

石炭利用と環境調和

Coal Utilization with Environment Protection

張 戦国*・富田 彰**

Zhan-Guo Zhang Akira Tomita

1. はじめに

人間社会とのつき合いの長い石炭はかつての産業革命を支えたエネルギーの主役であった。流体革命によりその王座を石油に譲ったが、2回の石油危機を経て、世界的に石油代替エネルギーとして石炭の重要性が再認識されている。新たな利用技術の開発が進められ、さらに、石炭利用拡大を図る各国の積極的努力も加え、その後の石炭の消費量は、穏やかであるが着実に拡大されてきており、現在、世界エネルギー消費の約3割をまかなっている。今後、人口の増加と経済の発展に伴い、発展途上国を中心とする石炭需要の大幅な伸びが見込まれている。

しかしながら、石炭の利用に伴うSO_x、NO_x、煤塵の大量放出により、酸性雨や光化学スモッグなどの環境問題が益々深刻になる不安がある。さらに、不可避であるCO₂の大量放出による地球温暖化が懸念されている。石炭の利用と環境の調和をどう図るかが非常に重要な問題となっている。これらを念頭に置き、本稿では石炭利用に伴う環境汚染の発生とその防止策について概説する。

2. 石炭中の環境汚染物質とその排出抑制

石炭にはあらゆる元素が含まれていると言われている。石炭をエネルギー源として利用する場合、炭素と水素以外の残り全ての元素は石炭利用の障害物になる場合もあるし、多くの元素は環境汚染の元ともなる。石炭の利用と環境の調和を図るにはまずこれらのものによる環境問題を考慮しなければならない。

2.1 硫黄

石炭中のイオウは無機イオウと有機イオウに大別される。無機イオウは主に硫化物と硫酸塩の形で存在し

ており、その中で最も多いものは黄鉄鉱(FeS₂)である。一方、有機イオウはチオール類、サルフィド類、チオフェン類などとして石炭のマトリックスに結合している。石炭のイオウ含有量は炭種によりかなり異なるが、現在使用されている石炭の大部分には0.5~3%ぐらいのイオウが含まれている。これらのイオウは石炭のガス化や燃焼により、気体となるかあるいは灰に取り込まれるかして排出される。気体となるイオウの放出形態は石炭熱処理時の雰囲気依存する。単なる熱分解やガス化においては、H₂SとCOSが主なイオウ生成物となる。一方、燃焼の場合には、SO₂として大気に放出される。いずれの形で排出されるにせよ、脱硫処置をしない限り環境に大きな被害を与える。

石炭の脱流は、事前脱硫、炉内脱硫と排煙脱硫に分けられる。

事前脱硫としては、浮選法や磁気分離法などの物理的方法以外に、アルカリ系などの溶媒処理脱硫、水素化熱分解脱硫などの化学的方法、微生物脱硫の生物的方法も試みられている。これらは物理的手法で除去できない有機イオウや石炭のマトリックスに入り込んだ微細無機イオウ化合物をさらに除去することを目的としている。ここでは化学的脱硫法を中心に紹介する。まず、化学溶媒処理脱硫法の代表的なものを表1にまとめた¹⁾。高い脱硫率、特に高いパイライト除去率が得られることが特徴である。しかし、実際には酸化や溶媒抽出などによる炭素損失、塩素の混入、そして化学薬品の使用によるコスト増などの問題があるので、実用化に向けた開発研究はあまり進んでいないのが現状である。現在、パイロットスケールまで進んでいるのが、アルカリ浸出法を用いたTRW GravimeltプロセスとCSIROプロセスである。後者の場合、やや温和な反応条件で効率よく同時脱灰もできるので、クリーンコールの製造法として有望視されている。

一方、これらの化学溶媒処理法に対し、水素化熱分解脱硫は石炭中の有機イオウの除去を主な目的として

*東北大学反応化学研究所助手

** " " 教授

〒980 仙台市青葉区片平2-1-1

表1 化学溶媒処理脱硫法

方式	溶媒	温度℃	脱硫率
アルカリ浸出法	KOH, NaOH, Ca(OH) ₂ などの溶液またはその混合液	210~415	黄鉄鉱硫黄 90% 以上、有機硫黄最大 50%
湿式酸化法	O ₂ または空気、酸性溶液	130~200	黄鉄鉱硫黄 90~95%、有機硫黄最大 40%
	O ₂ , アルカリ溶液	150	黄鉄鉱硫黄 80~90%、有機硫黄最大 50%
	O ₂ , Fe-錯体溶媒	120	黄鉄鉱硫黄 80% 以上
	O ₂ , NH ₃ 溶液	130	黄鉄鉱硫黄 90% 以上、有機硫黄最大 40%
塩素化分解法	有機溶媒	120	黄鉄鉱硫黄最大 92%、有機硫黄最大 72%
マイクロ波照射法	NaOH 溶液	—	全硫黄 70~90%
ガンマ線照射法	H ₂ SO ₄ 溶液	—	全硫黄 50~70%

表2 種々の排煙脱硫方式

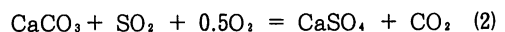
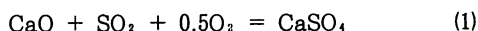
方式	吸収剤または吸着剤	回収物	脱硫率	実施例
再生式	NaOH または Na ₂ SO ₃ 水溶液	SO ₂ , S	90~98%	多
	Mg(OH) ₂ スラリー	H ₂ SO ₄	92%	
	CaCO ₃ または Ca(OH) ₂ スラリー	石こう	80~95%	
湿式	NH ₃ 水溶液	(NH ₄) ₂ SO ₄	—	多
	二元アルカリ水溶液	石こうなど	85~95%	
	NaCO ₃ 水溶液	—	74~95%	
	海水	—	85%	
乾式	再生式 活性炭	H ₂ SO ₄	95%	少
	非再生式 CaCO ₃ または Ca(OH) ₂	石こう	50~70%	多

いるが、チオフェン類は熱的に安定で1000℃以上でないと、除去できない。水素を存在させると、強い還元力により有機硫黄が容易にH₂Sまで還元される。特に反応圧力を高めることにより脱硫率を向上させることができる。30atmの水素圧力下で500℃までの昇温実験では、80%の有機イオウが除去される²⁾。

さらに、微生物の活動を利用した脱硫法では、微生物の持つ酸化作用により石炭中のイオウ、とくにパイライトイオウをSO₄²⁻まで酸化させて除去することができる。化学的脱硫に比べ、微生物脱硫は低い反応温度で行われ、かつ炭素の損失を伴わないという特徴を持っているので、かなり魅力的方法である。脱硫率は微生物の種類により異なるが、最高で90%のパイライト除去率が得られている³⁾。しかし、反応に数日から数十日を要する点は問題である。短時間の接触によってパイライトの表面だけを改質し、浮選によって脱硫する方法が、微生物脱硫の特徴を生かし、しかも所要時間を格段に短縮させるものとして期待される。

炉内脱硫は、燃焼あるいはガス化炉内に石灰石(CaCO₃)あるいはドロマイト(MaCO₃・CaCO₃)を直接吹き込み、炉内でSO_x、H₂Sを除去する方法

である。燃焼炉に石灰石を投入した場合、以下の式(1)あるいは式(2)の反応で脱硫が行われる。



どちらの反応が主に起るかは反応温度とその時のCO₂分圧により決まる。実際の商業ベースの加圧流動層(850℃, 1.2MPa)の場合、(2)の反応が支配的に起ると言われている。この場合、90%以上の脱硫率が達成できるが、多量の脱硫剤(Ca/S=2~4ぐらい)が必要となる⁴⁾。これは排出灰の再処理の負荷を増加させるばかりである。コストの削減という面から、Ca/Sを化学量論比(Ca/S=1)に低下させることが要求される。イオン交換法を用いて石炭に微分散Caを担持させることによりこの目標の達成が可能である⁵⁾とされている。脱硫剤を多量の石炭に安価して担持させることがこの技術のキーポイントである。

一方、ガス化においては石炭中のイオウは主にH₂Sに転換される。H₂Sと石灰石あるいはCaOとの反応による炉内脱硫も可能である。この時、生成物はCaSとなる。CaSは酸化により、CaSO₄に転換してから排出することにより、CaSの浸出による土壌や地下水

の汚染が避けられる。

炉内脱硫に比べ、排煙脱硫はすでに確立された技術といえる。現在実用化されているものを表2にまとめた⁶⁾。中でも、非再生湿式脱硫法は、高いイオウ含有量の炭種にも適用でき、かつ90%以上の高脱硫率が得られるので、最も好ましい脱硫法として1986年ごろから急に普及した。

2.2 窒素

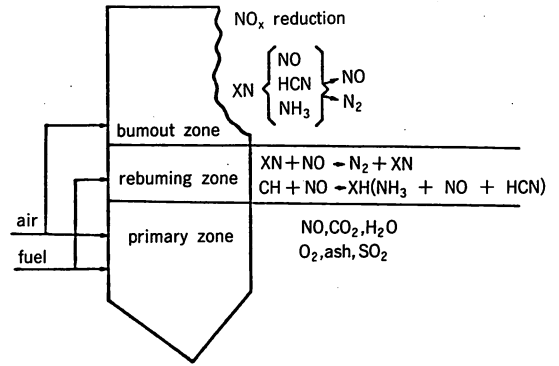
石炭燃焼法から発生するNO_xは主にNOとNO₂からなり、この内NOは90%以上を占める。空気中のN₂から生成するサーマルNOと、石炭中のN分から生成するフューエルNOに分類される。サーマルNOは主に1300℃以上の温度で空気中の窒素と酸素との反応により生成し、その生成速度は酸素の濃度に比例する。微粉炭燃焼や噴流層燃焼などの高温燃焼においてはこのようなサーマルNOの生成が支配的である。一方、フューエルNOは主に石炭中の窒素含有量に依存する。

石炭中の窒素含有量は一般に0.5~2.0%であり、大部分は芳香環に存在している。石炭の熱分解により、その一部は揮発分として気相に放出されると同時に酸化され、NOを生成する。残りはチャーの燃焼時にNOを生成する。NOの生成速度は酸素の分圧、温度のほか、窒素含有量や揮発分の割合などの石炭の性質に依存する。

石炭の燃焼によりN₂Oも生成する。その生成速度は、酸素濃度が3%以上になると、殆ど酸素濃度と無関係になる。生成量もNO_xと比べてかなり少なく、流動層燃焼のような低温燃焼場合によく生成するが、最大でも200ppmv程度である。しかし、N₂Oは非常に安定でオゾン層まで拡散していきオゾン破壊の連鎖反応を引き起こし、僅かの量でも大きな影響をもたらす。

NO_x、特にNOの生成は石炭燃焼時の温度と酸素濃度に依存するので、燃焼法の改善により局部的にNOを生成しにくい環境、あるいはすでに生成したNOが還元できるような環境を作って、NOの生成を抑制することができる。このような原理に基づく低NO_xバーナーはすでに実用化され、NO_x排出の削減に大きく貢献している。また、近年開発された二段燃焼法や石炭二段吹き込み法など⁷⁾もこのような発想から生まれたものである。

二段燃焼法は、一段目で空気を減らし石炭過剰燃焼を行わせ、二段目で空気を新たに吹き込んで石炭希薄燃焼を行わせる方式である。同じ空気量を使用しても、



(出典：IEACR/24, 1990)

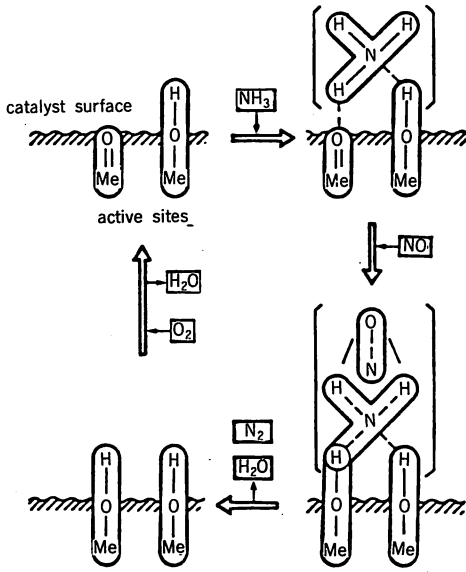
図-1 燃料二段吹き込み法の原理

このような二段燃焼法により最高温度が低く押えられ、サーマルNOの生成が抑制される。さらに、一段目の石炭過剰燃焼条件下でフューエル窒素が大部分N₂に転換するため、フューエルNOの生成も抑制される。従来の一段燃焼と比べ、この方法により4割のNO_xが削減できる。

一方、石炭二段吹き込み燃焼法は、燃焼炉内に微粉炭を吹き込んで炭化水素ラジカルを局部的に生成させることですでに生成したNOを還元する方法である。この方法では石炭の燃焼が3つのゾーンに分けて行われている。その概念図とNO_x還元の仕事を図-1に示す⁷⁾。各ゾーンの燃料と空気の比、特に還元領域と呼ばれている第二ゾーンと完全燃焼領域の第三ゾーンの燃料と空気の比、そしてその生成物の滞留時間を厳密に制御し、最適な燃焼条件を作り出すことが必要となる。さらに低NO_xバーナーを併用することにより、最終的なNO_xを50ppm程度まで低下できると報告されている。

石炭の燃焼法の改善によるNO_xの削減は限界があるので、さらにNO_xの除去率を上げるためには、排煙脱硫が必要となる。現在研究開発されている排煙脱硫法はほとんど乾式である。選択接触還元法、選択無触媒還元法、同時脱硫脱硝法がすでに実用化されている。

選択接触還元法は、排煙ガスにNH₃を吹き込んで触媒の上でNO_xを無害のN₂に選択的に還元させるもので、NH₃とSO₂の反応を伴わない。触媒反応機構を図-2に示す⁷⁾。最適温度条件は触媒により異なり、現在主に使用されている触媒とその反応温度は以下の通りである。酸化チタン、200~400℃；ゼオライト、



(出典：IEACR/24, 1990)

図-2 触媒によるNO_xの還元

300～430℃；酸化鉄，380～430℃。いずれの場合でも、平均80%前後の高NO_x還元率が得られる。

一方、選択無触媒脱硝法は高価な触媒を使わず、NH₃や尿素などの還元剤により、熱的な反応だけでNO_xの直接還元を図る方法である。高い反応温度（900～1100℃）が要求されるので、流動層炉内あるいはその出口の所に還元剤を吹き込むのが普通である。接触脱硝法と比べ、脱硝率が低く、最大でも50%程度である。

活性コークスを用いた同時脱硫脱硝法は高い脱硫率と脱硝率が同時に得られ、非常に魅力的であるが、プロセスの複雑さと高い設備投資、運転費のため、なかなか普及しないのが現状である。

2.3 塩素とフッ素⁸⁾

SO_xとNO_x以外に、酸性雨の原因物質となる酸性ガスとしてHClとHFがある。石炭燃焼からのHClとHFの放出はSO_xとNO_xと比べて量的に少ないが、水滴に溶けやすく、とくに局部的環境に与える悪影響は決して小さくない。

一般に石炭には50～2000ppmの塩素が含まれており、主にイオンの形で石炭の細孔中の水分に溶け込んでいると言われている。石灰を燃焼させると、これらの塩素はほぼ全部HClとなり放出される。

HClとHFの排出に対して現段階ではまだSO_xとNO_xのような特別の削減対応策を取ることなく、炉内脱硫や排煙脱硫などのイオン除去プロセスにおいて除去さ

れるだけである。石灰石を炉内に直接に吹き込んで脱硫を行わせる場合には、CaOがHClとHFと反応してCaCl₂とCaF₂となる。また、CaOをベースとしている排煙脱硫プロセスにおいても同じようなHClとHFの除去が考えられる。湿式脱硫の場合、大部分のHClとHFはまず水溶液に溶け込むことで除去される。

2.4 鉱物質

一般に石炭には数%～数十%の鉱物質が含まれている。これらの鉱物質に起因する環境問題として二種類が考えられる。一つは微粉炭燃焼時に生成するフライアッシュの放出による大気汚染である。もう一つは回収された石炭灰の処理に伴う環境の二次汚染である。それ以外に多量に発生する灰の処理にかかるコストや灰埋立地の確保も深刻な問題となっている。

鉱物質に由来するこれらの問題に対しては、これまでいろいろな角度からその対策が講じられてきた。まず、電気集塵器をはじめとする種々の微粒子捕集装置の設置などによるフライアッシュの排出削減が挙げられる。現在、これらの捕集装置あるいはそれらの組み合わせにより99%以上のフライアッシュを除去することが可能となっている⁹⁾。放出されるのは非常に小さい微小粒子、いわゆるサブミクロン粒子ぐらいである。これは質量にすればほんの僅かであるが、その中に有害微量元素が濃縮され、また石炭の燃焼により発生した発癌性のPAHがその表面に付着されやすいので、このサブミクロン粒子の放出も抑制することが望まれる。

石炭灰の対策としては、セメント原料やコンクリートの混合剤などとして再利用することにより、灰埋め立て量の低減および灰処理に起因する環境の二次汚染の緩和が図られている。現在のわが国においては石炭灰の40～50%がすでに活用されている。その利用にあたっては、灰の品質が重要なポイントとなっている。しかし、灰の形状、組成、性質は原炭中の鉱物質だけではなく、石炭の燃焼法と燃焼条件にも依存するので、均一で高品質の灰を得るのは非常に困難なことである。

以上の二つの方法は、いずれも石炭中の鉱物質が石炭の燃焼に伴って何らかの形に転換されてからその対応策を考えるという方法である。これに対して、山元あるいは炭鉱の近くで石炭中の鉱物質を取り除き、炭鉱に埋めもどすことにより鉱物質に起因する環境汚染をあらかじめ防ぐことも考えられる。石炭中の鉱物質を除去する方法としては、鉱物質と石炭粒子との比重の差や表面性質の差を利用して分離する物理的方法

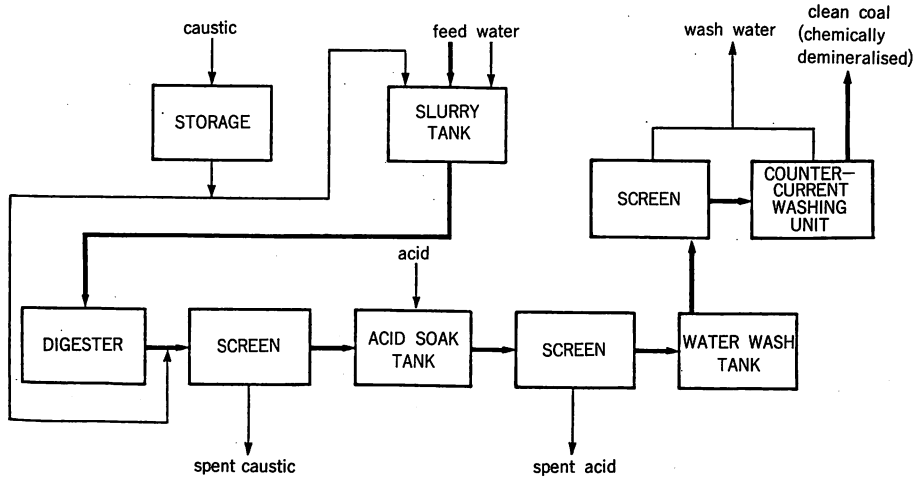


図-3 オーストラリアの脱灰プロセス (出典: IEACR/44, 1991)

と、ほとんどの鉱物質が酸やアルカリ溶液に溶ける性質を利用した化学的脱灰法がある。石炭化の進行過程で外部から入り込んだ二次的鉱物質に対しては、粉碎することによってそれを石炭から単体分離させ、浮選や湿式造粒などの物理法で除去することが可能である。石炭を細かく粉碎すればするほど、鉱物質の分離がしやすく脱灰率が上がるが、粉碎に要するエネルギーも大きくなる。また、石炭の根源物質となる植物自身から由来した固有鉱物質は、石炭質と一体となっているため、炭素質からの分離が容易でなく物理的手法だけでは限界がある。石炭の完全脱灰をめざしてこれまで数多くの化学的手法が試みられた。前にも述べたCSIROのアルカリ浸出脱灰プロセス¹⁾(図-3)は、重液サイクロンによる物理的分離法を併用することにより、比較的短い反応時間、かつ温和な条件下で12%の灰分を0.6%まで低減することができ、ウルトラクリーン石炭の製造が可能であるとしている。

2.5 有害微量元素(含放射線元素)⁹⁾

石炭には微量であるが有害元素も含まれている。その中では、As, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Niなどがかなり強い毒性を有し、ある程度の濃度になると、人間や動物、そして環境に大きい被害を与える。放射線元素(U, Thなど)もある程度の量になると同じような問題を起すことになる。

鉱物質の主要成分Si, Al, Feなどに比べ、これらの元素は含有量が格段に少なく、一般にppmのオーダーである。それは主に無機物の形で存在しているが、Cr, Cu, Pb, Uなどのように無機物、有機物両方の形態で存在するものもある。無機物として存在するも

のは脱灰することによりある程度まで低減されるが、残りは有機物に結合しているものとともに石炭の燃焼に伴って排出される。

燃焼時の挙動から見ると、有害元素は以下の三種類に分けられる。高温でも揮発性が低く、燃焼後はほとんどボトムアッシュに残るもの(Th, Ni, Be, U, Cr)、高温で気化した後再び凝縮して微小粒子に付着するもの(As, Cd, Cu, Pb, Ni, Be)、および凝縮することなく気体のまま放出されるもの(Hg)である。ボトムアッシュに取り込まれている有害元素の管理は灰処理プロセスに依存することになるが、微小粒子に濃縮されたもの、および気体状の有害元素に関しては、現在のところ脱塵と脱硫脱硝による除去を行っているだけである。多くの場合、煙突からの微量有害元素の放出はその濃度がかなり低く、現在の分析法では限界がある。今後、微量元素排出の抑制策を考える時、放出量を正確に把握することがまず必要となる。

3. CO₂放出への対応策

石炭をエネルギー源として使う限りはCO₂の放出は必然といえる。石炭の利用により放出されたCO₂の量は、炭素換算で現在年間25億トンにも上ると言われている。この莫大なCO₂の排出は地球の温暖化にどの程度寄与しているかについては現時点ではまだ十分に分かっていないが、地球温暖化に対するCO₂の寄与度は50%以上であり¹⁰⁾、最大の問題物質となっているのは確かである。石炭を使わざるを得ないとすると、石炭からのCO₂放出の抑制策として、排出ガスからCO₂を分離して回収することおよび石炭のより効率的利用

によってその使用量、そしてCO₂の排出量の低減を図ることが考えられる。

3.1 CO₂の分離、回収

石炭の利用によるCO₂の放出は主に発電所、製鉄所、そしてセメント工場などの固定源から発生している。これらの大量固定発生源からのCO₂の分離回収は既存の技術を用いることにより実行が可能である。すでに確立されているCO₂分離技術としては吸収法、吸着法、蒸留法、膜分離法がある。この中では、吸収法はCO₂回収率が高く、また装置のスケールメリットが容易に発揮されるので、現在のところ大量のCO₂分離回収法として最も有力視されている。

いずれの方法にしても石炭火力発電所などの大量発生源からCO₂の分離回収は技術的には可能である。コストの問題のほかに、回収した莫大なCO₂をどう処理するかという問題も大きい。現在のところでは、CO₂の循環使用法、生物、光合成によるCO₂の固定法、海洋投棄法などが提案されているが、技術的・経済的に確立されるまでには数多くの問題を克服しなければならない。

3.2 高効率の利用によるCO₂排出量の削減

石炭からのCO₂の発生を削減する最も効果的な方法は、石炭をより効率的に利用することである。石炭の約半分を消費している石炭火力発電所について言えば、その熱効率、つまり発電効率を向上させることが重要である。発電効率が高ければ高いほど、単位あたりの電力生産に要する石炭の量が少なくなり、CO₂の排出量も減る。図-4に発電効率とCO₂放出量との関係を示している。CO₂の発生の抑制に発電効率の向上が非常に有効であることがよくわかる。

発電効率の向上策としては、これまで主にタービン入口の蒸気条件を高温高圧化することにより試みられてきた。現在のわが国では、微粉炭火力において蒸気条件24MPa、538℃という超臨界圧が多く採用されており¹⁾、送電端効率が37%以上に達している。これは世界の発電効率の平均値より2割以上高くなっている。また、超々臨界圧蒸気条件(31MPa、593℃)の採用も考えられるが、その時の効率は42%前後と見込まれる。今後、さらに発電効率を高めるには、複合発電システムの開発が必要である。現在、研究開発が精力的に進められている複合発電方式には、石炭ガス化複合発電、加圧流動床燃焼複合サイクル発電、そして石炭ガス化燃料電池複合発電などが挙げられる。前者の二つの原理は基本的に同じである。両方もガスタービ

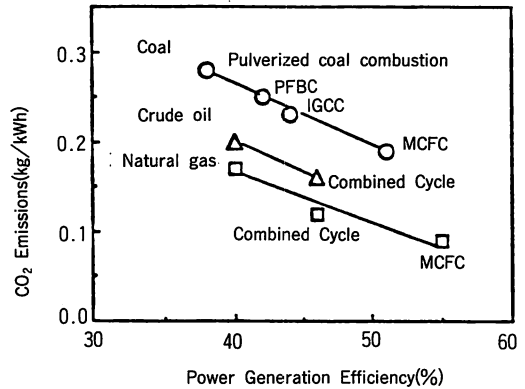


図-4 熱効率改善によるCO₂低減

ンと蒸気タービンを用いた複合サイクルにより発電が行われる。石炭ガス化複合発電の場合、ガス化炉からの燃料ガスをまず燃焼させ、ガスタービンを駆動してから、その排ガスで蒸気を発生させ、さらに蒸気タービンを駆動することによりエネルギーを取り出す。一方、加圧流動床燃焼による複合発電は、加圧流動床内で石炭の燃焼によりまず蒸気を発生させ、蒸気タービンを駆動して発電を行なう。その後、高圧の燃焼排ガスよりガスタービンを動かし動力を回収する。最大で46%の発電効率が見られると言われている。石炭ガス化燃料電池複合発電は、石炭のガス化で生成した燃料ガスのもつ化学エネルギーを燃焼させず燃料電池により直接電気エネルギーに変換するとともに、その排熱を利用し、ガスタービンおよび蒸気タービンを駆動して発電する組み合わせである。総合的な熱効率はさらに高く、発電端効率が50~60%にもなると期待されている。

4. 地球環境汚染の緩和と国際的技術協力

石炭利用に伴う汚染物質の放出、特にSO_x、NO_xなどの大気圏への放出は地域的、局部的環境に被害を与えるだけでなく、国境を越え、周辺諸国にも被害を与える。ヨーロッパの酸性雨問題はその例の一つである。さらに、CO₂をはじめとする温室効果ガスの放出も地球の温暖化を引き起こし、人類全体に大きな影響を与える可能性がある。従って、環境問題の解決を図るには、世界規模でものを考えることが必要である。

石炭利用による環境汚染は、とくに発展途上国における使用量に左右されると言える。世界の石炭使用量は1990年時点約35億トンとなっている。国別の石炭消

費量について見ると、一位は中国で、以下米国、旧ソ連順となっている。割合から見ると、上位3つの国に、インド、ポーランドなどの発展途上国を加えると、70%以上の石炭を消費している¹²⁾。わが国の3.5%前後の消費量に比べ、その大きさがよくわかる。今後、経済の発展とともに、特に石炭に依存する中国やポーランドなどの発展途上国においてその使用量はさらに拡大して行くであろう。このような状況下で、石炭利用に起因する地球環境汚染の緩和を求めるには、やはり石炭の多量消費国、特に中国など発展途上国に目を向け、力を注ぐべきである。

また、これらの国においては石炭を含めたエネルギーの利用効率が非常に低い。これは国民総生産額(GNP)に対する一次エネルギーの消費量から明らかである¹³⁾。1989年の時点では、先進国が1ドルのものを生産するのに必要なエネルギーが平均3,000kcal前後であるのに対して、中国、旧ソ連、ポーランドなどの国では、10,000kcal以上のエネルギー消費が必要とされる。これらの国のエネルギー消費効率を先進工業国並みに向上させることができれば、エネルギー消費の伸びが押えられ、それにより地球環境の汚染が大いに緩和されるであろう。さらに、石炭多量消費先進国であるアメリカについて見ても、1ドルの価値のものを作りだすのに3,000kcal以上のエネルギーが消費されており、わが国の1,200kcalに比べると、効率改善の余地があるといえる。

これらの国、特に発展途上国の石炭利用効率を上げるとともにSO_x、NO_xなどの放出を削減するには、既存あるいは新設石炭利用施設に関連した技術の移転が不可欠である。先進国、特に省エネルギーの優等生であるわが国からの協力が期待される。具体的には、ボイラーの効率向上、製鉄所の排熱回収などの省エネルギー技術および既存の石炭脱硫脱硝技術がまず考えられる。また、これらの国の実情に合った簡易でしか

も効率的な環境保全技術の開発も考えられる。それに、人材の派遣や共同研究の実行などのソフト面の協力も期待される。このような国際的技術協力によって今後の地球環境問題、特に石炭利用からの地球環境問題の解決に大きく貢献できると考えられる。

5. おわりに

CO₂ガス放出の問題を除けば、石炭利用に伴う環境汚染への基本的な対応策は技術的にすでに確立されていると言える。今後、これらの技術を石炭多量消費国、特に中国などの発展途上国に移転、普及させることと、国際的技術協力によりそれらの国の石炭利用効率を高めることは、CO₂ガスの放出を含めた石炭利用による地球環境汚染を緩和、さらに防止する決め手になると考えられる。

参考文献

- 1) G. R. Couch ; IEA Coal Research, No. 44 (1991), 67 ~73.
 - 2) T. Sugawara ; K. Sugawara and H. Ohashi ; Fuel, 67, 1263 (1988).
 - 3) J.L. Vernon and T. Jones ; IEA Coal Research, No. 57 (1993), 39~41.
 - 4) K. V. Thambimuthu ; IEA Coal Research, No. 53 (1993), 100~101.
 - 5) 宝田恭之 ; 日エネ誌, 72, 386 (1993).
 - 6) M. Takeshita and H. Soud ; IEA Coal Research, No. 58 (1993).
 - 7) A-K Hjalmarsson ; IEA Coal Research, No. 24 (1990).
 - 8) L. L. Sloss ; IEA Coal Research, No. 45 (1992).
 - 9) I. M. Smith ; IEA Coal Research, No. 01 (1987).
 - 10) I. M. Smith and K. V. Thambimuthu ; IEA Coal Research, No. 39 (1991), p. 17.
 - 11) 石森岐洋 ; 石炭利用技術第148委員会第45回研究会資料, 日本学術振興会, pp. 13~19.
 - 12) 世界国勢図会 (1993-94), 国勢社.
 - 13) 石炭技術総覧 (1993), 電力新報社.
- 註) 図-1・2・3はIEACRより転載許可を頂いています。