

高温ガスタービンによる「システムエネルギー」開発

System Energy Developments by High Temperature Gas Turbines

平 田 賢*

Masaru Hirata

1. まえがき

原子力発電所の建設計画をめぐって、1996年8月4日に新潟県巻町で行われた日本初の住民投票は、88.3%の投票率を記録し、反対60.9%、賛成38.6%の大差で終わった。この結果は、今後の原子力発電所新設計画に少なからぬ影響を及ぼし、国のエネルギー政策に抜本的な見直しをせざるものである。筆者は、原子力船「むつ」の設計研究に貢献した故をもって、原子力安全功労者として1992年度科学技術庁長官表彰を受けた原子力推進論者であるが、既に建設計画が確定しているものは別として、新規の立地を求めることは極めて困難になったと考えている。

通商産業省が1994年度に作成した長期エネルギー需給見通しによれば、石油の輸入量を現状のままに抑えた上で、省エネルギーを徹底し需要の伸びを抑えても、2010年までに原子力への依存量を現状の約1.7倍(7,050万kW, 4,800億kWh)、天然ガスの輸入量を約1.5倍(LNG4,070万トン、5,800万トンへ)まで伸ばして行く計画になっている。1995年9月末現在、日本全国に営業運転中の原子力発電所は17箇所、原子炉数で49基、設備容量で4,120万kWあるが、2010年までに残り約3,000万kW(約27基分)を増設しなければ、この計画は根底から覆る。1995年9月末現在、建設中のものが3基、電調審決定分が2基あるが、新規の立地が不可能になった場合、既存の原子力発電所の構内に増設することで、あと数基の建設は可能としても、2010年には原子炉20基分ほど、つまり2,000万kW程度の電源設備の不足を生ずることとなる。

他方、バブルの崩壊によって、このところ数年エネルギー需要の伸びはやや鈍化したが、景気が回復すれば1980年代後半の需要の伸びの延長線上に戻るだろう。通産省が想定したような省エネルギーを実現するため

には、格別の覚悟を以て規制緩和を進め、エネルギー供給構造を抜本的に変革しない限り、実現は困難であろう。原子力発電所の新設は進まず、エネルギー需要は伸び続けるとなると、このまま放置すれば、極めて重大な予測違いを犯すことになる。省エネルギーと電源確保の緊急性は極めて深刻なのである。

2. 「システムエネルギー」を求めて

山の上にダムを作り、水が海面まで流下してくる間に、川の流れて沿って高度の高いところから、黒部第4、黒部第3というように順々に水力発電所を仕掛け、水の落差を使いつくすことは誰でも考えることである。海面まで下りきってしまった水は、もはやポテンシャルを失ってしまった水であって、これで発電しようと思えば、揚水発電のようにエネルギーを使ってポンプで水を汲み上げなければならない。「覆水は盆に返らず」である。

図-1に示すように、熱の場合の“落差”に相当するのが“温度差”であり、“海面”に相当するのが地球の“常温”である。燃料に火を点けると1,500°C以上の熱が発生するが、この高温から常温、つまり15°Cまでの落差を使ってくるのが“熱の利用”である。常温まで下りきってしまった熱はもはや使いものにならないが、不思議なことに熱のほうは水力発電のように温度の高いところから順々に使ってくるが行われて来なかった。バーナーに火を点けて風呂をわかす。石油ストーブで暖房をする。バーナーやストーブの火炎帯には1,500°C以上の“高温の熱”が発生しているが、46°Cの風呂のお湯や25°Cの室温を得るために、この高温の熱を直接投入しても誰もあまり不思議に思わない。日本に於ける“未利用エネルギー”の最たるものは、地下鉄排熱のような低温の熱ではなく、1,500°Cから500°Cあたりまでの“高温部の熱”なのである。

熱力学の始祖と言われるサディ・カルノー (Sadi Carnot, 1796~1832) は、その短い生涯でただ1つ

* 芝浦工業大学システム工学部教授、東京大学名誉教授
〒330 大宮市深作307

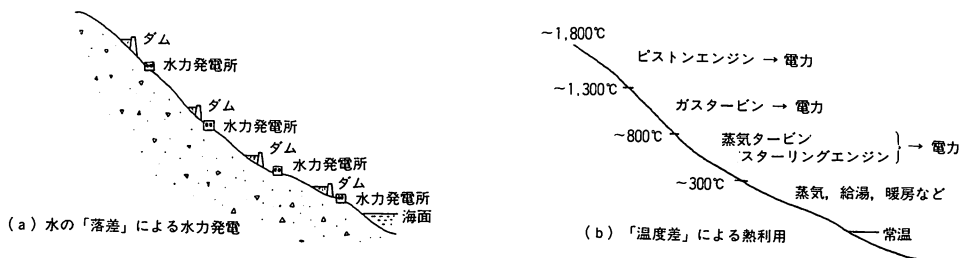


図-1 落差と温度差

だけ論文を書いた(1824年)が、その中に「熱から動力を取り出さず、熱の温度を下げてしまつたら、それは正味の損失である」という表現がある。カルノーの天才性を示す言葉であるが、燃料に火をつけたら、この指摘どおり、可能な限りの高温から熱機関を動かして、まず動力をとり出すことを考えなければならない。蒸気や温水が欲しいときにこれまではボイラーを導入するのが普通であった。これからは熱が欲しかったら、まずエンジンやガスタービンを導入することを考えなければならない。高温の熱は熱機関で動力化し、温度を下げて排出された熱を熱として用いることが、熱の合理的な使い方の第1歩である。これこそが「コージェネレーション (Cogeneration, 熱電併給)」の基本的な概念である。

ボイラーと蒸気タービンの組み合わせで発電を行ったあとの蒸気を工場のプロセスに用いる形のコージェネレーションは、日本の産業界でも古くから使われてきた。発電設備容量で約1,900万kWにのぼり、日本の全電源設備容量の約10%を占めているが、それらのシステムは、蒸気温度がせいぜい500°Cどまりであり、いわば「クラシカル」なコージェネレーションである。これに対して、ガスタービンやピストンエンジンなどの内燃機関をベースとした「モダン」なコージェネレーションは、1996年9月末現在で民生用1,257件、62万kW、産業用933件、306万kW、合計2,190件、368万kWとなっており、1年あたり30~40万kWずつ増えている。熱力学の原理に忠実に、高温から常温まで熱をしゃぶりつくすためには、クラシカルなコージェネレーションも500°C程度の温度から使い始めるので満足せず、ガスタービンなどを追加設置して、熱をもっと高温から使い始め、その排熱で作った蒸気で既存の蒸気タービンを駆動するような改造を施すべきである。既存のボイラー蒸気タービンシステムにガスタービンなどを追設して高出力化、高効率化を図る技術を「リパワリング (Repowering)」と呼んでいる。

これまでは発電だけの目的で燃料を焚き、熱機関を

駆動して排熱には目をつぶった。一方、熱が欲しいときにはボイラーを焚いた。この2つの操作は独立で、「並列」であった。コージェネレーションは、発電したあとの排熱(役に立たないことを意味する「廃熱」という字は用いない)を熱として利用するのであるから、2つの操作が「直列」に入ることになる。現在、コージェネレーションシステムの熱効率は85%を上回るが、熱効率85%を上回るボイラーはいくらでもある。燃料を焚いて、熱しか作り出さないボイラーと、電力と熱の2つの「効用」を生み出すコージェネレーションとは、熱効率の意味が違う。コージェネレーションで発生した電力で成績係数 (COP) 3の電動ヒートポンプを駆動して熱を汲み上げ、排熱と併せて利用したとすると、150%程度の熱効率が得られることになる。つまり、発生した電力は、熱に換算すれば3倍程度の効用を持つ「高級」なエネルギーと評価されるのである。

これまでは省エネルギーというと、ガスタービンの高効率化であるとか、伝熱促進であるとか、個々の要素技術の性能向上を考えることが多かった。熱を高温から低温まで系統的に使うことによって構造的な省エネルギーを実現することを目標とすれば、要素機器の効率はさておいても、システムとしての効率の向上を目指さなければならない。システムとしての最高効率点が、要素機器の最高効率点を組み合わせたものとならないケースはいくらでも存在する。確立した既存の要素技術を組み合わせ、高効率のシステムを生み出すことによって省エネルギーを図ることは、未利用エネルギーの有効活用に通じ、いわゆる「創エネルギー」の一種であり、これを「システムエネルギー」と名付けることにする。

3. 高温ガスタービン開発の意義

「直列」の原理に基づいたシステムエネルギー技術を実現しようとするれば、燃料に火をつけたらまず、可能な限りの高温から熱機関を駆動し始めなければなら

ない。次いで、技術的な無理をせずに熱機関を稼働できる温度範囲の熱は可能な限り低温まで動力に変換し、そのあとの排熱を産業用プロセスや暖冷房・給湯に用いることになる。熱機関としては我々の身近にある確立した技術を、それぞれの特性に応じて適切に使分けことが重要である。まずオットーサイクルやディーゼルサイクルで代表されるピストン内燃機関は、燃料の燃焼が瞬間的・爆発的であり、ピストン頭や、ピストンリング、排気弁等が高温ガスにさらされる時間が短く、しかも一回一回新しい空気を吸入することによってそれらの部材が冷却され、加うるに空冷・水冷等を行うため、熱機関の中では作動ガスの最高温度を最も高くとることができる。ガスタービンは高温燃焼ガスの流れの中で連続的にタービンをまわさなければならぬから、タービン翼の高温強度からガス温度に制限を受ける。一方、ボイラー・蒸気タービン機関は高い内圧のかかった蒸気過熱器の管材の強度でサイクルの最高温度が抑えられ、管内を流れる作動流体の蒸気の最高温度は現在650℃前後である。ヘリウム、水素などの作動流体を、高圧で加熱管内に流して外側から加熱するスターリング機関も事情は変わらない。使用する材料の許容温度を850℃程度の同一レベルに抑えても、ピストン内燃機関は本質的に“高温域”、ガスタービンは“中温域”、ボイラー・蒸気タービンおよびスターリング機関は比較的“低温域”の熱を動力化することを、それぞれの守備範囲とした熱機関ということができる。

このような現有の熱機関の熱効率は、単一の機関としては高いもので40%程度であり、そのままの形でこれをあと1%上昇させることは容易ではない。自動車用ガソリン機関や、ボイラー・蒸気タービン機関は長年の研究によって、もはや完成の域に達している。熱効率を高めるための具体性のある唯一の方法は、「コンバインド（複合）サイクル機関」の開発である。既存の熱機関を上述のような「高温型」、「中温型」、「低温型」のそれぞれの特質を生かしてシステム化、複合化するのである。

ガスタービンもタービン入口ガス温度は上昇の一途を辿りつつあり、現在、フィルム冷却翼の採用により1,350℃が実用化されている。今世紀中に1,500℃、21世紀初頭には、蒸気冷却の採用、あるいはセラミックスなど超高温材料の進歩により、1,700℃も実現可能であろう。そうなるとガスタービンも、「高温型」の仲間に入り、トッピングとしての内燃機関は、ピスト

ン機関でもタービン機関でもいずれでもよいことになる。ボトミングとして組み合わせる外燃機関は通過するガス量の大小によって選ぶことになり、ピストン機関はピストン機関同士、タービン機関はタービン機関同士を組み合わせることが現実的であろう。

高温ガスタービンの燃料としては、天然ガスが最も望ましい。天然ガスは硫黄分を含まず、ヴァナジウムなどの重金属も含まないから高温材料にとってこれ以上の燃料はない。硫黄を含まないから燃焼させてもSOxは発生せず、予混合希薄燃焼や触媒燃焼を行えば殆どNOxも発生しない。メタンが主成分であるから、同じ発熱量を得るのにCO₂の発生量は石炭に較べて50%、石油に較べて35%減となる。立地点までガスが供給されることが前提であるが、燃料供給のインフラ整備については後述する。

4. 「システムエネルギー」技術の展望

4.1 コージェネレーション、リパワリングの徹底

わが国エネルギー需要の用途別の伸びを見ると、産業用エネルギー消費は、1994年度によく第1次オイルショック時点の消費量まで戻った程度である。わが国産業界は省エネルギー技術の徹底により、第2次オイルショックの直後には、第1次オイルショック時点の消費量の8割を切る量で日本経済の進歩を支えて来た。一方、民生用と運輸用のエネルギー消費は、GNPの伸びに連動して伸び続けている。民生用エネルギー需要とは、まず第1に、業務用のコンピュータの普及と、家庭用を含めた暖冷房需要の伸び、更に家庭用の朝シャンなど給湯需要の伸びに基づくものであろう。このような民生用の暖冷房、給湯の需要は、すべて120℃以下程度の比較的低温の熱であるが、そのような低温の熱の需要が伸びているのである。

先述のように、われわれの利用するエネルギーは、燃料を焚くことによって得られる“高温の熱”に始まって、動力や、電力や、光・電磁波などに姿を変えながら、最後はすべて“常温の熱”へ向かって流れ下りてくる。この流れ下りて来る熱を、途中の温度で集めて利用するシステムさえあれば、民生用の熱など、本来、あり余るほどの量であって、とても朝シャンなどでは使いきれない筈である。原子力発電所の温排水を思い浮かべれば、その量の膨大さは直ちに理解されよう。電気を作るときについて出てくる排熱を利用できるコージェネレーションさえ定着すれば、実は民生用の熱の大半は充分それでまかなわれる筈である。そのよ

うな民生用の熱を得るために、あらためて燃料を焚いたり、高級な電力を用いたりすることは誤りであると言わざるを得ない。コージェネレーションやリパワリングを徹底すれば、アメニティに対する欲求を抑制することなしに省エネルギーが実現できる筈である。

昨1995年12月1日には、制定以来31年ぶりと言われる電気事業法の大改正が施行された。電力の卸供給事業への参入の自由化、再開発地域等の特定地点に電気の供給を行うことを認める特定電気事業制度の創設、特定供給規制の更なる緩和、などがその骨子である。

特定供給については、集合住宅や業務用ビルでテナントに熱と電力を供給することが出来るようになった。例えば、集合住宅にコージェネレーションを導入し、電力を戸別に供給して電動ヒートポンプで暖冷房を行い、熱は給湯に用いるなどの方法が可能となった。新設された特定電気事業は、複数の建物を含む地域熱供給で熱の供給先に電力も送る「ミニ電力会社」の設立が可能になったものである。長野県の諏訪ガス(株)は、諏訪湖東岸約5ヘクタールの再開発地域に建設予定の病院と高齢者保健施設を対象に、LPGを燃料として設備容量3,000kWの電気事業を手がけるといふ。1999年春にも日本第1号の事例が出現することになる。電力の卸供給事業は、独立発電事業(IPP)への参入に門戸を開いたもので、「システムエネルギー」技術の展開に最適の規制緩和である。1996年8月には各社の入札募集が締め切れ、募集量の4倍を超える1,081万kWの応募があったという。応募した企業は、石油、鉄鋼、化学、紡績、商社など幅広い業界にわたっているが、立地難に悩む電力業界に対し、自前の土地を持つ一般企業の卸供給事業参入希望がこれほど強いことは、冒頭に述べた電源不足に対する大きな救いであり、このムードを大切に育て上げなければならないだろう。

4.2 スーパーゴミ発電

日本全国で1日に約14万トン排出される一般都市ゴミの問題は、最近、社会問題ともなっている。現在その約74%が焼却処理されており、15%ほどが埋立て、残りがコンポストその他で処理されている。ゴミ処理施設は全国に約1,900箇所存在するが、そのうち、焼却熱を利用して発電している施設は1995年度末で153施設、発電設備容量56.8万kW、所内電力を差し引いて売電している施設は72施設に過ぎない。1日に焼却されている約10万トン/日のゴミで、欧米なみに600kW/ゴミトン程度の発電を行ったとすれば、それだけで6,000万kWの設備容量となり、懸念される電源不

足を賄って余りある膨大な潜在発電能力である。これまでゴミを焼却して二酸化炭素を放出するだけだったゴミ焼却場が、高効率の発電所に生まれ変わることになれば、その分だけ石油あるいは石炭火力発電を減らすことが出来、CO₂削減のためには2重の貢献が期待できる筈である。

日本の生ゴミには塩分が多く含まれているうえに、塩化ビニールなどが混入しており、これを焼却すると、燃焼ガス中の塩化水素の濃度が高くなる。このようなガスで蒸気を作るとき、通常のボイラー鋼管では管壁の温度が330℃を超えると急速に高温塩素腐食が進行する。従って、蒸気の温度を300℃以上にとることが出来ず、その程度の蒸気で蒸気タービンを駆動しても、発電端効率はせいぜい12%どまりであり、発電が敬遠されて来た一因となっている。

そこでリパワリングの原理を、ゴミ焼却についても適用する。ボイラーチューブが腐食しない程度の蒸気温度、つまり290℃程度の蒸気温度でも、別に燃料を焚いてガスタービンを駆動し、その排気ガスでこの蒸気をスーパーヒートして蒸気タービンを駆動すれば、コンバインドサイクル発電が可能となり高効率化が実現できる。(財)エネルギー総合工学研究所¹⁾及び自治省²⁾は、筆者の提案に基づき、このリパワリング方式コンバインドサイクルゴミ焼却発電の研究委員会を設置してフィージビリティスタディを行った。筆者はこれらの委員会の会長を務めたが、このような発電方式を「スーパーゴミ発電」と名付けたのは当時の自治省公営企業第2課課長補佐坂本森男氏である。

これらの試算をベースに、日本における第1号として群馬県「高浜クリーンセンター」におけるスーパーゴミ発電が1996年11月に営業運転を開始した。表1にその計画諸元を示す。このセンターのゴミ焼却プラ

表1 群馬県「高浜クリーンセンター」のスーパーゴミ発電計画諸元

事業主	群馬県企業局
期 間	平成5年度～平成8年度
事業費	約50億円
都市ゴミ処理量	450トン/日(150トン/日×3炉)
焼却炉からの蒸気受入量	28t/hr
ガスタービン	解放単純サイクル16,000kW (燃料:天然ガス)
蒸気タービン	復水タービン9,000kW
送電電力	23,730kW
効 率	31.1% (ガス熱量基準リパワリング効率:48.6%)

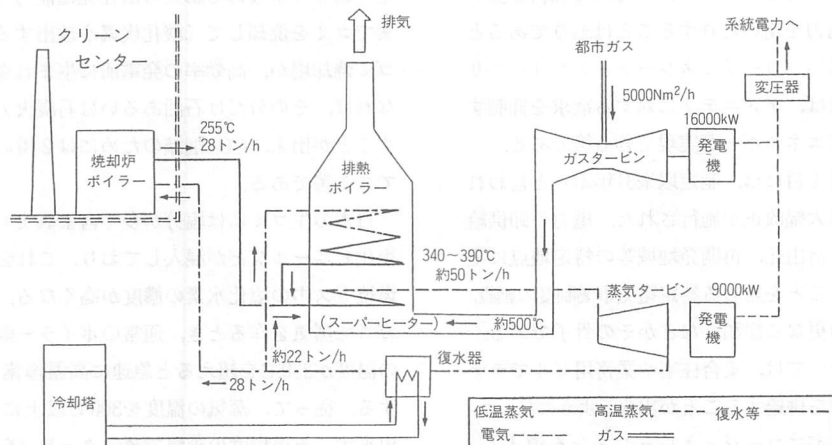


図-2 群馬県「高浜クリーンセンター」スーパーゴミ発電システム系統図

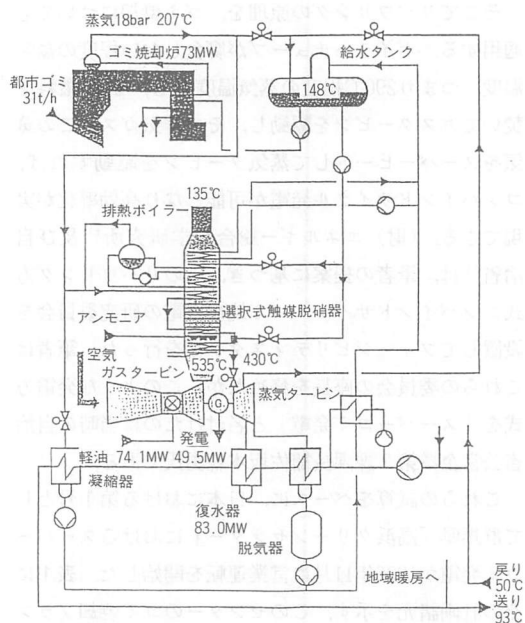


図-3 スウェーデン・リンチェピング市の「蒸気過熱式」スーパーゴミ発電系統図

トは1988年6月に竣工したもので、これまで300トン／日のゴミを処理し、1,300kWの蒸気タービン発電機で所内電力を賄うほか、余剰電力は東京電力(株)に売電してきた。このたび新たに16MWのガスタービンと9MWの蒸気タービンを追設し、発電端効率31%(LHV基準)が得られている。排熱は場内の冷暖房・給湯に用いているほか、隣接する町営老人福祉センターに給湯している。図-2にシステムの系統図³⁾を示す。スーパーゴミ発電は、他に堺市、北九州市などで建設

中である。

このスーパーゴミ発電は世界の中で日本が最初に開発したものと自負していたが、スウェーデンのリンチェピング(Linköping)市がわずかに先行しており、1995年2月に運転を開始していた。図-3にこのシステムの系統図を示す。ゴミ焼却量は740トン／日、焼却炉から出る18bar、207°Cの蒸気をガスタービン排気で430°Cに過熱し蒸気タービンに送る。ガスタービン出力25MW、蒸気タービン出力24.5MW、合計49.5MWを出す。ガスタービンを導入した場合、初期投資は高くなるが、発電出力当たりの初期投資は最も安くなるという。

このシステムはABB社の開発によるものであるが、同社はデンマークのネストベッド(Naestved)市において、12年間操業してきた108トン／日のストーカー炉3基からなるゴミ焼却場に隣接してガスタービン(25MW)発電所を建設し、ガスタービン排熱で作る40T/hの蒸気と、ゴミ焼却から出る29T/hの蒸気を合わせて、65bar、425°Cの蒸気を蒸気タービン(13MW)に送る「蒸気結合方式」のスーパーゴミ発電も行っている。システムの系統図を図-4に示す。発電した後の蒸気は地域熱供給し総合熱利用率90%という。このシステムは1996年1月1日に運転開始した最新鋭プラントであるが、既存の焼却炉に「後付け」の形でコンバインドサイクル化したもので、これも先を越された。

100トン／日以下程度の小型のゴミ焼却炉については、比較的簡便に高効率の発電が出来る技術として、蒸気噴射方式が考えられる。ゴミ焼却炉から出てくる

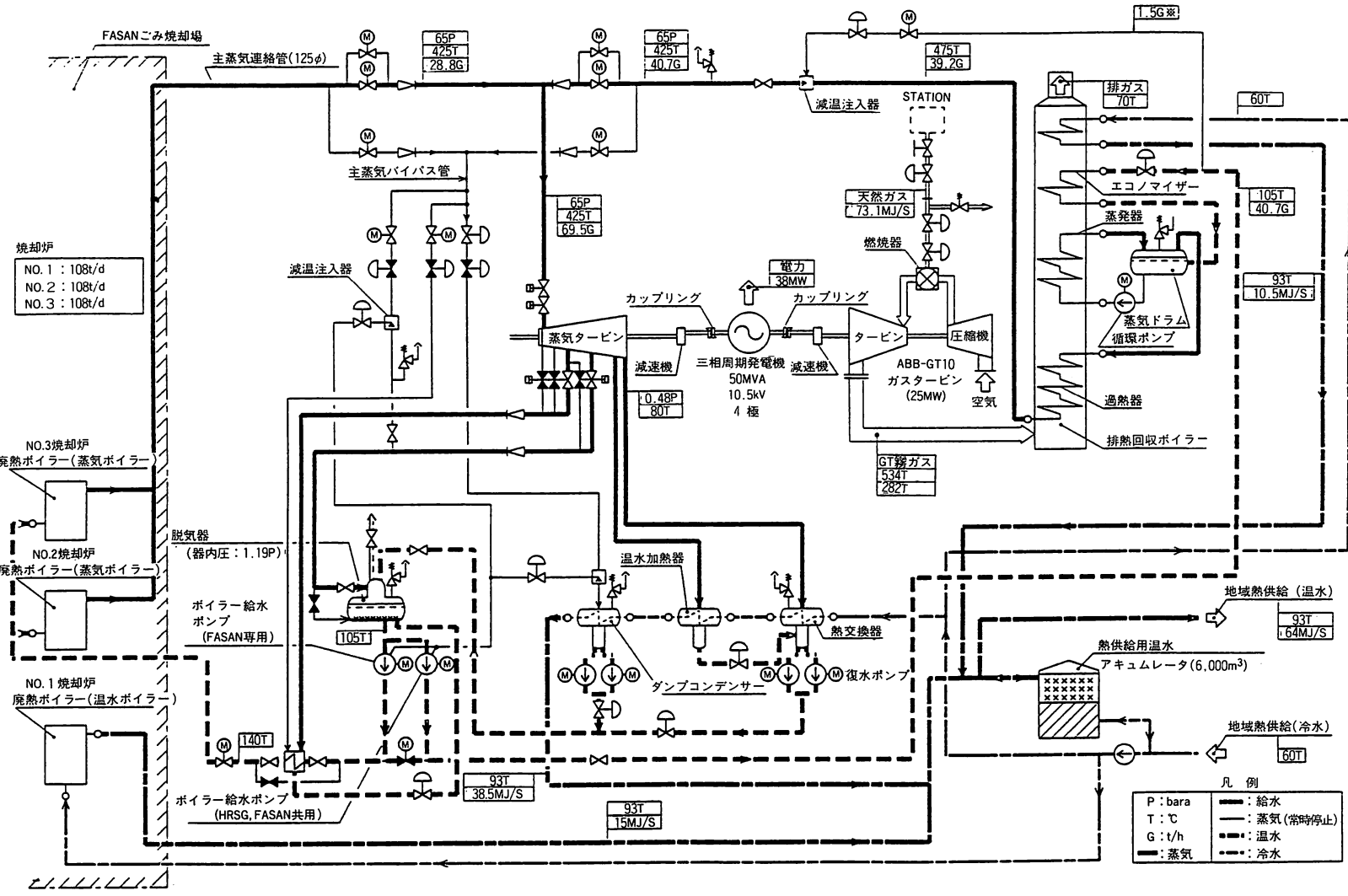


図-4 デンマーク・ネストベッド市「蒸気結合方式」スーパーゴミ発電熱流線図

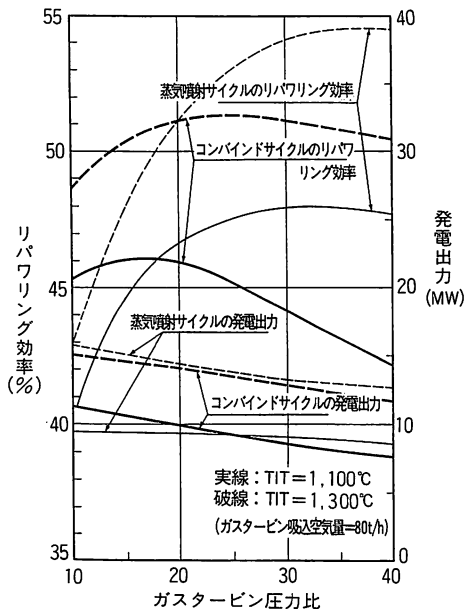


図-5 小型スーパーゴミ発電におけるコンバインドと蒸気噴射サイクルの比較

290℃の蒸気をガスタービンの排熱で昇温し、ガスタービン自身に吹き込んでしまうのである。70トン/日程度のゴミ焼却炉について、ガスタービンで焚いた燃料の入熱量を分母に、従来の蒸気タービン方式と比較した出力増分を分子にとった効率(リパワリング効率と呼ぶ)を試算した例を図-5に示す。図でわかるように、ガスタービン入口ガス温度(TIT)1,100℃級でリパワリング効率が最大48%、1,300℃級で55%(LHV)程度と試算され、蒸気タービンとのコンバインドサイクル方式よりも高くなる可能性がある。この炉で、20ata、280℃の蒸気を14T/h程度発生させたとき、従来型の蒸気タービンのみを用いた発電では最大1,900kW程度の出力であるが、この蒸気噴射ガスタービン方式では、TIT1,100℃の時3,000kWを出すガスタービンを用いた場合に、蒸気噴射時約9,000kW、TIT1,300℃の時4,000kWのガスタービンで蒸気噴射時約13,000kWの出力を得ることができる。原動機としてガスタービンさえ導入すれば蒸気タービンも復水器も不要であり、ゴミ焼却熱を有効に利用できる簡便で高効率のゴミ発電といえよう。因みに55%のリパワリング効率ということは、追加燃料規準で考えれば最新鋭のLNG大型コンバインドサイクル発電所の熱効率を上回ることになる。

更に、30トン/日以下程度の小型の炉の場合には、

もはやゴミを焼却するのはやめて、生石灰と混ぜ固形燃料(Refuse Derived Fuel, RDF)化し、これを県庁所在地程度の大型ゴミ焼却炉に集めて、一般ゴミと併せスーパーゴミ発電を行えば、日本全体のゴミが燃料化されることになる。

4.4 ハイブリッドスーパー石炭火力発電

以上述べてきたリパワリングの原理は、いろいろの場合に応用出来るはずであり、まさに熱機関を用いた「システムエネルギー」技術の切り札ということができよう。例えば、石炭火力や原子力発電の場合にも、600℃程度以下の蒸気タービンサイクルだけで満足することなく、石油や天然ガスを燃料とするガスタービンと組み合わせてコンバインドサイクル化し高効率化を図るべきである。

石炭焚き超々臨界圧発電(352atg, 649℃)では、現在、熱効率44.4%(100万kW級, HHV, 発電端)が目標とされているが、天然ガス焚きガスタービンとのハイブリッド・コンバインドサイクル化することによって、30~40万kW級でも熱効率46~47%(HHV)の発電が可能となろう。図-6に示したドイツの試算例⁴⁾では、ガスタービンの排ガスをボイラーの余熱空気のように利用する「追い焚き方式」で熱効率51.2%(LHV)が得られている。また、ドイツのNecker電力会社では図-7に示したような「蒸気結合方式」の石炭火力発電所を建設中である。これらのようなサイクルをスーパーゴミ発電のネーミングにならって「ハイ

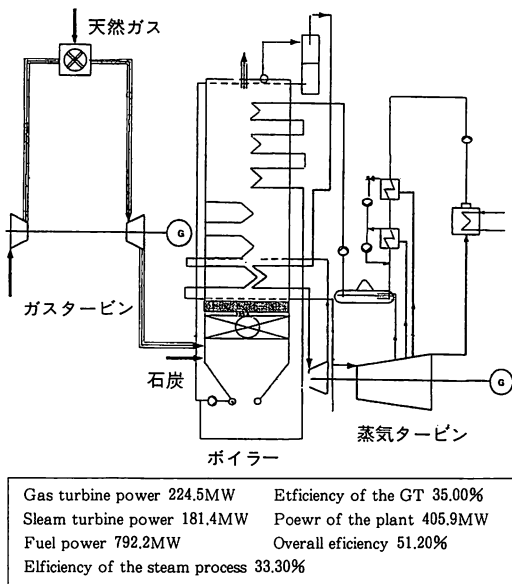


図-6 「追い焚き式」ハイブリッド・スーパー石炭火力発電の試算例⁴⁾

ブリッド・スーパー石炭火力」発電と呼ぶことにする。

日本は使用する石炭のほぼ全量を輸入しているが、現在、受け入れ港湾、ヤード等、輸入のためのインフラは、鉄鋼業界がその大半を保有している。電力業界が石炭火力発電を推進しようとするれば、新たな港湾やヤードを建設してゆかねばならない。日本の鉄鋼生産量は次第に減産の方向にあるが、それに伴って鉄鋼業界の港湾設備やヤード面積に余裕がでてくるのが予想される。これらの設備や面積を、他の目的に転用することは暫く措いて、システムエネルギー技術を駆使した発電事業に乗り出して頂くことを鉄鋼業界に提案したい。

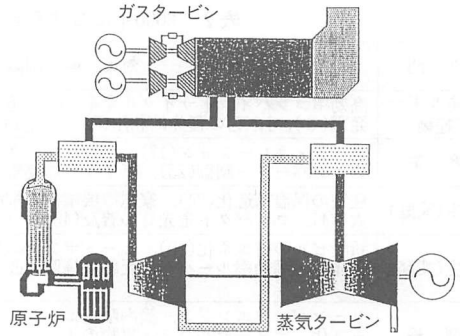


図-8 Battelle Memorial Institute提案のハイブリッド・スーパー原子力発電

4.5 ハイブリッド・スーパー原子力発電

同様の発想を原子力発電にも適用する。原子力発電の場合には、原子炉压力容器の強度で系の最高圧力が抑えられ、その圧力に対応した飽和温度で熱機関としての最高温度が決めてしまうので、320℃前後が蒸気サイクル温度の上限である。そこで高温ガスタービンを原子力発電所のサイトの中に持ち込みリパワリングを行う。リパワリングしやすいのはPWRであるが、ある試算によれば、100万kW級のPWRで、ガスタービンが120万kW、蒸気タービンが150万kW、合計270万kW程度の熱バランスになるという。つまり、2.7倍に出力が増えることになる。日本全国にPWRは22基、1,820万kW稼働しているのでリパワリングによる出力増分は3,000万kWを超えるであろう。

このような主張をしていたら、米国の著名なシンクタンクBattelle Memorial Instituteが全く同様の発想で日本の電力各社に売り込みを図っているという。同社の提案図を図-8に示す。

5. 「システムエネルギー」技術導入によるCO₂削減可能量試算

環境庁は国連気候変動枠組条約に基づく日本国報告書を提出したが、2000年におけるCO₂排出量が1990年実績である3億2,000万トン(炭素換算)を約1,000万トン超え、3億3,000万トン(2.3%増)となると見込んでいる。しかし、1994年実績が既に3億4,000万トンを超えており、その実現は殆ど見込みがないだろう。1997年12月の第3回締約国会議(COP3)を京都で主催するわが国としては、実現のための努力の一端を世界に示すべく、環境庁は、技術的なアプローチによってどこまでCO₂の削減が見込めるかを具体的に算出することとし、1995年7月に「地球温暖化対策技術評価検討会」を設置して前後7回に及ぶ議論を行い、1996年5月に報告書⁵⁾をまとめた。筆者はその座長を務めたが、表2に結果の総括表を掲げる。表でもわかるように、発電および産業部門を中心としてシステムエネルギー技術の寄与率が、ここで検討した諸技術の普及

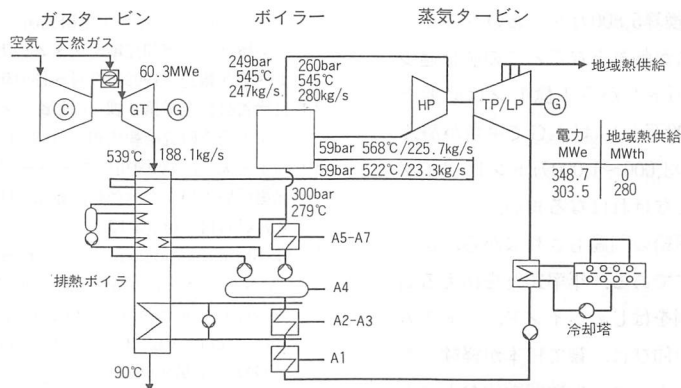


図-7 「蒸気結合式」ハイブリッド・スーパー石炭火力発電例(独Altbach-Deizisau発電所)

表2 2000年における部門別CO₂削減可能性（環境庁試算）

部門	対策技術と削減効果（炭素換算万トン）	CO ₂ 削減効果 (炭素換算万トン)
エネルギー 転換	高効率コンバインドサイクル発電(20), 超々臨界圧発電及び加圧流動床コンバインドサイクル発電(8), LNGの優先的利用(72), 高効率ゴミ発電(60), 都市ガスの天然ガス転換(21)	180
産業	コージェネレーション(17), リバリング(35), コンバインドサイクル発電(113), モーターのインバーター制御(25), ボイラー燃焼管理(6), 産廃発電(2)	198
民生(家庭)	住宅の保温構造化(24), 家電待機電力の削減(39), ヒートポンプエアコンの効率向上・普及拡大(34), コンパクト蛍光灯の普及(40), ソーラーシステムの普及(2), その他(3)	143
民生(業務)	新設ビルの省エネ化(10), ヒートポンプエアコンの効率向上(14), 高周波点灯型インバーター蛍光灯・高効率ルーバー・反射板等照明改善(8), 潜熱回収型温水ボイラーの普及(9), その他(7)	48
運輸	リーンバーンエンジン, 筒内噴射エンジン, 車体の軽量化, 空気抵抗低減, AT車のロックアップ化, ディーゼルバス・貨物のインタークーラーターボの採用等自動車単体対策(89), 電気・CNG・ハイブリッド等低公害車の導入(1), トラックから鉄道輸送への転換(3)	92
合計		661

(注) 原子力発電のパワーストレッチング(二重定格の採用, 定期点検期間の短縮, 定期点検間隔の長期化)については上表に含んでいないが, 安全性の確保や地域住民の理解などの課題が克服され, 実現した場合には, 削減効果として更に約290万トンを見込むことができる。

により見込める削減総量の半分以上を占めており, コージェネレーションやリバリングなどを推進してゆくことがCO₂削減の切り札であることが示された。

6. 結語：インフラストラクチャーの建設

原子力の未達による電源不足と省エネルギーの徹底を解決する唯一の途は, 結局のところ, 天然ガスを燃料とした「システムエネルギー」技術を普及させることしかないことを述べてきた。「システムエネルギー」概念の基本は, 「確立された」既存の技術を組み合わせることにある。ガスタービンにしてもゴミにしても石炭にしても, 現存する材料で腐食をおこさず安心して使える範囲にとどめ決して無理をしない。そのような範囲でもまだまだやるべきことがいくらでもあるということである。

ガスタービンの燃料として天然ガスを想定しているが, システムエネルギー技術を普及させるためには, 天然ガスが立地点まで供給されることが前提となる。先述の通産省の需給見通しによれば, 2010年における天然ガス需要量はLNG換算5,800万トンということになっているが, 天然ガスが頼りとなるとこの値は過少に過ぎるだろう。9,000万トンから1億トンは必要となろうが, そのうち6,000万トンはLNGで手当てが済んでいるものとして残りの3,000~4,000万トンはパイプラインによる輸入を考えなければならぬ。

わが国のエネルギー需給の問題もさきながら, より以上に深刻なのがアジアである。年率10%を超える高度経済成長を続ける中国をはじめ, インド, ベトナムなどのエネルギー需要の伸びは, 嘗て日本が経験した1960年代における伸びのように, 指数関数的なものとなろう。これを石炭を主体としてまかなうとすれば,

地球環境上もゆゆしき大事となる。アジア・太平洋地域の諸国に, なるべく早く天然ガスを供給し, システムエネルギー技術を普及させる必要があるが, そのためには, 中央アジア, 極東・東シベリアなどに存在する未開発の天然ガス田と, 中国, 韓国, 日本などの需要国とを結ぶトランスアジア天然ガスパイプライン網を早期に建設しなければならない。ヨーロッパにも北米にも, 数十万kmに及ぶ幹線導管が網の目のように敷設されているが, アジア・太平洋地域はゼロでありインフラストラクチャーの立ち後は明白である。

北はサハリンから, 南は中国や韓国からパイプラインで天然ガスの供給が行われるとなれば, 日本の中に国土縦貫パイプラインが必要となることも自明である。既に着工命令が出されている第2東名・名神高速道路などに併設するなどの方法が考えられるが, 一刻も早く国民の合意を得て, これらのインフラ整備に着手しなければ, 悔いを千載に残すことになる。

文献

- (財) エネルギー総合工学研究所: 「石油活用型ガスタービン複合ごみ焼却発電システムの実用化調査報告書(第1~第3報)」(1992年3月~1994年3月)
- 自治省公営企業第2課: 「地域エネルギーの事業推進に関する調査研究会報告書」(1993年3月)
- 鈴木善夫: 「わが国初のスーパーごみ発電: 群馬県高浜発電所いよいよ今秋運転開始」, 日本工業新聞(1996年8月21日付) pp.12-13.
- G. Stamatelopoulos, R. Leithner N. Papageorgiou: "A New Efficient and Simple Concept for Electric Power Generation and Its Thermodynamic Optimization", IGTI-Vol. 9, ASME Cogen-Turbo, ASME (1994), pp.579-587.
- 環境庁: 「地球温暖化対策技術評価検討会報告書」(1996年5月)