市場に放出されている。ウランは豊富な資源ではないが、ウラン産出地の政情も安定し、当面は高騰する心配はない。

#### むつ・ふげん・もんじゅの失敗

原子力船むつ、新型転換炉もんじゅ、高速増殖炉もんじゅが中止、延期される。短中期的に、原子力利用は軽水炉によるウラン燃焼に限られる。

#### プルトニウム利用の問題

検査データ捏造問題により、プルサーマル計画が延期される。原発反対派は、プルサーマルの危険性を指摘する。

核拡散に対する国際世論も非常に厳しい。日本が余剰プルトニウムを持つことに対し、日本核武装が懸念される。

#### 放射性廃棄物

放射性廃棄物の処理には、まだ決定打が見いだされていない。

#### 重大事故への懸念

#### 莫大な初期投資と立地難

莫大な初期投資に、電力会社が耐えきれなくなっている。反対運動により、新規立地も難航している。

### 1.6 新エネルギー

風力・バイオマス・太陽エネルギーなどの、従来使われなかった新エネルギー源を新エネルギーという。

新エネルギーは環境にやさしいが、

- エネルギー密度が低い
- コストが高い

という欠点がある。特に、コストが高い点は普及の足かせになっている。環境コストまで考えればペイするという意見もあるが、エネルギー密度の低さからくる本質的な出力不足は解決できない。出力の不安定さも問題で、新エネの電力構成比が10%を超えると、新たな安定化装置が必要になってしまう。1億7000万kW超の電力供給能力を必要とする日本にとっては、新エネルギーは補助の地位にとどまると見られる。

### 1.7 火力発電

#### 天然ガス

硫黄分を含まず環境負荷が軽いため、発電や都市ガス用として需要が伸びている。

天然ガスは運搬が難しいので、パイプラインを使う欧州と比べて、日本では利用が遅れている。しかし消費量は多く、世界の天然ガス貿易の5割が日本向けである。輸入先は、インドネシア、マレーシア・ブルネイ・オーストラリア・アメリカ（アラスカ）などで、国内に23カ所の輸入基地から液化天然ガスを受け入れている。

天然ガスは開発費用が非常に高いため、供給者と長期契約を結ぶケースが多く、価格に柔軟性がない。ただし最近では需要、供給ともに伸び、市場商品化が進んでいる。しかしそれは、供給安定性が損なわれ、価格変動性も強まることをも意味する。

火力発電の燃料としての利点は、環境負荷が軽い点のほか、効率のよさも特徴としてあげられる。ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせるコンバインドサイクル発電により、50%を超える熱効率を達成できる。

#### 原油・石油

日本は、石油の8割を中東に依存している。また世界的にも埋蔵量、生産量は中東が最も多い。近年、市場商品化し、調達も容易になったが、価格変動性も強まった。価格自体も、天然ガスや石炭より高い。そのため、ピー

ク用電源として利用される。

### 石炭

安くて豊富であり、埋蔵地が偏在していない。供給も安定している。そのため石油代替エネルギーとして導入が進められてきた。しかし大気汚染物質やCO<sub>2</sub>を大量に出してしまう。

電力自由化が進む近年、安さから利用がさらに進む。

発電技術としては、微粉炭火力が使われている。また、流動床ボイラ発電や、石炭ガス化などの技術も実用化が近づいている。

## 1.8 アジアのエネルギーリスク

### 増大するエネルギー需要

図1のように、アジアでのエネルギー需要が急増している。中国は1993年に石油の純輸入国に転落した。

### エネルギーを巡る紛争

- 尖閣諸島の領土問題
- 南シナ海の領有紛争

アジアのエネルギー需要が飛躍的に増大するなか、海底エネルギー資源を巡って紛争が起きている。そのためエネルギー供給が不安定化するという悪循環が起きている。

## 1.9 ベストミックス

供給リスクを最小化する場合の電力ベストミックスは、図2のようになる。しかしそれは供給リスクのみを考えた分析であり、実現可能性の考慮もなされていない。現実の国策に供するための分析として、経済産業省は2001

年7月、表4のような見積もりを行った。基準ケースは現行政策を維持した場合の未来予測であり、目標ケースは省エネや新エネをさらに推進し、また電力供給計画の変更を前提とした予測である。どちらの場合でも、CO<sub>2</sub>排出量を1990年度なみにするという目標の達成は難航すると結論づけられている。

さて、火力発電のリスクを考える際には、火力発電から得られる利得の見積もりが必要である。しかし、それは立場や見方によって大きく異なる。科学的にモデルを構築しようにも、環境や社会の未来予測は困難が多く、また科学的モデル自体の評価に、評価者の思想が強く影響する。また、発電所は外部不経済の効果が大きく、立地地元住民にとっては迷惑施設でしかない。そのため政治問題となってしまう、リスク分析をより困難にする。リスク工学は、利得と損失のバランスを考える学問である。しかしエネルギーリスクについては、何を持って利得とするかの段階で意見が激しく分かれる。その議論は人類社会のあり方まで拡散する。

現在から今後10年程度の間は、経済性が非常に重視される時代であると思われる。その観点から、火力発電への依存が高まっていくと思われる。なぜなら、初期投資費用を含めた総合コストがもっとも安いからである。

そこで我々の班では、91.5万kWの石炭火力発電所の建設を仮定し、その大気汚染物質を定量分析した。

次章では、火力発電所が出す大気汚染物質について分析する。

図 8 東アジアの一次エネルギーの消費と見通し

出所：総合エネルギー調査会国際エネルギー部会報告書

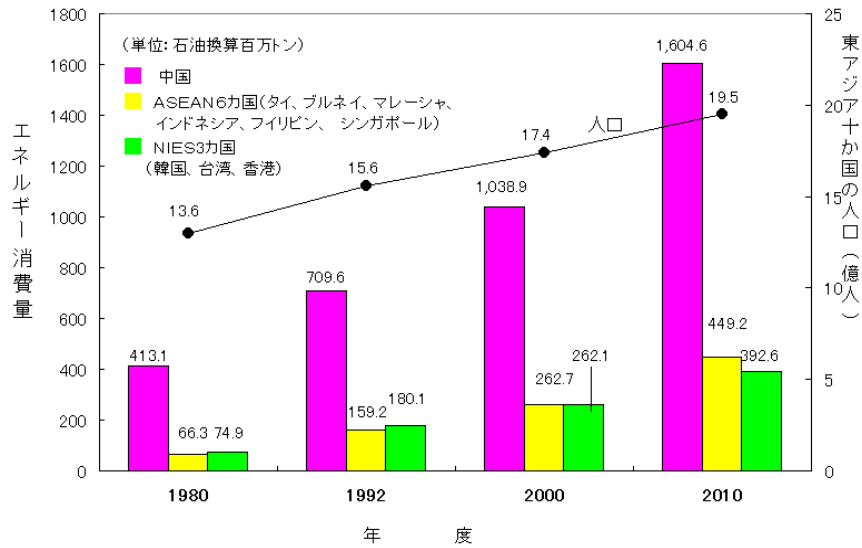


図 1 東アジアのエネルギー消費と見通し

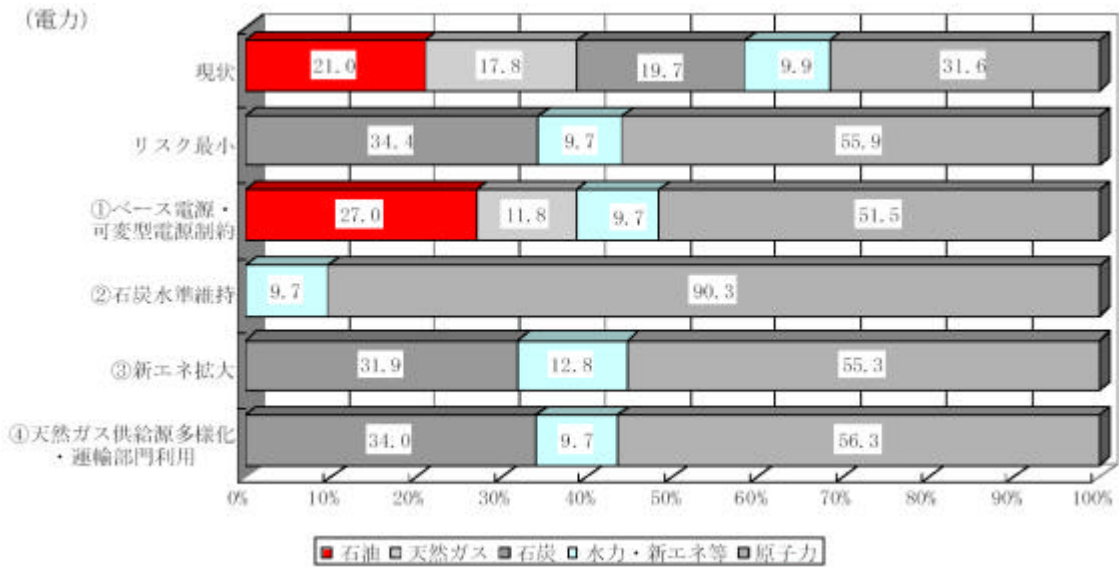


図 2 供給リスクから考えたエネルギーベストミックス

表 4 経済産業省によるベストミックスの見積もり

○年度末設備容量の推移と見通し（電気事業者）

（単位：万kW）

年度 項目	1990年度		1999年度		2010年度			
					基準ケース		目標ケース	
年度末発電設備容量 (電気事業者)	17212		22410		26657		25288~27229	
発電別区分	実数	構成比%	実数	構成比%	実数	構成比%	実数	構成比%
火力	10408	60.5	13434	59.9	15343	57.6	14670~ 16220	57.0~59.6
石炭	1223	7.1	2488	11.1	4410	16.5	3155~ 4413	12.3~16.2
LNG	3839	22.3	5677	25.3	6702	25.1	6606~ 6696	24.6~26.1
石油等	5347	31.1	5270	23.5	4231	15.9	4908~ 5111	18.8~19.4
原子力	3148	18.3	4492	20.0	6185	23.2	5755~ 6185	22.7~24.1
水力	3632	21.1	4433	19.8	5071	19.0	4810	17.7~19.0
一般	1931	11.2	2002	8.9	2070	7.8	2069	7.6~8.2
揚水	1701	9.9	2431	10.8	3001	11.3	2741	10.1~10.8
地熱	24	0.1	52	0.2	59	0.2	54	0.2

## 2. Fossil Fuel: Benefits and its Risk

### 2.1 Fossil Fuel

Petroleum, natural gas, and coal are the main sources of energy for modern use. All of these fuels are classified as fossil fuels. The reason they are called fossil fuels is because they are all made from decayed plants and animals that have been preserved in the earth's crust by pressure, bacteria and heat. It takes millions of years for these organisms to chemically change into fossil fuels. Liquid fossil fuels, like petroleum, are found in areas that geologists believe were once covered by oceans. These fuels were formed when dead plants and animals sank to the bottom of the ocean and were covered by sediments. Over long periods of time (millions of years), pressure, bacteria, and heat changed the sediments into sedimentary rocks and the plant and animal remains into oil. Eventually underground pools of oil moved into the pores and cracks of these rocks. Specifically, oil pools are usually found in sandstone or shale which are types of sedimentary rocks.

**Fossil Fuel are divided into gas fuel, liquid fuel, and solid fuel.**

#### 2.1.1 Gas Fuel

Gas fuel is composed of coal gas group, oil/petroleum gas group and natural gas.

Natural gas is found with petroleum and sometimes with coal. Since it is less dense, it is more often found on top of oil pools. The main ingredients of a natural gas is methane (CH<sub>4</sub>), it also contains ethane(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) and propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>). Coal gas is obtained from dry distilled, high temperature coal. High temperature solid fuel when pass to a steam produces water gas. Producer gas is obtained from incomplete combustion of coal and cork. Blast furnace gas is byproduct of smelting furnace or blast furnace, in oil analysis gas is transformed into oil gas. Calorific value and specific gravity are examples of gas characteristics, its components are composed of hydrocarbon, hydrogen, carbon monoxide and nitrogen their mixtures varies comparatively, usually not more than 5,000 kcal/Nm<sup>3</sup> of calorie gas.

Table 5: Approximate gas fuel composition

	CO H <sub>2</sub>	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>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> O <sub>2</sub> O <sub>2</sub> N <sub>2</sub>
[Coal gas group]				
Coal gas	4 54	29 1 0	3 1	2 1 5
Water gas	39.7 50.8	0.8		4.7 4.7
Producer gas	27 10	0 0 0	0 0	6 0 56
Blast furnace gas	27 2	0 0 0	0 0	11 0 60
[Oil /Petroleum gas group]				
Pyrolysis	7 20	28 2 0	21 12	3 1 6
Contact decomposition	15 48	16 0	9 1	8 0 1
Steam performing Naphtha performing gas	16.7 40.4	13.2 CnHm=8.3		4.7 0.6 16.1
	3 63	13 0 0	0 0	21 0 0

	CO H <sub>2</sub>	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>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> O <sub>2</sub> O <sub>2</sub> N <sub>2</sub>
[Natural gas group]				
Dry gas		94.6		3.2 0.1 1.9
Wet gas		88 6 4 2		
[Oil liquefaction gas]				
Butane		1.7 98.3		
Propane		0.9 98.2 0.9		

#### 2.1.2 Liquid Fuel

Natural gas can be made into three forms. One kind is the low-pressure form you use to cook or heat your home. It comes from the underground pipe from the gas company. Another form is compressed natural gas (CNG). This form is compressed into high-pressure fuel cylinders to power a car or truck. It comes from special CNG fuel stations. The third form is liquefied natural gas (LNG). LNG is made by refrigerating natural gas to condense it into a liquid. The liquid form is much more dense than natural gas or CNG. It has much more energy for the amount of space it takes up..

Liquefied natural gas is made by refrigerating natural gas to minus 260 degrees Fahrenheit (260 degrees below zero!) to condense it into a liquid. This is called liquefaction. The liquefaction process removes most of the water vapor, butane, propane, and other trace gases, that are usually included in ordinary natural gas. The resulting LNG is usually more than 98 percent pure methane.

Another form of liquid fuel is the liquefied petroleum gas (LPG). LPG is made of a mixture of propane and other similar types of hydrocarbon gases. Different batches of LPG have slightly different amounts of the different kinds of hydrocarbon molecules. These hydrocarbons are gases at room temperature, but turn to liquid when they are compressed. LPG is stored in special tanks that keep it under pressure, so it stays a liquid. The pressure of these tanks is usually about 200 pounds per square inch (abbreviated "psi").

#### 2.1.3 Solid fuel

Coal is a solid fossil fuel that occurs in four basic types: peat, lignite, bituminous, and anthracite. Peat is the raw material from which coal is made. It is not much more than compressed plant remains. It is used in various areas of the world, especially in the British Isles where it is cut into cubes and dried to be burned in stoves. Lignite is the next step in coal formation. It is low-grade coal and occasionally has remains of unconverted plant material. Bituminous coal is a higher grade coal, containing no unconverted plant remains. It burns cleaner than lignite. Anthracite is metamorphic coal and is the highest grade of coal. It burns the cleanest and gives off the most heat.

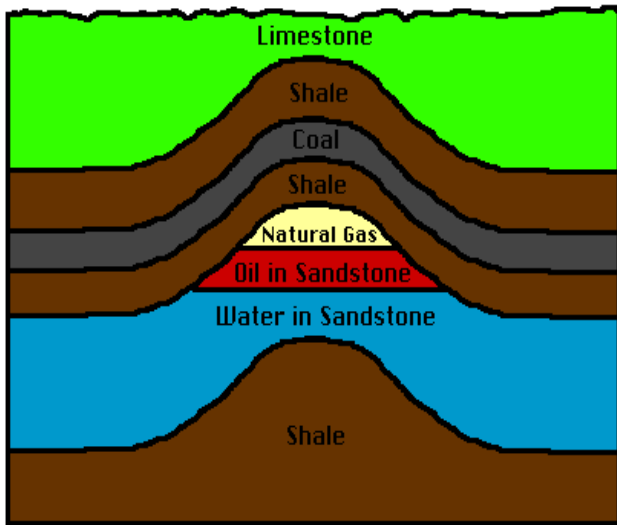


Figure 3: Sources of Coal and Natural gas

## 2. 2 Uses of Fossil fuel:

Another type of fossil fuel is natural gas. It is found with petroleum and sometimes with coal. Since it is less dense, it is most often found on top of oil pools. Natural gas is valuable because it burns cleanly, releases energy, and can be easily transported in underground pipelines. We use natural gas in many ways including heating our homes and cooking our food.

Fossil fuels like coal, oil and gas are non-renewable sources of energy. This means that once they have been used up there will be no more. Fossil fuels are used as the major source of energy which allows us to live on the earth in the way we do today. We use fossil fuels in many ways including heating our homes and cooking our food. Airplanes and cars all burn fossil fuels to enable them to move. Most manufacturing industries rely on fossil fuels to make products. Many people forget that most of the electricity in the world is generated using a fossil fuel as the energy source. A power station is simply a giant transducer which turns the chemical energy of the fossil fuel into electrical energy.

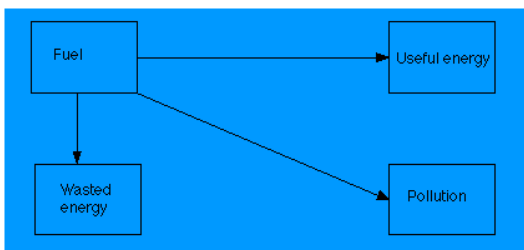


Figure 4: By product of fossil fuel

In a power station the useful energy is electricity. Much of the energy from the fossil fuel is wasted as heat lost to the

environment - this is called thermal pollution. Waste gases from the power station pollute the environment and they cause problems with acid rain. Electricity may be a "clean" fuel but the process of converting the energy from fossil fuels into electrical energy certainly is not.

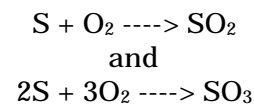
Fossil fuel are commonly used in industries and power generation. Fossil fuel are abundant and cheaper to produce than alternative fuel such as solar, wind power and nuclear power.

## 2.3 Environmental Impact of the by product of fossil fuel.

### Evolutionary Stages of Coal Development

Coal comes in several developmental stages, peat, lignite, bituminous and anthracite forms of coal. The first two stages are very inefficient producing a small amount of energy per mass of fuel. Lignite can be gasified to natural gas which is a particularly clean burning fuel in itself. Lignite has also been liquefied to produce liquid petroleum fractions. Bituminous (soft coal) and Anthracite (hard coal) are the stages of coal most often mined, processed, and used as fuel.

Coal that has sulfur impurities will cause the sulfur to undergo combustion:



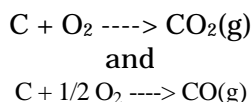
Now the presence of Sulfur Dioxide and Sulfur Trioxide in the air can have a debilitating effect on old and young alike. The dense sulfur oxide gases are difficult to expel from the lungs once they have entered. This can cause various lung related diseases such as emphysema. Sulfur oxide alerts are common in regions where coal burning plants exist for the production of electrical energy.

But the problem gets more complicated when it rains. The rain water mixes and dissolves the  $SO_2$  and  $SO_3$  to form acids like Sulfurous acid which is not particularly a problem since this acid is unstable and decomposes back into water and  $SO_2$ , but the Sulfuric acid,  $H_2SO_4$ , is a strong acid and quite destructive. This is referred to as acid rain the acid mixture that results when rain water leaches the gases from the atmosphere aids in cleaning the air of the sulfur oxides, but it transforms this danger to the ground water on earth. The acidity measured by pH increases (pH decreases). This results in an imbalance in the ecological balance in aquatic life. Certain plant and animal forms that live in the water cannot function in a too acidic environment. In addition, carbonaceous materials (materials that contain the carbonate



ion) like marble,  $\text{CaCO}_3$ , will react with the "acid rain" to produce carbonic acid,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , which is another one of those unstable acids and decomposes into water and Carbon Dioxide,  $\text{CO}_2$ .

Then there are the gases that are produced by the combustion of the coal itself. The Carbon will react with Oxygen to produce one of two gases depending upon the amount of Oxygen present at the time:



The  $\text{CO}_2$  is the major product of combustion and is of itself not particularly harmful. In fact,  $\text{CO}_2$  is a necessary ingredient when it comes to the photosynthetic process that all plant life engage in during "enlightened" periods. Without  $\text{CO}_2$  then food could not be produced and life would cease to exist, at least, as we know it. The problem comes when the balance between  $\text{CO}_2$  and  $\text{O}_2$  is not favorable to life. When there is too much  $\text{CO}_2$  there is a possibility of the so called "greenhouse effect". This effect maintains that if the  $\text{CO}_2$  levels on the earth are allowed to increase above what is necessary for balance, the extra  $\text{CO}_2$  will form a blanket around the earth and prevent infra-red radiation from escaping the earth's surface in order to cool off the earth after having absorbed the sun's rays. This has an effect of global warming which has been observed recently to be accelerating.

### 2.3.1 Carbon Monoxide

CO, is an insidious toxic gas. Its toxicity lies in the fact that CO can bind to hemoglobin in the blood thus depriving life giving Oxygen of its vehicle to reach the cells. It also deprives waste gas,  $\text{CO}_2$ , of the hemoglobin so that evacuation of waste gases is not possible. Just 50 parts per million of CO in the air can cause dizziness, nausea, and irritability. A thousand parts per million can result in loss of consciousness. 10,000 parts per million can result in death within 10 minutes. We experience mild forms of CO toxicity when we are trapped in a traffic jam in the cities. The CO coming from exhausts can give one headaches and make one irritable.

### 2.3.2 SOx and NOx

The SOx come from the burning of sulfur containing coal as well as smelting processes (conversion of raw metal ores, mostly sulfides, into pure metals). S combines with  $\text{O}_2$  during the burning of coal to produce SO,  $\text{SO}_2$  and  $\text{SO}_3$ . These reactions are catalyzed by the presence of fine particulate matter - which is also produced by the burning of coal, soot. Sulfuric acid is then produced when the  $\text{SO}_3$

dissolves in water, a process which is sped up in the presence of ozone, hydrogen peroxide and  $\text{OH}^\circ$  (these things come from ozone and water in the presence of sunlight).

The NOx come mostly from the combustion of gasoline and diesel fuels in auto engines. In the high pressure and high temperature environment of the auto engine, the hydrocarbons of the fuel are compressed and combusted with oxygen to produce a mixture of carbon dioxide and carbon monoxide. The air that is taken in, as a source of oxygen, also contains nitrogen (air is 78% nitrogen) - which is also combusted in the engine, producing NO and  $\text{NO}_2$ . The nitrogen oxides (a brown gas with a bad smell combine with water in the atmosphere (specifically with  $\text{OH}^\circ$ ) to form nitric acid.

SOx and NOx are produced by humans in roughly equal amounts. While the developed nations have been steadily decreasing their emissions of these gasses, while continuing to grow industrially; the developing nations have greatly increased their emissions. Pollution reduction technology costs money while building high smoke stacks is relatively cheap. Use of low-sulfur fuels has local, regional and national impact on economy - especially when jobs and shipping costs are factored in.

### 2.3.3 Particulates

Particulates are microscopic air-borne solid matter. They include natural material such as sea salt and volcanic ash. However, a substantial amount is generated from man-made sources such as industrial processes, power plants, the combustion of fuels and movements of road traffic. Lead gasoline additive, nonferrous smelters, and battery plants are the most significant contributors to atmospheric lead (Pb) emissions.

The chemical and physical composition of particulates varies widely. Most of the smallest particles result from burning fossil fuels. These small particles can remain aloft for days, even weeks, and can travel thousands of kilometers.

Particulates pose a major hazard for human health. The adverse effects have been traced mainly to small particles with an aerodynamic diameter of 10 microns or less, which can reach deep into the lungs. Smaller particles can go even deeper into the lungs, where those that are still tinier can enter the blood stream. These particles can disturb the lungs physically and chemically. They can directly irritate the lungs, and they can carry toxic heavy metals and other pollutants

## 2.4 Dealing with global environmental issues

There is currently considerable worldwide interest and

concern in environmental issues such as global warming, acid rain, desertification, and the destruction of the ozone layer. It is essential that we seek a correct understanding of these problems and act in a concerted effort, both as individuals and as members of society.

Environmental problems are closely linked to the way we utilize energy for economic activities and in our daily lives. Energy demand tends to increase yearly in proportion to economic and social development, and as contemporary information-oriented society develops toward a higher level of sophistication and our lifestyles become increasingly centered on amenities, the demand for electricity can be expected to rise further.

CO<sub>2</sub> emissions are the principal cause for global warming and are a major problem for the electric power industry.

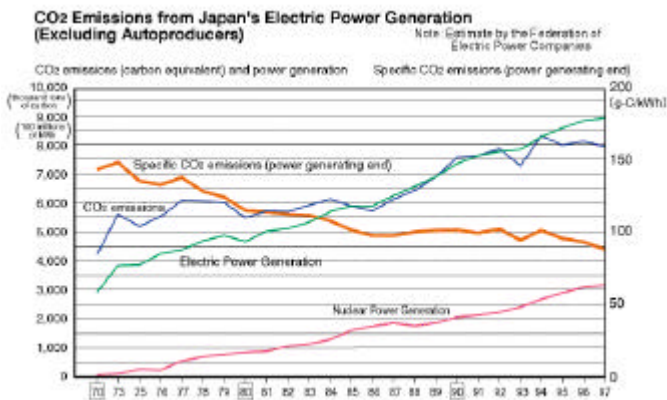


Figure 5: Japan's power plant CO<sub>2</sub> emissions

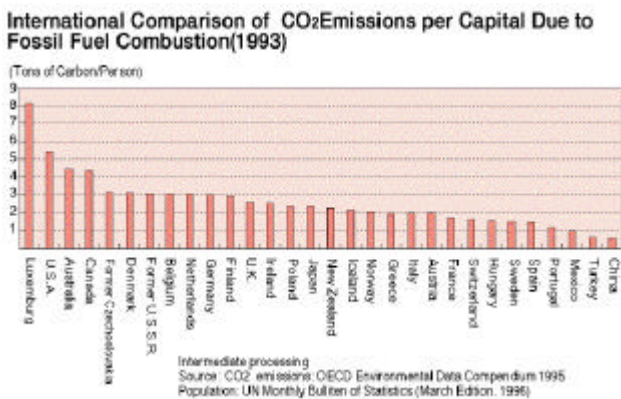


Figure 6: International comparison of CO<sub>2</sub> emissions

A comprehensive approach is required in order to control CO<sub>2</sub> emission levels. Steps to cut CO<sub>2</sub> emissions are based on two-pronged control on the supply and demand sides.

The Electric power industry seeks to achieve a well-balanced combination of energy sources through the

appropriate inclusion of nuclear power and LNG power generation systems. At the same time, efforts are being made to upgrade thermal efficiency in power plants and reduce energy loss in power transmission and distribution systems. The electric power industry considers the CO<sub>2</sub> issue to be a paramount importance, and accordingly aims to achieve the following objectives in its future activities:

- Increased use of non-fossil energies
- Increased efficiency of facilities
- Energy conservation
- Load-leveling

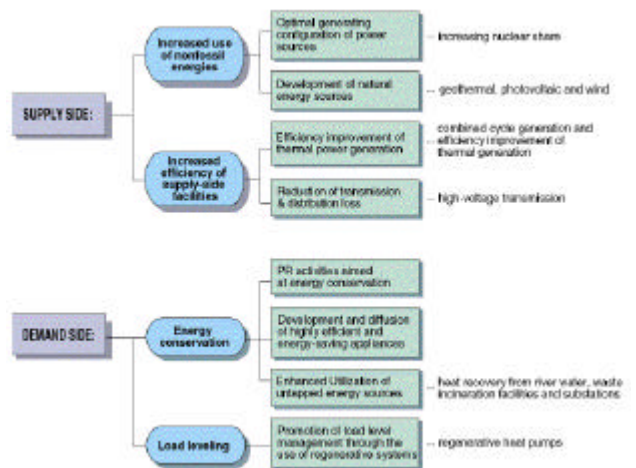


Figure 7: CO<sub>2</sub> Control measures

### 2.4.1 Reduction of SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> emissions

From the mid-1970s, through progress made in improving fossil-fuel quality and power generating facilities, the volume of sulphur oxide and nitrogen oxide emission per unit of electricity generated by thermal power in Japan has been reduced drastically. The industry actively promotes a “Keep the Air Clean” policy with regard to fuel, equipment and operating procedures. Emission of air pollutants such as sulphur oxide, nitrogen oxide and particulates are reduced through an appropriate combination of these three elements.

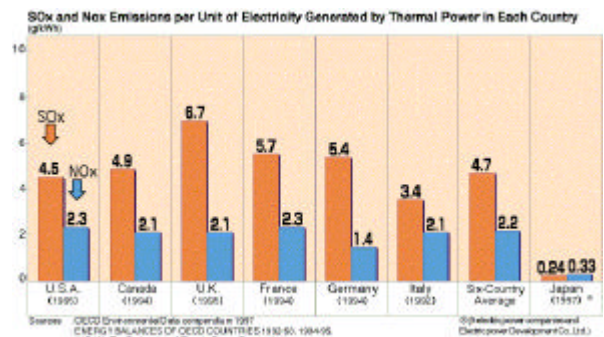


Figure 8: International SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> emissions

Continuous reduction of SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> and particulate emissions is being achieved through the use of high-quality

fuels such as heavy/crude oil and coal grates with low sulphur and nitrogen and LNG that contains no sulphur or particulates.

Sulphur oxide can be removed through the installation of desulfurization facility using the wet-type lime gypsum process. The limestone is powdered and mixed with water. When this is blown as a mist into the flue gas, the sulphur oxides within the exhaust gas react with the lime to form calcium sulfite. This is combined with oxygen, reacting to form gypsum.

Configuration of Desulfurization Facility

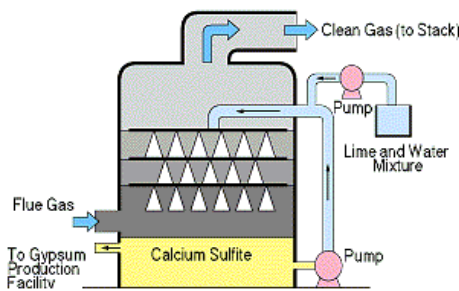


Figure 9: Desulfurization Facility

Nitrogen oxide can be controlled and reduced through improved combustion methods and the use of flue gas denitrification facilities.

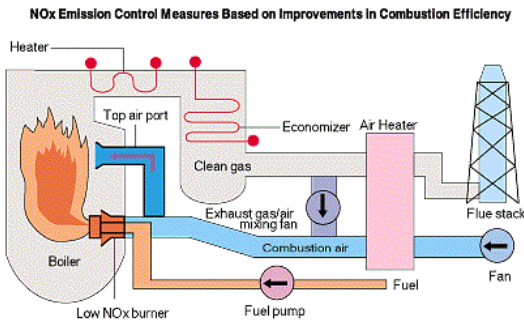


Figure 10: Improved combustion method

Configuration of Flue Gas Denitrification Facility

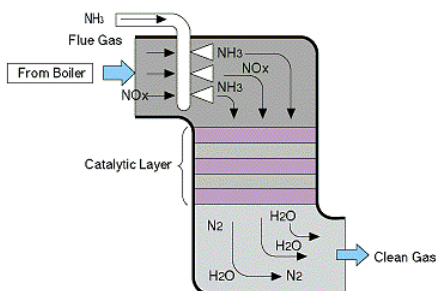


Figure 11: Flue Gas Denitrification

When ammonia is added to the flue gas, which includes NOx, and passed through the catalytic layer, the catalyst causes the NOx to separate into nitrogen and water.

Techniques used in controlling generation of Nitrogen Oxides:

- Mixing of exhaust gas with air
- Two stage combustion
- Low-NOx burner

### 2.4.2 Particulates

In order to reduce particulates, which include unburned carbon in heavy/crude oil combustion and fly ash in coal combustion, power producers in Japan have installed high-efficiency electrostatic precipitators which remove over 80% of particulates in almost all heavy/crude oil combustion and over 99% of particulates in coal combustion.

The electrostatic precipitator uses a voltage differential between two electrodes to extract and collect particulates.

Configuration of Electrostatic Precipitator

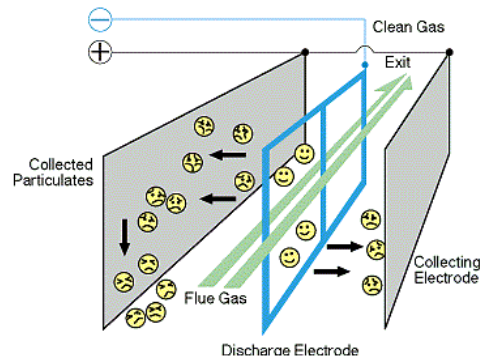


Figure 12: Electrostatic Precipitator

Polluted air respects no boundaries. Air pollution can make you sick, give you an itchy, irritated throat, or cause trouble with you breathing. The chemicals in polluted air can cause cancer, brain and nerve damage, birth defects, etc. Air pollution harms not only human but also environment.

There are a lot of counter measures to prevent the air pollution, there's the "Clean air act" that established ambient air quality standards for pollutants such as sulfur dioxide, particulates and ozone.

Environmental Protection Agency promulgated new annual and 24-hour standards for particulate matter using a new indicator, PM-10, that includes only those particles with an aerodynamic diameter smaller than 10 micrometers

### 3. 硫黄酸化物による汚染

#### 3.1 硫黄酸化物

今回は多くの汚染物質の中から、特に硫黄酸化物に関して述べたいと考える。その理由として、硫黄酸化物が定量的に評価しやすいことが挙げられる。NO<sub>x</sub>は自動車から多く排出されているため、排出量などの評価が難しい。また、CO<sub>2</sub>を回収する技術はまだ未熟である。さらに、石炭の質はこれから劣悪になっていくと予想されており、硫黄酸化物の排出量は今後ますます増加していくものと考えられる。以上のことから、今回は硫黄酸化物に関して検討した。

#### 3.2 汚染物質の流れ

排ガス中の硫黄酸化物による汚染を考える場合、まず硫黄酸化物の流れを順に追っていく必要があるであろう。硫黄酸化物の流れを図13に示す。

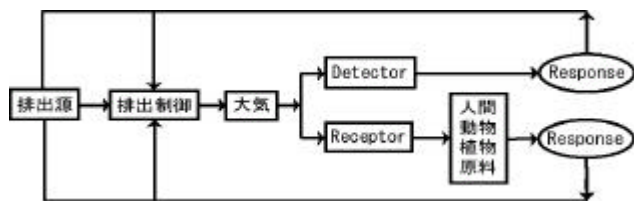


図 13 硫黄酸化物の流れ

硫黄酸化物による汚染状況を測定する場合、排ガスにより大気中へどのくらい排出しているかを測定する (Detector 側) と同時に、それが生態系などにどの程度吸収されているかを考えなくてはならない (Receptor 側) ことがわかる。よって、Detector 側と Receptor 側の両面から硫黄酸化物による汚染を考え、その実態について実際の火力発電所を模擬し、現在の規制状況、方法とその効果について考える。

#### 3.3 Detector

##### 3.3.1 規制体系

現在、硫黄酸化物に関する規制の体系は図14のようになっている。図より、硫黄酸化物規制として大きく

以下の3つが用意されていることがわかる。

- K 値規制  
地域の区分ごとに煙突の高さに応じて、排出許容量を規制する
- 総量規制  
過密地域として指定された地域の一定規模以上の工場の許容排出総量を規制する
- 燃料規制  
過密地域として指定された地域の使用燃料の硫黄含有量を規制する

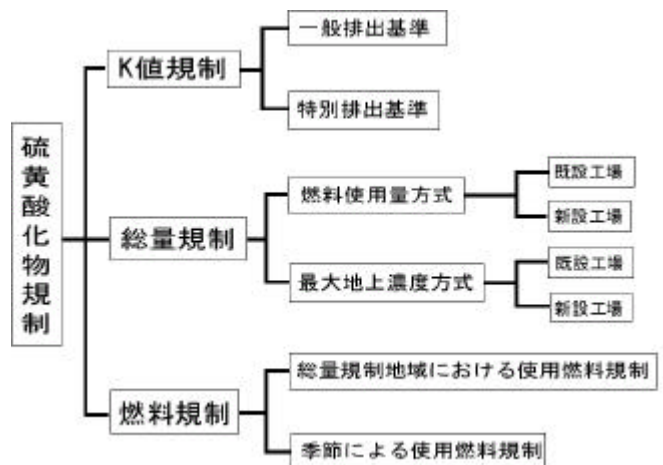


図 14 硫黄酸化物の規制の体系<sup>[11]</sup>

##### 3.3.2 K 値規制

今回の発表では、ある1つの工場についての規制である K 値規制をとりあげる。

大気汚染防止法では次式により規制がなされている。  

$$Q = K \times 10^{-3} H_e^2 \dots \dots \dots (1)$$
 ここで  $Q$  は硫黄酸化物の排出量[Nm<sup>3</sup>/h]、 $H_e$  は、有効煙突高さ (補正された排出口の高さ、式(1)で計算される) である。また、 $K$  の値の基準として以下の2つが設けられている。

- 一般排出基準  
全国の硫黄酸化物に係る発生施設について、地域の区分ごとに定められている基準 (既設工場)
- 特別排出基準  
過密地域として指定された地域の区分ごとに、施設

を新設する場合の特別の基準で、一般排出基準より厳しい基準（新設工場）

これらに従い、 $K$ の値は地域ごとに表6のように決められている。

表6 硫酸化物のK値規制<sup>[11]</sup>

一般排出基準（既設施設）	特別排出基準	
K値（全国指定地域を16のランクに区分）	大気汚染がある基準以上であると指定された地域に限る	
3.0 3.5 4.0 4.5 5.0	K値	適用指定地域
6.0 6.42 7.0 8.0 8.76	1.17	東京など6地域
9.0 10.0 11.5 13.0 14.5	1.75	千葉など8地域
17.5の地域	2.34	鹿島など14地域

$H_e = H_0 + 0.65(H_m + H_t)$  ..... (2)  
 ここで  $H_e$  は有効煙突高さ [m]、 $H_0$  は実煙突高さ [m] である。また  $H_m$  [m]、 $H_t$  [m] はそれぞれ運動量による上昇高さおよび浮力による上昇高さで、次式により計算される。

$$H_m = \frac{4.77}{1 + 0.43U/V} \cdot \frac{\sqrt{qV}}{U} \dots\dots\dots (3)$$

$$H_t = 6.37g \frac{q\Delta T}{U^3 T_1} (\log_e J^2 + \frac{2}{J} - 2) \dots\dots\dots (4)$$

$$J = \frac{U^2}{\sqrt{qV}} (0.43 \sqrt{\frac{T_1}{g(dq/dz)}} - 0.28 \frac{V}{g} \cdot \frac{T_1}{\Delta T}) + 1 \dots\dots\dots (5)$$

ここで  $U$  は風速 [m/s]、 $q$  は温度  $T_1$  における排ガスの量 [m<sup>3</sup>/s]、 $V$  は吐出速度 [m/s]、 $T_1$  は排ガス密度が大気密度と等しくなる温度 [K] (規正法では 15 )、 $\Delta T$  は排ガス温度と  $T_1$  との差 [K]、 $g$  は重力加速度 [m/s<sup>2</sup>]、 $dq/dz$  は大気温度勾配 [ /m ] (規正法では 0.0033 /m) である。

計算された  $H_m$  と  $H_t$  を加えたものより実際には小さいと考えられ、これに 0.65 倍したものが式 (2) である。

3.3.3 模擬プラントによる算出例

火力発電所を模擬した次のようなプラントを想定し、その場合どのように上記の規制値が使われるか、また

実際の汚染状況がどのくらいになるかを算出する。

発電容量 915MW、稼働率 72.5%、燃焼効率 40%、燃料として石炭を用いている火力発電所を考える。また、石炭の各成分および熱量は表7のようになるとする。また、各条件を以下のように設定する。

- ◆ 実煙突高さ： $H_0 = 200\text{m}$
- ◆ 気温： $T_a = 20$
- ◆ 吐出速度： $V = 15\text{m/s}$
- ◆ 排ガス温度： $T_s = 150$
- ◆ 煙突先の風速： $U = 4\text{m/s}$
- ◆ 煙突出口径：7m

表7 石炭の成分および熱量

水分	灰	炭素	水素
8%	7.7%	77.0%	3.0%
窒素	硫黄	酸素	熱量
1.25%	1.0%	2.05%	30MJ/kg

まず、この発電所から排出される硫酸化物の発生量を計算する。総発電量 915MW で稼働率 72.5%、熱量 30MJ/kg の石炭を  $x$  kg 用いその 40% を電気に変換できるのだから、必要な石炭の総重量は、  
 $30 \times x \times 0.4 = 915 \times 0.725$   
 $x = 55.28\text{kg} = 55.28 \times 10^3 \text{g/s}$   
 とわかる。硫黄は石炭の重量の 1.0% を占めているから、硫酸化物の発生体積は、

$$55.28 \times 10^3 \times 0.01 \div 32 = 17.19\text{mol/s}$$

$$17.19 \times 22.4 \times 10^{-3} = 0.3851\text{Nm}^3/\text{s}$$

$$= 1386.4\text{Nm}^3/\text{h}$$

となり、これが式 (1) の  $Q$  にあたる。

次に、有効煙突高さ  $H_e$  を求める。まず、式 (3) (4)

(5) に各条件をあてはめ計算すると、

$$H_m = 82.852$$

$$J = 9.179$$

$$H_t = 448.873$$

とわかる。これらを式 (2) に代入し、



$$H_e = 545.618$$

と求めることができる。これらの値を式(1)にあてはめると、

$$1386.4 = K \times 10^{-3} \times (545.618)^2$$

$$K = 4.66$$

となる。式(1)より  $K$  値は小さければ小さいほど硫黄酸化物の量を減らさなければならないことがわかる。算出した  $K$  の値と表6を見比べると、一般排出基準として設定されている  $K$  の値をほとんど達成している。つまり、この模擬プラントが既設であるならば、ほとんどの地域で排出に関する基準を達成できるがわかる。これは、含まれる硫黄の量が1.0%という質の良い石炭を用いたためであると考えられる。しかし、もしこの模擬プラントが大気汚染の激しい地域に立てられているならば(例えば表6より  $K=3.0$  を用いると) 硫黄酸化物の排出量は、

$$Q = 3.0 \times 10^{-3} \times (545.618)^2 = 893.097 \text{ Nm}^3 / \text{h}$$

に抑えなくてはならず、排ガス中の硫黄酸化物を約35%除去しなければならない。また、この模擬プラントをある指定地域に新設したいと考えるならば(例えば表6より  $K=1.17$  を用いると) 硫黄酸化物の排出量は、

$$Q = 1.17 \times 10^{-3} \times (545.618)^2 = 343.308 \text{ Nm}^3 / \text{h}$$

に抑えなくてはならず、排ガス中の硫黄酸化物を約75%除去しなければならない。ここで、この模擬プラントでは脱硫装置の装着を全く考えてない。現在火力発電所で用いられている脱硫装置は、硫黄酸化物を約90%除去している。つまり、この模擬プラントに関しては、もし現在火力発電所等で用いられている脱硫装置を設置したならば、一番規制が厳しい地域に新設する場合にも  $K$  値規制に関しては全く問題がないという結果となった。

### 3.4 Receptor

#### 3.4.1 汚染の測定方法

Receptor 側を考える場合、硫黄酸化物が生態系にど

れほど取り込まれているか、またそれによりどのような影響が起こっているかを測定しなければならない。しかし、実際には生態系に蓄積された硫黄酸化物を測定できたとしてもある特定の工場によるものだと断定することや、生態系に異常が発生していたときにその原因が硫黄酸化物によるものだと特定することは、とても困難である。

よって今回は、現在の空気中に含まれる平均的な硫黄酸化物の濃度を安全の指標とし、ある工場から発生した硫黄酸化物が拡散して地表に達したとき、現在の濃度とどれほどの差があるか、という観点から考えた。

#### 3.4.2 拡散方程式

まず、拡散方程式を Fick の法則から導くことから始める。Fick の法則とは以下に示すものである。

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x} \dots \dots \dots (6)$$

$J$ : フラックス

$C$ : 濃度

拡散方程式を導くのに以下のようなモデルを考える。

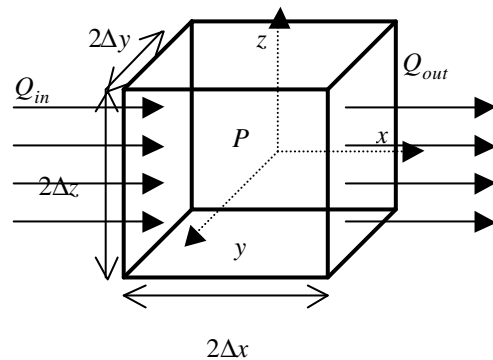


図 15 拡散方程式導出モデル

流入量を  $Q_{in}$ 、流出量を  $Q_{out}$  とすると

$$Q_{in} = 4\Delta y \Delta z \left( J - \frac{\partial J}{\partial x} \Delta x \right)$$

$$Q_{out} = 4\Delta y \Delta z \left( J + \frac{\partial J}{\partial x} \Delta x \right)$$

となる。溶質の量の変化を  $Q$  とすると

$$Q = Q_{in} - Q_{out} = -8\Delta x \Delta y \Delta z \frac{\partial J}{\partial x} \dots\dots (7)$$

となる。また  $Q$  を濃度変化の式で表すと

$$Q = 8\Delta x \Delta y \Delta z \frac{\partial C}{\partial t} \dots\dots\dots (8)$$

となる。(7)、(8)より

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial J}{\partial x} \dots\dots\dots (9)$$

(6)、(9)より一次元の拡散方程式が求まる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \dots\dots\dots (10)$$

下図のような例に拡散方程式を適用してみる。

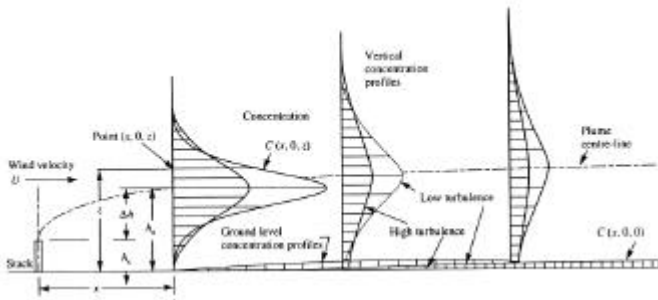


図 16 拡散モデル<sup>[12]</sup>

拡散方程式を  $y$  方向について解くと次のようになる。

$$G_y = \frac{1}{\sqrt{2p d_y}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y}{d_y} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (11)$$

$z$  方向についても同様に

$$G_z = \frac{1}{\sqrt{2p d_z}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{z}{d_z} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (12)$$

したがって  $(x, y, z)$  地点での濃度  $C(x, y, z)$  は次のようになる。

$$C(x, y, z) = G_y \cdot G_z \\ = \frac{Q}{2p d_y d_z U} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y}{d_y} \right)^2 \right] \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{z}{d_z} \right)^2 \right] \dots\dots (13)$$

Plume center line を拡散の中心線とすると、濃度

$C(x, y, z)$  は次のようになる。

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2p d_y d_z U} \\ \times \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y}{d_y} \right)^2 \right] \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{z-H}{d_z} \right)^2 \right] \dots\dots (14)$$

地上に達した煙は下図のように反射するものとする  
と、濃度  $C(x, y, z)$  は(15)式のように表せる。

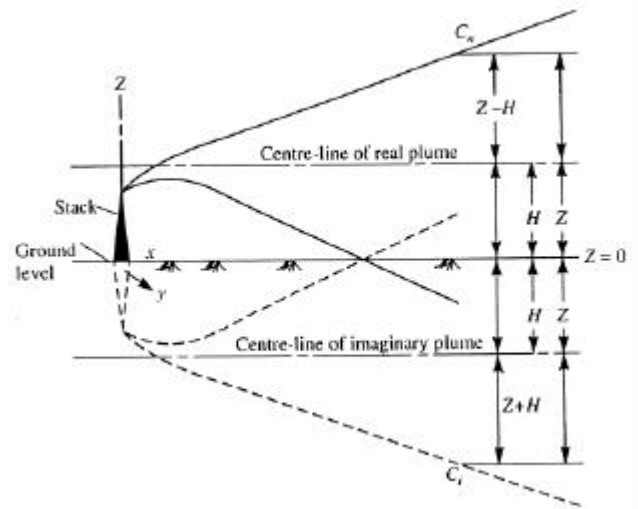


図 17 煙の反射<sup>[12]</sup>

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2p d_y d_z U} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y}{d_y} \right)^2 \right] \\ \times \left\{ \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{z-H}{d_z} \right)^2 \right] + \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{z+H}{d_z} \right)^2 \right] \right\} \dots\dots (15)$$

地上での濃度は  $z = 0$  の場合なので

$$C(x, y, 0) = \frac{Q}{p d_y d_z U} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y}{d_y} \right)^2 \right] \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{H}{d_z} \right)^2 \right] \dots\dots (16)$$

今、 $y = 0$  の場合だけ考えるものとする

$$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{p d_y d_z U} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{H}{d_z} \right)^2 \right] \dots\dots (17)$$

この(17)式を使って、以下に示す問題を解くことにする。

次に煙が上昇する距離  $\Delta H$  を求めるための式を示す。

• **Holland equation**

$$\Delta H = \frac{2V_s r_s}{U} \left[ 1.5 + 2.68 \times 10^{-2} P \left( \frac{T_s - T_a}{T_s} \right) 2r_s \right] \dots (18)$$

- $V_s$  : stack exit velocity (m/s)
- $P$  : atmospheric pressure (kPa)
- $r_s$  : stack tip radius (m)
- $T_s$  : stack temperature (K)
- $U$  : wind speed (m/s)
- $T_a$  : air temperature (K)

• **Briggs equation**

For  $x < x_f$

$$\Delta H = \frac{1.6F^{1/3} x_f^{2/3}}{U} \dots (19)$$

$$F = gV_s r_s^2 \frac{(T_s - T_a)}{T_s}$$

$$x_f = \begin{cases} 2.16F^{0.4} H_s^{0.6} & H_s < 305m \\ 674^{0.4} & H_s > 305m \end{cases}$$

- $x_f$  : downwind distance to final plume (m)
- $U$  : wind speed at stack tip (m/s)
- $F$  : buoyancy flux parameter

For  $x > x_f$

$$\Delta H = \frac{1.6F^{1/3} x_f^{2/3}}{U} \left[ 0.4 + 0.64 \frac{x}{x_f} + 2.2 \left( \frac{x}{x_f} \right)^2 \right] \left( 1 + 0.8 \frac{x}{x_f} \right)^{-2} \dots (20)$$

For fossil fuel power with heat emission  
> 20MW

$$\Delta H = \begin{cases} \frac{1.6F^{1/3} x_f^{2/3}}{U} & x < 10H_s \\ \frac{1.6F^{1/3} (10H_s)^{2/3}}{U} & x > 10H_s \end{cases} \dots (21)$$

For 'stable' condition (E-F)

$$\Delta H = 2.4 \left( \frac{F}{US} \right)^{1/3} \dots (22)$$

$$S = \frac{g}{T_a} = \left( \frac{\Delta T_a}{\Delta Z} + 0.01^\circ C/m \right)$$

$d_y, d_z$  は  $x$  によって決まる係数で、以下に示す 2 つのグラフ (図 19, 20) から求める。

3.4.2 模擬プラントによる算出結果

3.3.3 と同じ模擬プラントに拡散方程式を適用した結果を以下に示す。

$C_{18}$  の右下の添え字は  $\Delta H$  の算出に用いた式番号である。

表 8 算出結果

$x$ (km)	$d_y$ (m)	$d_z$ (m)	$C_{18}$ (ppm)	$C_{20}$ (ppm)	$C_{21}$ (ppm)
1	75	33	$6.44 \times 10^{-30}$	$9.91 \times 10^{-55}$	$3.56 \times 10^{-39}$
10	580	150	0.0170	$1.61 \times 10^{-9}$	$4.81 \times 10^{-6}$
100	3800	450	0.0176	0.00183	0.00712

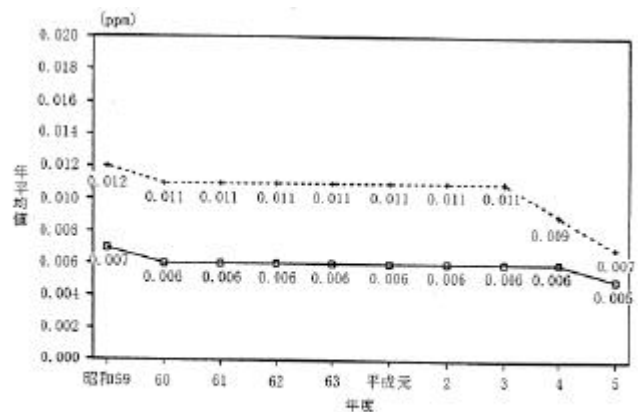
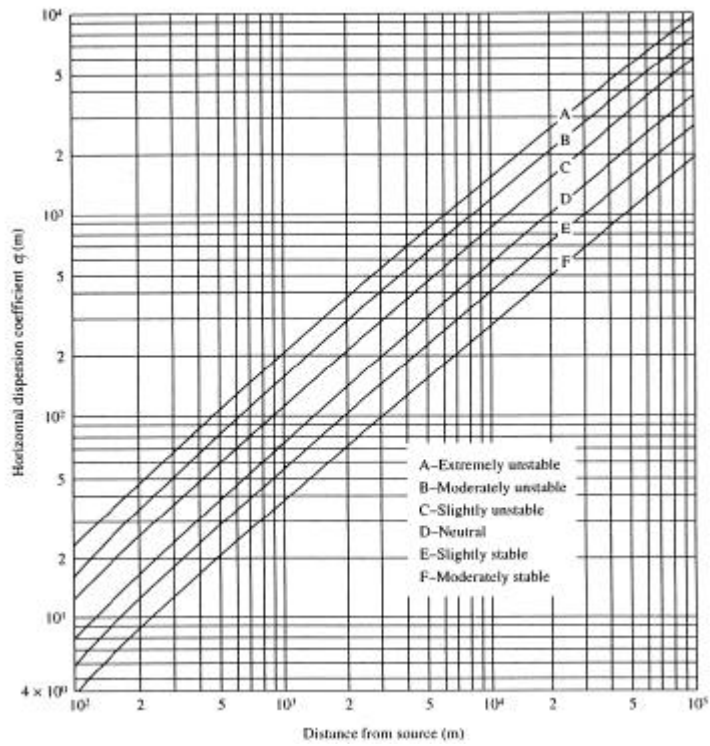


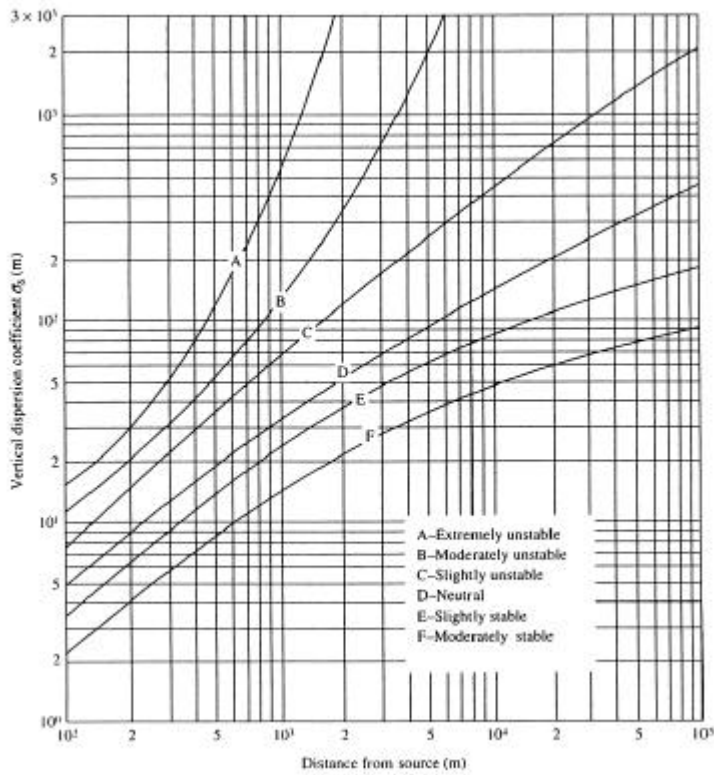
図 18 二酸化硫黄年平均値の経年変化  
(参考) 昭和40年度以降 (自排局は昭和48年度以降) の継続測定期 (局名はp.21の表-3を参照) の年平均値の推移

図 18 二酸化硫黄年平均値の経年変化





☒ 19 Pasquill-Gifford curves:  $\sigma_y$ <sup>[12]</sup>



☒ 20 Pasquill-Gifford curves:  $\sigma_z$ <sup>[12]</sup>

$C_{18}$  の値は日本の二酸化硫黄の年平均値を越えているが、 $C_{20}$  の値は年平均値を下回っている結果になった。この平成 5 年の平均値よりも濃度が低い場合は、人間に対する影響は少ないと考えられるが、 $C_{18}$  のように年平均値を超える場合は、人体に何らかの影響を与える危険性がある。したがって  $C_{18}$  のように明らかに大きな値を持つ場合は脱硫装置をつけるなどの対策が必要である。また、 $C_{20}$  の算出に用いた 20 式には浮力による影響が考慮されているが、この式は煙突からあまり離れていない場所では有効であるが、遠く離れた場所に適用するにはあまり望ましくないと考えられる。浮力の算出に用いた式は、煙の初期温度による影響が大きく、この温度が大気温度よりも大きければ大きいほど浮力は大きくなっている。しかし、煙は進行するに従って大気温度に近づいていくため、遠く離れていくと 20 式の浮力の項はほぼ 0 に近づき、結果として  $\Delta H$  は元の値より小さな値になる。このことを考慮すると、 $C_{20}$  の 10km、100km 地点での濃度はもっと大きくなるものと思われる。以上のことから、 $\Delta H$  を求めるには、場所ごとにどの式を適用すればよいかということをも十分検討する必要があると言える。

### 3.5 まとめ

(1) 実際の火力発電所を模擬したプラントを想定し、硫酸酸化物に関する汚染を Detector と Receptor の観点から実際に計算してみたが、現在の脱硫装置を用いればどちらの観点においても問題がないということがわかった。(2) 煙の上昇距離の式が何通りか考えられるため、それぞれの式の信用性も考慮するべきであろう。

### 3.6 今後の課題

(1) 今回はある程度求めやすいといわれている硫酸酸化物に関して考えたが、もちろん  $\text{NO}_x$  や  $\text{CO}_2$  に対しても同じような観点から汚染を考える必要がある。(2) Receptor 側を考える場合、実際には硫酸酸化物が生態

系にどれほど蓄積されるかを測ること、またそれにより生態系にどのような影響が発生しているかを考慮に入れること(リスク評価)が必要である。しかし、硫酸酸化物に関しては、どこまでがある工場による影響かという判断が難しいことや、データの整備が不十分であることなどからリスク評価を行うことができなかった。

そこで、リスク評価の簡単な例として癌リスク増分を取り上げる。癌のリスク増分は、以下の式により定義される。

$$\text{癌リスク増分} = \text{ADD} \times \text{SF} \quad \dots \dots \dots (23)$$

ADD : 日平均暴露量または慢性的な日平均摂取量  
SF : 勾配係数

ここで、暴露量または摂取量は通常体重を考慮に入れて考える。よって、以下のような式が定義されている。

$$\text{体重あたりの一日平均摂取量} \quad \dots \dots \dots (24) \\ = C \times \text{CR} \times \text{EF} / \text{BW} \times \text{ED} / \text{AT}$$

C : 媒体の化学的または汚染濃度[mg/L など]  
CR : 単位時間または単位事象あたりの接触量 [L/day,mg/day]  
EF : 暴露頻度[days/year]  
ED : 暴露期間[years]  
BW : 体重[kg]  
AT : 平均時間[days] ( 70[years]×365[days/year] )

以上の式から実際にリスクを評価する簡単な例として、以下のような設定を考える。

飲料水中の発癌物質からの癌リスクを評価する。住民が 10  $\mu\text{g/L}$  のトリクロロエチレンが含まれている飲料水を毎日 2 リットル、年平均 350 日、30 年間にわたり摂取し続けると、それによる癌リスクはどれだけか。それは安全か？

まず、暴露係数のデフォルト値として用意されている体重 70kg、寿命 70 年を用いると、日平均摂取量 (CDI) は式 (24) より、

$$\begin{aligned}
 CDI &= 0.01[\text{mg} / \text{L}] \times 2[\text{L} / \text{day}] \times 350[\text{days} / \text{years}] \times 30[\text{years}] \\
 &\quad / (70[\text{kg}] \times 70[\text{years}] \times 365[\text{days} / \text{year}]) \\
 &= 1.2 \times 10^{-4} [\text{mg} / \text{kg} \cdot \text{day}]
 \end{aligned}$$

よって、癌リスクの増加は式(23)より、

$$\begin{aligned}
 \text{癌リスクの増加} &= CDI \times SF \\
 &= 1.2 \times 10^{-4} \times 1.1 \times 10^{-2} \\
 &= 1.3 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

となる。癌リスクとして100万分の1程度の増加は受け入れ可能な範囲であろう。つまり、安全であると判断される。

前述の理由により、このようなリスク評価を硫酸化物に関して行うことができず、これが今後の課題である。

また、今回のリスク評価に関するすべての式、データなどはアメリカのものを用いた。なぜなら日本ではまだリスク評価のデータ整備が行われていないからである。今後、日本でも早急にデータの整備を行い、硫酸化物に関してもリスク評価による考察、またそれに伴う規制を行っていくなどの対策が必要であろう。

#### [ 参考文献 ]

- [ 1 ] 天然ガス政策の在り方に関する報告書；経済産業省
- [ 2 ] エネルギーセキュリティーワーキンググループ報告書；経済産業省
- [ 3 ] 今後のエネルギー政策について；経済産業省
- [ 4 ] 東京電力 WEB サイト；東京電力
- [ 5 ] [ エネルギー・21世紀の選択 ] 液化天然ガス；読売新聞
- [ 5 ] 考えよう、日本のエネルギー；資源エネルギー庁
- [ 6 ] 地球と人とエネルギー；東京電力
- [ 7 ] 環境とエネルギー；電気事業連合会
- [ 8 ] 地球の資源ウソ・ホント；井田徹治，講談社
- [ 9 ] 私たちのエネルギー；内山洋司，培風館
- [ 10 ] アジアにおけるエネルギー協力と日本の課題；武石礼司
- [ 11 ] 環境工学概論；福田基一他共著，培風館

[ 12 ] ENVIRONMENTAL ENGINEERING; Gerard Kiely, McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS