

特集

未利用エネルギー

未利用エネルギー活用の背景と展望

Overview of Efficient Utilization of Unused Energy

平田 賢*

Masaru Hirata

1. まえがき

痛みつつある地球を救うためには、今や、人類1人1人があらゆる可能性を模索して、自ら実行できることは何かを考え、出来ることから着手して行くべき段階であろう。溺れる者は藁をも掴むの例えの通り、溺れる前に藁を掴んでおく時期であると思う。効果が現れるまでに20年かかるだろうし、先進諸国がいくら努力しても、途上国が経済発展と共に先進国が辿ったエネルギー多消費の同じ途を辿るとすれば、大方の努力は水泡に帰してしまう。

未利用エネルギーの活用も数ある可能性の1つである。工場やゴミ焼却場の廃熱、下水処理水や海、河川水の保有する熱、変電所や高圧送電地中ケーブル、地下鉄廃熱など、従来見捨てられていた熱を、直接に、あるいはヒートポンプの熱源として利用することを考えようというのがその趣旨であるが、主として経済的な理由から、とても成立しそうでないとして見捨てられて来たのがこれまでの経緯であった。しかし環境破壊によって惹き起されるであろう深刻な社会的問題への対応や、破壊された環境の修復・保全のために必要となる社会的コストを市場メカニズムの中に取りこむことが、近い将来行われるようになれば、太陽エネルギーをはじめとする自然エネルギー利用と同等に、未利用エネルギーの利用も経済的に成立するケースが増えてこよう。

スウェーデンや香港などでは、以前から海水を熱源としたヒートポンプが多用されている。材料の腐蝕の問題を含めて未利用エネルギーの利用に関して技術的にはそれほど障害はない。問題はむしろ社会資本蓄積の差異にある。スウェーデンやデンマークをはじめとするヨーロッパ諸国の地域暖房配管の普及は目覚ましいし、香港でも海岸の護岸壁には一定間隔ごとに海

水の取水口が設けられている。

このような社会資本の部分まで個別のプロジェクトのコストにカウントしなければならないとすれば、いかに社会的コストを算入するとしても、経済性に関してはなかなかきびしい。

したがって未利用エネルギーの活用といっても、それらのエネルギー源が地理的に近くにあって利用しやすい条件が整っているサイトから利用が始まることとなり、潜在的な利用可能量はどうしても限定されてしまうこととなる。そのような意味で、推進すべきプロジェクトの優先度の順に、展望を述べよう。

2. 日本のエネルギー消費の特長

図-1は、日本全体のエネルギー需要の推移をGNPの伸びと対比して指数で示したものである。第1次オイルショックの時点でのエネルギー消費量を100として、用途別に示してある。

図からわかるように産業用エネルギー消費は第1次オイルショック以降ほぼ横ばいを続けている。つまり

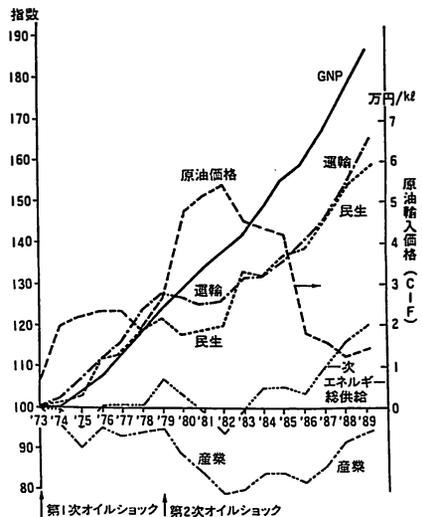


図-1 日本の用途別エネルギー消費の推移

* 東京大学工学部機械工学科教授

〒113 東京都文京区本郷7-3-1

日本の産業界は世界に冠たる省エネルギー技術開発により、少ないエネルギー消費でGNPの伸びを支えて来たわけである。これに対し、民生用、及び運輸用のエネルギー消費は、第2次オイルショック（イラン－イラク戦争）後の一時期を除いてほぼGNPの伸びと連動して増大している。因みに、民生用エネルギー需要の伸びは図中に併せて示した石油価格の変動に、かなり敏感に反応していることがわかる。民生用エネルギー需要の内訳は、35%程度が電力、65%程度が熱需要であるが、民生用エネルギー消費（業務用を含む）が伸び続けている原因は、OA機器の普及と、朝シャンなど給湯需要の増加および快適な生活空間を求める暖冷房需要の増大に基づくものである。

ところで日本は石油、石炭、LNG（液化天然ガス）原子力と燃料を輸入して、これにすべて火を点けて燃やしてしまい、“高温の熱”にしてから利用を始める。日本全国の、この熱の総合的な利用効率率は35%程度で、残りの65%は使い切れずに大気や海水といった環境の中に直接、雲散霧消させてしまっている。この効率の悪さは、ひとえに“熱の使い方”の誤りに起因しているというのが筆者の持論である。

エネルギー消費は“高温の熱”に始まって、熱機関で動力に変換され、更にこの動力で発電機を駆動して電力に変わり、更に電力が光・電磁波エネルギーに変わる。エネルギーは最初の核、分子のレベルのエネルギーから熱、動力（機械的仕事）、電力、電磁波と6種類の形態をとり、それらの中で相互に変換可能であるが、熱力学第1法則により、その総量は常に保存されており、最初に作り出された熱の総量に等しい。一方、目的のために有効に使われたエネルギーも、エネルギー保存則により、最後はすべて“常温の熱”となって環境の中に捨てられ、エネルギーの墓場に入る。最初に作り出された高温の熱の総量と、最後の常温の熱の総量は等しい。

先述の民生用のエネルギー需要というのは、照明や電気機器用の電力以外は、25℃前後の暖冷房、46℃程度の給湯、100℃の厨房用のエネルギーが大半であり、ほとんどが常温近辺の熱エネルギーである。これらの比較的低温の熱エネルギー需要に対して、例えばガスのバーナーに火を点け、あるいは石油ストーブに火をつける。バーナーやストーブの火炎帯には1500℃以上の高温の熱が発生しているが、そのような高温の熱で、いきなり、100℃以下程度の低温の熱を作り出す。熱力学第2法則に示されているように熱は高温から低温

に向かって流れ下りるが、自ら低温から高温へ逆行することはない。逆行させるためにはヒートポンプが必要である。

つまり、すべてのエネルギーは、電力も、動力も、熱も、電磁波も、海面へ向って流れ下りる水の流れのように、すべて常温の熱へ向って流れ下りるわけであるから、常温近辺の民生用の熱エネルギー需要を、あらためて燃料を焚いたり、電気を使ったりして作り出すのは極めてもったいない操作ということになる。未利用エネルギー活用の第1は、この高温から流れ下りてくる熱を、常温まで下がりきらないうちに集めて使うことである。一度常温まで下げてしまってから、あらためて汲み上げるのはいかにも無駄と言わざるを得ない。

3. 未利用エネルギーの有効利用

(1) コージェネレーションの組みこみ

未利用エネルギーの最大のものは発電所の排熱である。原子力発電所の温排水のように大量の熱が捨てられているが、この熱は熱の需要地から離れすぎているが故に利用することができない。福島や柏崎から延々とパイプで熱を輸送することは経済的にとても成立しない。発電所の排熱を利用するためには、発電所を熱の需要地に近いところに立地させなければならない。原子力や水力、地熱、石炭火力などの発電所を都市の中に立地させるわけにはいかないが、石油、LNG（液化天然ガス）火力などは小型にして都市の内部に分散配置すべきである。

燃料に火を点けて高温の熱を発生させたら、まずはその高温から使ってこなければならないが、1500℃以上の高温の熱を使いこなす技術は自動車のエンジンである。燃料に火を点けたらまずはピストンエンジンを動かし、動力を取り出す。このピストンエンジンの排気でターボをまわし、更にその排気で蒸気を作って蒸気機関を駆動して動力を取り出す。蒸気の代わりにヘリウムや水素を作動流体に用いたスターリング機関を駆動してもよい。

高温の熱で電力を、低温の熱は熱として暖冷房・給湯や工場プロセス用に用いるシステムがコージェネレーション（熱電併給）システムであるが、石油やLNGのような高級燃料は、このようなシステムで合理的に用いなければならない。ガスに火を点けて吸収式冷温水機で、“熱”をとり出した場合と、コージェネレーションで電気を作ったあと、排熱で冷温水機を駆動す

る場合と熱効率が同じであれば価値は同じと考える人が多いが、エネルギーシステムは電力のような“高質”のエネルギーを附加的にでも作り出すシステムの方が優先度が高く、その逆、つまり折角の電力を熱にかえてしまうようなシステムは優先順位が低い。未利用エネルギー有効利用の優先度の第1はコージェネレーションシステムの組みこみである。

(2) ゴミ焼却排熱のリパワリング利用

日本全国で1日あたり約13万トン(平成元年度)排出される一般ゴミは、地方自治体により焼却処分されている。日本全国に約1900箇所のゴミ焼却場があるが、その焼却熱で蒸気タービンを駆動し発電を行っている施設はわずか88施設、発電設備容量にして24万300kWにすぎず、90%以上の施設からの排熱は大気中に放出されている。未利用エネルギーの最たるものである。ゴミを焼却した燃焼ガス中には塩化水素ガスをはじめ腐蝕性ガスが含有されており、この熱で蒸気を作ろうとしても、ボイラチューブが腐蝕されてしまうので蒸気温度があまり高くとれず、せいぜい250℃どまりで、蒸気タービンで利用しようとしても、効率が悪すぎるものが熱利用を妨げている主要原因である。蒸気を作らずに温水にして周辺に熱供給する案もあるが、温水プールや老人ホーム程度の公共施設では使いきれないほどの熱が出てしまうので結局利用していない。

東京都下の最新鋭ゴミ焼却場では、600トン/日のゴミで15300kW程度の蒸気タービン発電を行っているが上述の13万トン/日のゴミですべて蒸気タービン発電を行ったとすると320万kW程度の発電が可能となる筈である。しかし上述のように蒸気条件の悪さで発電しにくいならば、別途、都市ガスあるいは石油を焚いてガスタービンを駆動し、その排熱でゴミ焼却から出た蒸気を過熱して蒸気タービンを駆動することによって、コンバインドサイクル発電所にしてしまえばよい。つまり全国のゴミ焼却場を、すべて最新鋭の高効率発電所にしてしまうのである。通常、コンバインドサイクルの最適点は蒸気タービン出力1に対してガスタービン出力2程度の割合のところにあるので、上記の320万kWの蒸気タービン出力に見合うガスタービン出力は640万kW程度となり、合計960万kW程度(原子力発電所9基分相当)の潜在電源ということになる。地方自治体と電力会社、及びガスまたは石油会社が第3セクターでも組んで推進すべき喫緊のプロジェクトと考える。既存のボイラー-蒸気タービン発電所にガスタービンを新たに附加してコンバインドサイクル

化し、出力増加と高効率化をはかることをリパワリング(Repowering)と呼んでいる。未利用エネルギーで“電力を作り出す”ことを優先度の判断規準とすれば、優先順位の第2は以上のようにゴミ焼却排熱のリパワリングによる有効利用である。

(3) 産業間、産民間のエネルギーコンビナート、産業用リパワリング

前述のようにすべての熱は高温から低温へ向かって流れ下りるわけだから常温に近い民生用の熱などは、いくらでも作り出されてくるわけで、朝シャンぐらいでは使いきれない量である。原子力発電所の温排水を考えてみれば直ちに理解されるように、現在は大量に発生する低温の熱をうまく利用するシステムが存在していないだけの話であって、結局このことを実現しようとするれば(1)項に述べたように分散小型の発電所を熱の需要地に建設して行くコージェネレーション方式しかないことになる。

ところで、コージェネレーションにしても、在来のボイラー-蒸気タービン型産業用自家発電にしても、1つの事業所の中だけで電力も熱も使いきってしまう自己完結型のシステムがほとんどであった。しかし電力と熱の需要が幸いにバランスよく存在する事業所というものはそれほど多数あるわけではない。いずれかに過不足を生ずるのが通常で電力が足りなければ系統から買電し、熱が不足すればボイラで追い焚きすることになる。

しかし眼を他に転じて、隣り合う事業所間で熱なり電力なりを融通し合うことが出来れば自由度が増す。複数の事業所間で、更には産業用と民生用の間で電力と熱の相互融通が企られるようになれば、省エネルギー効果は大きい。それも単に一方で余剰を生じたものを他にまわすといった程度の消極的なものに留まらず、積極的にコージェネレーションを導入して、あるいは共有して熱と電気を利用し合う、リパワリングの概念まで含めたものが優先度第3位である。

(4) 大容量熱利用ヒートポンプ

未利用エネルギーの中でも高温の熱源から利用することを優先して考えて来たが、最後に残るのが下水処理水、海、河川水、変電所・高圧送電地中ケーブル、地下鉄廃気などの低温ながら比較的大量に存在する熱源をヒートポンプの熱源として利用することである。近時、未利用エネルギーというと、この点ばかりが強調されがちであるが、前述の熱力学的立場から言えば優先順位は第4位となろう。

大容量熱源の中でも使い勝手から言えば液体の熱源の方が優先度が高いが、利用できるサイトが下水処理場の近くとか、ウオーターフロントなどに限られる欠点がある。送電線や地下鉄廃熱などもサイトが限られるのは同様であるが、基本的に大気熱源は場所を選ばない。しかし伝熱機器の寸法を考えると、液体と気体では後者の方がはるかに大きな伝熱面積を必要とする。それだけコストも高くなるだろう。

ヒートポンプの駆動も電気のような高級なエネルギー形態を用いた電動ヒートポンプは、エンジン駆動のヒートポンプと較べると、優先順位は下になるのは先述の通りである。

4. 今後の課題

以上未利用エネルギーの有効利用の可能性を展望して来たが、これらを普及させるためにはいくつかの課題が残されている。

(1) 制度上の課題

未利用エネルギーを現実に利用しようとする、まず省庁縦割りの壁にぶつかる。ゴミ焼却は厚生省と地方自治体、河川や海は建設省と運輸省、地下鉄は運輸省、電力やエネルギーは通産省と所管する省庁間の本気の協調がはかられない限り進展はおぼつかない。

1991年1月、電気事業連合会は社会的責任として、ゴミ焼却発電から発生する電力は積極的に購入する方針を打ち出した。大変喜ばしいことであるが今一步を進めてその他の分散型電源から電力を積極的に引きとって貰いたい。

更に産業間、あるいは産民間のエネルギー融通を進めるためには、熱も電力も共同利用する必要があるが、

そのためには電気事業法における特定供給条件の一層の規制緩和を進める必要がある。

(2) エネルギーインフラストラクチャーの整備

冒頭にも述べた通り、地域熱供給配管などエネルギーに関するインフラストラクチャーの不備は先進国の中でも最も遅れている。天然ガスは同じ熱量を得るのに発生するCO₂は石炭の半分、石油の2/3であるが、このような高級燃料をベースに、ゴミ焼却場リパワリングや産業用リパワリングなど高効率の未利用エネルギー活用システムを組み上げるためには、天然ガスをそれらのサイトに供給するパイプラインを建設する必要がある。わが国の天然ガス幹線パイプラインはわずかに1000km程度で、ECの80km、米国の44万kmに比しあまりにも立ち遅れている。更に都市の大深度地下に地域熱供給を結ぶ熱配管網を設け、蓄熱槽をとるところどころに設けてコージェネレーション排熱など余剰の熱はこのネットワークに排出貯蔵し、必要に応じてこのネットワークからヒートポンプで熱を汲み上げるような基幹的インフラを建設することも必要だろう。

むすび

通産省はエネルギー問題解決の最重点施策の1つとして未利用エネルギー有効活用を位置づけている。そのためには本稿に述べた優先順序で積極的に“本気”で施策を進めない限りとても実現は見込薄である。

現状ではこの優先順序の逆順で、経済性をあまり問題とせずにデモンストレーション事例を建設しているように思われてならない。

熱力学の原理に忠実な、合理性のあるプロジェクトの進め方を期待したい。

