

環境対策の階層構成とベストミックス（その1）

（上流と下流の環境対策）

環境企画 主宰 松村 眞

本稿は化学装置 2012 年 4 月号に掲載された原稿を出版社の許可を得て転載するものである。

はじめに

エンジニアリング会社で環境技術部門を担当していた頃だが、ときどき新聞社や雑誌社からインタビューの申し入れがあった。記者の質問には会社の環境分野への方針に続いて、必ず「御社の環境分野の売上げは、どのくらいの比率でしょうか」というのがあった。アンケートへの協力依頼も多く、いつもこの質問が含まれていた。プラントや産業機械のメーカーだけでなく、耐久消費財のメーカーや商社も同じ質問を受けたことがあるはずである。この質問は簡単な表現で環境分野の事業規模を判断するのにまことに都合がよいだろう。だからこの質問をしたい気持ちはよくわかるし、環境問題に関心のある人なら誰でも知りたいことのひとつかもしれない。でも、この質問に答えるのには慎重な配慮が必要だった。というのも、小さい数字で答えると環境分野に熱心でない会社と書かれ、企業イメージを損なうおそれがあったからである。もう一つ注意しなければならないのは、環境分野の範囲が不明確なので、数字が容易に大きくも小さくもなるからである。環境装置とか環境技術も同様に、解釈の幅が非常に広い漠然とした概念ではないだろうか。

1. 環境分野の予防と治療

「環境装置」というのは、具体的に何を指しているだろう。たとえば自動車メーカーの場合を想像してみよう。まず思いつくのはマフラーである。マフラーはエンジンで発生する爆発音を消すための「処理」装置だからである。次に思いつくのはマフラーの前にある排ガス燃焼装置であろう。触媒が入っているこの装置が、排ガスに含まれている炭化水素と一酸化炭素を、害のない二酸化炭素と水蒸気に変える「処理」装置だからである。でもこれだけだろうか。最近は多くの車にコンピューターを利用した燃焼制御装置がついており、エンジンに送り込む空気の量を調節して窒素酸化物の発生を防いでいる。だから燃焼制御装置も環境装置に入るだろう。でも、この場合は発生する窒素酸化物を「処理」する

装置ではなく、発生を防ぐ「予防」装置である。住宅の場合も同様で、浄化槽は廃水を「処理」する環境装置だが、節水トイレは廃水の発生を少なくする「予防」装置である。工場の場合も排水処理設備や排ガス処理設備が汚染物質の「処理」装置である。一方、排熱を回収する熱交換器や水の再利用設備は、エネルギーや水の利用率を高め、汚染物質の発生を防ぐ「予防」の環境設備である。こうしてみると、環境対策には汚染物質の発生を防ぐ「予防」の分野と、発生する汚染物質を無害化処理する「治療」の分野があり、環境技術や環境装置にもこの2種類があることがわかる。

2. 環境対策の階層構成

ところで予防の分野は、さらに上流から下流に細分化することができる。最上流は耐久消費財や日用品の消費量を低減する需要の抑制である。以前に中国で環境行政の関係者と会ったとき、「中国の重要な環境対策は何ですか」という質問に、「一人っ子政策です」と言う答えが返ってきて驚いたことがある。自然保護や公害防止が環境対策なのは当然だが、その前に人口の増大を抑え、最終需要を抑制するのも環境対策と言うのである。日本でも製品の長寿命化やリサイクルが、この分野に相当するであろう。環境汚染物質の発生量自体を少なくするのもこの分野の対策である。二番目は燃料や原料のクリーン化である。日本はエネルギー源を石炭から煤塵の発生が少ない石油に、石油から硫黄酸化物の発生が少ないLNG（液化天然ガス）に転換して大気汚染を改善した。三番目は燃料や原料が利用者に届く前の段階で、含まれている環境汚染物質を除去する対策である。日本は製油所が石油から硫黄分を除去して、工場の石油ボイラーから発生する硫黄酸化物を低減した。四番目は、資源とエネルギーの利用率を高める省資源・省エネルギーである。資源の利用率を高めれば廃棄物の発生が少なくなり、水の循環再利用は廃水を少なくする。省エネルギーはボイラーや加熱炉の排ガスを少なくするから、大気汚染物質の発生を防ぐだけでなく、排ガス処理装置の規模を小さくする効果もある。

一方、治療の分野も上流から下流に細分化できる。治療の最上流対策は、汚染物質の発生者が自ら処理する発生源処理である。硫黄酸化物をボイラーの排煙から除去する排煙脱硫、粒子状物質を除去する集塵、窒素酸化物を分解する排煙脱硝が代表的な発生源処理である。廃水処理も固形物や有害物質の除去など、下水道に投入するまでの前処理が発生源処理である。ただし、下水道が整備されていない地域や、臨海立地の大規模な工場は、下流に集中処理施設がない。このため、前処理に続く生物処理や物理化学処理まで発生源で処理しなければならない。廃棄物処理も、毒性・爆発性・引火性物質など危険物の処理が発生源処理である。治療の二番目は中流対策で、下水処理や清掃工場の廃棄物焼却のように、環境負荷物質の輸送をとまなう集中処理である。具体的には下水処理場（最近の水再

生センターと呼ぶことが多い) の、生物処理や物理化学処理が該当する。工業団地の産業廃水共同処理や、産業廃棄物の集中処理もこの分野である。三番目は廃棄物の最終処分で、不燃ごみや焼却残さやの埋立て処分である。下流分野の四番目になる最下流対策は、不注意や環境意識の欠如のために汚染された土壌の浄化や、富栄養化した湖沼の環境修復である。容易に想像できるように、最下流の環境修復は上流対策に比べて非常に費用対効果が劣る。以上の予防と治療の対策を整理すると表 1 になる。

表 1. 環境対策の予防と治療

予防 対策	需要の抑制：製品の長寿命化、リユース、リサイクル、汚染物質の発生量低減など
	燃料・原料のクリーン化：LNG 転換、自然エネルギー利用、低硫黄石炭使用など
	燃料・原料からの汚染物質除去：燃料脱硫、石炭の洗炭など
	省資源・省燃料：省エネルギー、水の循環再使用、原料歩留まり向上など
治療 対策	発生源処理：排煙脱硫、集塵、排煙脱硝、脱臭、廃水中の固形分除去など
	集中処理：下水処理、産業排水共同処理、清掃工場焼却処理、産廃集中処理など
	最終処分：埋め立て処分
	汚染修復：汚染土壌修復、富栄養化湖沼の修復、砂漠の緑化、伐採地の植林など

3. 環境対策のベストミックス

前節で環境対策には次元の異なる予防と治療の分野があり、それぞれに上流から下流まで数段階の階層があることを述べた。では具体的な環境問題に対して、どの階層の対策が有効なのだろうか、またどの階層の対策が費用対効果に優れているのであろうか。環境問題といっても地球規模の環境問題もあれば、悪臭や騒音のように地域的な環境問題もある。大気や水質の環境問題もあるし、廃棄物も環境問題である。したがって問題ごとに、各階層の環境対策があるだろうが、本節では九つの地球環境問題を例に階層別の環境対策を考えてみる。

表 2 は地球環境問題を横軸に、環境対策の階層を縦軸に有効性を整理したものである。環境問題と環境対策の関連性を示すのが目的なので、厳密性に欠けるかもしれないが、わかりやすいマトリックス形式で示した。環境問題と環境対策は、それぞれ一対一でしか対応できないのではなく、一つの環境問題に複数の階層の異なる対策がある。たとえば地球の温暖化を抑制するには、製品の長寿命化やリユース・リサイクルも有効である。というのも、それだけ新製品の製造に必要なエネルギーが少なくて済むからで、最上流の対策といえよう。石炭や石油を、温室効果ガスの発生が少ない LNG に転換する二番目の上流対

策も、地球温暖化の抑制に大きな効果がある。日本では経団連が中心になって、温室効果ガスの発生を抑制する自主行動計画を推進している。この中で多くの業界団体が、石油からLNGへの転換を有力な対策として採用している。四番目の上流対策である省エネルギー対策も、エネルギー需要を抑制し、二酸化炭素の発生量を減らす上流分野の予防対策である。治療の分野になる下流の対策としては、ボイラーの排ガスから二酸化炭素を分離し、海底に貯蔵する方法が研究されている。しかし莫大なエネルギーと費用が必要になるので、筆者としては実現性に疑問があると考えている。このように地球温暖化には階層の異なる4分野が考えられるが、このうちの3分野が現実的で有益であろう。

次のオゾン層の破壊はどうだろうか。オゾン層の破壊はクロロフルオロカーボン（CFC）や、その他のフロン類に含まれる塩素が原因である。フロン類は沸点の低い気体だから、環境に放出されれば回収できないし、利用分野が広いので環境への放出を完全に防ぐこともできない。したがって予防は可能だが治療は不可能である。このため、対策としては製造も使用も禁止し、需要をなくす最上流の対策しか存在しない。では酸性雨の問題はどうか。酸性雨の原因は、化石燃料の燃焼排ガスに含まれている硫黄酸化物と窒素酸化物である。したがって予防分野の対策は、最上流の需要の抑制によるエネルギー使用量の低減、二番目の硫黄酸化物を含まない燃料への転換、三番目の燃料に含まれる硫黄分の除去が非常に有効である。四番目の省エネルギー対策は、同じ量のエネルギーをより少ない燃料で供給できるようにする。このため、燃料の削減量に比例して硫黄酸化物と窒素酸化物の発生が少なくなり、酸性雨の抑制に寄与する。一方、治療対策の分野では、硫黄を含む燃料を使用するボイラーの排煙脱硫が大きな役割を果たす。酸性雨の問題では、予防側の4分野と治療側の1分野が有効なのである。

次に熱帯林の減少はどうであろうか。熱帯林に限らず、人類はかつて存在した多くの森林を失い、ほとんど回復できていない。森林を元の状態に回復するには伐採を止め、植林したうえで、さらに数十年の歳月を要するであろう。したがって熱帯林の減少を防ぐ方法としては、予防の分野である最上流の需要の抑制が圧倒的に重要である。治療の分野としては最下流の植林が考えられるが、あまりに多くの手間と費用と期間が必要なので、多くを期待することができない。生物種の衰退も熱帯林の減少と同様に、採用できる選択肢は限られている。失われた生物種は回復の手段がないから、対策としては最上流の需要の抑制しか考えられない。この問題への対策は一つの分野しかないのである。

砂漠化の進行には自然環境の変化によるものと、家畜の過放牧など人為的な原因によるものがある。自然環境の変化に起因する砂漠化は防ぎようがないが、人為的な原因の場合は放牧の制限という予防対策で防ぐことができる。治療の分野では、最下流の対策として植林などの緑化事業が可能であろう。しかし多くの手間と時間がかかるのを避けられない。

海洋汚染は主に工場の廃水に含まれる有害物質と、油分、および廃棄物によるものなので発生源が非常に多い。このため、発生量自体を減らす効果的な予防策を考えにくく、工場や船舶の廃水処理と、陸上での廃棄物処理の徹底という下流分野の対策で防ぐしかない。有害廃棄物の移動に関しては、最終処分施設の整備という下流の選択肢しかないだろう。九番目の地球環境問題である新興国の公害を軽減するには、上流の予防分野も下流の治療分野も総動員して対処する必要がある。

表2. 地球環境問題と各階層の環境対策

地球環境問題 (右)		地球温暖化	オゾン層の破壊	酸性雨	熱帯林の減少	生物種の衰退	砂漠化の進行	海洋汚染	有害廃棄物移動	新興国の公害
環境対策分野 (下)										
◎：非常に有効										
○：有効										
△：疑問										
予防対策 ・ 上流	需要の抑制：製品の長寿命化、リユース、リサイクルなど	◎	◎	○	◎	◎	◎			○
	燃/原料のクリーン化：LNG転換、低硫黄石炭など	○		○						○
	燃/原料からの汚染物質除去：燃料脱硫、石炭の洗炭など			◎						◎
	省資源・省燃料：省エネルギー：歩留まり向上、水循環使用など	◎		○						◎
治療対策 ・ 下流	発生源処理：排煙脱硫、集塵、排煙脱硝など	△		◎						◎
	集中処理：下水処理、清掃工場焼却など							◎		◎
	最終処分：埋め立て処分安定型/管理型など							○	◎	◎
	汚染修復：汚染土壌修復、砂漠の緑化など				△		○			○

以上のように一つの環境問題に、次元の異なる複数分野の対策があるのだが、次のような特徴がある。

- (1) 環境問題によって有効な対策の次元が異なる。たとえば地球温暖化の対策は、上流分野の予防対策が大きな役割を果たす。砂漠化の進行や生物種の衰退を防ぐには、最上流の予防対策以外に効果的な方法がない。新興国の公害問題に対しては、予防も治療も含めて多くの階層の対策が必要であろう。
- (2) 環境問題の発生地域によって、採用可能な対策の階層が限定される場合がある。酸性雨が深刻で汚染物質の少ない天然ガスへの転換が望ましくても、パイプラインの敷設が困難なら採用できない。砂漠化の進行を防ごうにも、原因が地域の気象変化なら効果的な対策がない。
- (3) 同じ環境改善効果を得るにも、採用できる対策の階層によって、費用対効果に大きな違いがある。酸性雨を防ぐには燃料から硫黄分を除去する方法と、燃焼排ガスから硫酸酸化物を除去する方法があるが、費用も効果も大きく異なる。したがって環境問題の種類と地域に応じて、対策のベストミックスを採用するのが望ましい。
- (4) 上流分野の予防対策は、基本的に下流分野の治療対策より費用対効果が優れている。なぜなら、汚染物質は下流に行くほど拡散するから、処理が必要な排ガスや排水の容量が多くなり、装置規模が大きくなってしまふからである。先に述べた硫酸酸化物の場合、石油燃料から硫黄分を除去するには硫黄分が数パーセント(数万 ppm)の重油が対象になる。一方、この重油をボイラーで燃焼させると、硫酸酸化物が数百 ppmの燃焼排ガスになるから、排煙脱硫装置は重油脱硫装置の十数倍の大きさになってしまうのである。ただし石炭の場合は、有効な燃料脱硫技術が存在しないので排煙脱硫に頼らざるを得ない。

以降は(その2)に続く。