

原発100万kWを火力発電（石炭・LNG）で代替するには！

技術士（衛生工学・建設・環境）・環境カウンセラー
第一種放射線取扱主任者、省エネルギー普及指導員など

環境計画センター 専任理事 ^{かぎや}鍵谷 ^{つかさ}司

「環境施設」130号（2012.12）において、脱原発の切り札として自然エネルギーが脚光を浴びているが、100万kWの原発の発電能力と風力や太陽光発電のそれと比較しているが、代替エネルギー源としては年間発電量で比較すべきことを指摘した。

最近行われた衆議院選挙における各政党のエネルギー供給の政策には脱原発の切り札として風力や火力で代替するとの主張も多かった。電源にはそれぞれ特徴があり、様々な長短があるので、単純に長所のみを評価しても簡単に代替することはできないし、無理をして短期間に電力供給バランスを変えると、社会的に大きなリスクを抱えることになる。

前回、原発の発電能力100万kW/hを代替するために必要な自然エネルギーについて検討したが、今回は火力発電で代替するとしたらどのような問題があるかについてデータに基づいて検討した。なお、脱原発を主張するにあたり、データに基づかない代替エネルギーを提案しても単なる「スローガン」に過ぎず、説得性もなく、実現性は極めて低い。責任ある立場に近づくあるいは実態を理解するほど安易に脱原発といえなくなる。

これまで50年もかけて電源の多様化をはかり、原子力発電が全発電量の30%を占めるまでに拡大してきた施策を、原発事故があったからといって直ちにゼロにすることはかなり難しい。電気に支えられた社会を維持するためには安定した電源が必要不可欠であり、短期的に安定して大容量の電気を代替できる電

源は火力発電以外にないのかもしれない。

ここで、原発100kW/hの発電量を代替するために必要な火力発電ではどの程度の規模になるかについて試算してみた。なお、火力発電には、石炭火力とLNG火力が主であり、原則的に石油火力に依存しないことが国際的な約束となっており、補助発電などの場合に限られている。建設抑制を考慮してか、石油税も高額である。ついでに、火力発電を建設した場合の建設費と燃料費について調べてみた。^{※1)}

なお、コスト等検証委員会報告書（平成23年12月19日 エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会）によると、発電コストは、①設備利用率、②稼働年数、③資本費（建設費、固定資産税、廃炉処理費用）、④運転維持費（人件費、修繕費、諸経費）、⑤燃料費（燃料代、所内率）に依存するが、ここでは、建設費と燃料費並びに二酸化炭素排出量を取り上げた。

今後、我が国が安定的な電源を確保するためには、どのような方向を指向すべきかについて検討していきたい。

（1）原子力発電所の発電能力100万kW/hの年間発電量；58億kW、約3,500億円

我が国の平成22年度総発電量は約1兆kWであり、このうち原発の発電量は28.8%であり、約2,880億kWであった。福島原発事故以降の平成23年度のそれは約9,550億kWであり、原発分は10.7%の約1,020億kWとなり、約1/3に急減した（電気事業連合会資料）。



大飯原子力発電所3,4号機 (WP より)



福島原子力発電所
(<http://hosha.info/atomics/reactor>)

エネルギーの安定供給と二酸化炭素削減の切り札として原発が推進され、全国で54基の原発が設置され、さらに14基の建設が予定されていた。事故後には建設計画が凍結や中止を余儀なくされ、既存の原発もほとんど稼働停止に陥っている。原発の稼働停止を受けて省エネによる消費電力の抑制、既存火力発電所のフル稼働などで対応しているが、火力発電所が故障するとたちまち需給がひっ迫しかねない状況である。補完できる電源が少ない状況で原発ゼロを実施することは大きな社会リスクを伴う。このような状況を打破する方策の一つとして国産エネルギー源である自然エネルギーの普及、拡大が急務となっている。

さて、原発100万kWが1年間稼働した場合の総発電量を以下に試算した。家庭で使う月電力消費量はおおよそ300kWであり、これを時間あたりに換算すると0.42kW/h、つまり、約240万世帯に電力を供給する能力がある。また、建設費は35万円/kWとすると3,500億円程度になる。なお、平成14年度から平成22年度までの9年間の原発の設備利用率は、60.0%から73.7%であった。

燃料費は、使用済み核燃料の処理方法により変動するが、単価等は明示されていない。また、事故等による汚染対策費等も含まれていない。

原発の年間発電量；100万kW/h × 24h × 365

日 × 0.66 ÷ 58億kW

原発の所内率を4%に設定すると送電量は約56億kWになる。

ところで、原子力発電における二酸化炭素排出原単位（1kW発電につき二酸化炭素排出量は20g-CO₂/kW）とすると100万kW発電所の年間排出量は約12万トンに相当する。従来の原発の年間発電量を3,000億kWとすると約610万トンに相当する。^{※2)}

（2）100万kWの石炭火力発電による年間発電量；約66億kW、燃料費；約240億円/年
〈100万kWの石炭火力発電所の年間発電量と燃料費；〉

2010年の試算によるとこの規模の建設費は約23万円/kWであるので、100万kWでは2300億円に相当する。

現状の石炭火力発電の発電効率は約42%、石炭の発熱量が25.70MJ/kg（6,150kcal/kg）として石炭1トンの発電量は約3,000kWに相当する。また、プラント操業では必ず定期点検をとまなうので停止期間を伴う。設備利用率を最大80%に設定（古くなるにしたがって低下する。）すると年間発電総量は約70億kWに相当するが、石炭火力発電所の所内での電気使用量が多く、6%程度に相当するので、実質約66億kWで原発1基分と同等であろう。

石炭火力の年間発電量；100万kW/h × 24h

$\times 365 \text{ 日} \times 0.8 \div 70 \text{ 億 kW}$

年間供給量＝70億kW×0.94（石炭火力発電所の所内率6%）＝66億kW

しかしながら、石炭火力では膨大な燃料を確保しなければならない。100万kW/hの発電所では、時間当たり333トンの石炭が燃焼され、設備利用率を80%とすると年間に約230万トンの石炭を消費する。2010年度の石炭単価は約8.4千円/tであり、燃料費がおよそ190億円に、さらに石炭税が1.7千円/tであるので、燃料税が約40億円相当なので、約230億円になる。運転経費には、その他に人件費、修繕費、諸経費（運賃、荷揚費など）が必要である。さらに、2030年には単価が9.4千円/tに上昇すると推算されている。なお、年間230万トンもの石炭を取り扱うためには専用の岸壁及び揚陸設備の整備も必要である。

原発事故以前の原発の電力供給量は約3,000億kWであり、これを石炭火力発電で賄うためには、45基の発電所がフル稼働し、年間の石炭使用量は1億トン以上の増加となり、二酸化炭素排出量はおおよそ3億トンに相当する。100万kWの石炭火力発電の二酸化炭素排出原単位（1kW発電につき二酸化炭素排出量は943g-CO₂/kW）とすると660万トン程度に相当する。3,000億kWでは約2.8億トンに相当する。^{※2)}



舞鶴石炭火力発電所
（関西電力HP；90万kW×2基）

（3）100万kWのLNG火力発電所の年間発電量と燃料費；約69億kW，燃料費；約460億円/年

2010年の試算によると、この規模の建設費は約12万円/kWであるので、100万kWでは1,200億円に相当する。

現状のLNG火力発電の発電効率は約51%、LNGの発熱量が54.6MJ/kg（13,000kcal/kg）であるので、LNG1トン当たりの発電量は約7,700kWである。また、プラント操業では必ず定期点検を伴うので停止期間を伴う。設備利用率を最大80%（古くなると低下する）に想定すると年間発電総量は約70億kWに相当するが、LNG火力発電所の所内での電気使用量は約2%程度に相当するので、実質約69億kWで原発1基分を上回る。

LNG火力の年間発電量；100万kW/h×24h×365日×0.8＝70億kW

年間供給量＝70億kW×0.98（LNG火力発電所の所内率2%）＝69億kW

LNG火力では膨大な燃料を確保しなければならない。100万kW/hを発電するためには、時間当たり130トンのLNGが燃焼され、設備利用率を80%とすると年間に約90万トンのLNGを消費する。2010年度のLNGの単価は約49千円/tであり、およそ440億円に、さらに石油税が2.2千円/tであり、燃料税が年間約20億円相当なので、約460億円程度である。運転経費には、その他に人件費、修繕費、諸経費（運賃、荷揚費など）が必要である。なお、2030年には単価が62千円/tに上昇すると推算されている。

原発事故以前の原発の電力供給量は約3,000億kWであり、これをLNG火力発電で賄うためには、44基の発電所がフル稼働し、年間のLNG使用量は約4,000万トンの増加となる。LNG火力発電における二酸化炭素排出原単位（1kW発電につき二酸化炭素排出量は599g-CO₂/kW）とすると400万トン程度に相当する。3,000億kWでは約1.8億トンに相当する。^{※2)}

※LNG（液化天然ガス；Liquefied Natural Gas）

天然ガスは、産出時には常温で気体（ガス）であり、空気よりも軽いので、大気中に拡散しやすい。その組成は、産出する場所により異なるが、主にメタン、エタン、プロパン、ブタン、ペンタン及びこれ以上の炭化水素や窒素が含まれている。ほぼ80%以上がメタンであり、これらの他に不純物として、水・炭酸ガス・硫酸化合物・硫化水素などを含む。

パイプラインが整備されていると、そのまま気体状態で搬送できるが、通常、海外から輸入する場合は、これを液化して液化天然ガス（LNG）として運搬する。メタンの液化温度は約 -161°C であるので、液化により体積はおおよそ $1/630$ に減少し、大量輸送や大量保管が可能になる。液化の過程で、水分、硫酸化合物、窒素などの不純物が除去されるので、きれいな燃料といえる。

LNG運搬船は、ちょうど超大型魔法瓶のように熱を逃がさないようにして冷温を維持し、専用の港で気化（ガス化）が行われる。この冷熱もエネルギーであり、温度差発電、冷凍庫や冷蔵庫などに冷熱エネルギーとして有効に活用されている。

このように火力発電所の建設費は原発よりもかなり安価ではあるが、膨大な燃料を長期的に安定的に確保しなければならない。原発でも燃料費は必要であり、年間30トンのウラン燃料が必要と言われている。燃料費はフロント（燃料費？）で $0.82\text{円} \sim 0.88\text{円/kW}$ とあるので、約50億円程度であろう。また、使用済みの核燃料処理費用が不明であり、バック（処理費用？）が $0.2 \sim 1.1\text{円/kW}$ とあるので、12～66億円程度の幅がある。燃料費は両者を含んで算定されているので、62～116億円と変動する。さらに、事故時の損害あるいは廃



LNG（液化天然ガス）専用運搬船（ネットより）

炉費用等が桁違いに膨大であり、火力発電等の建設費や燃料費と比較してもあまり意味がないように思う。

このように、火力で依存できるとしても消費する燃料が膨大であり、長期的に安定的な確保は難しく、国際的な価格高騰を招くともいわれている。さらに、二酸化炭素排出削減問題を抱えているので、火力での代替は一時的な対応であり、当面、最小限の原発を稼働せざるを得ないところに落ち着く。原発は進むべき方向と思うが、原子炉を停止しても54基の原発は残っているのであり、廃炉といっても放射性廃棄物の処分場のない現状において早期に実現できるはずがない。原子炉は停止しても核燃料はそのままであり、ウランの壊変で常時結構大量の発熱が継続するので、冷却を続けなければならない。仮に、今回の福島原発事故のような電源の喪失、あるいは燃料プールの水槽の破損で使用済み核燃料が露出した場合、膨大な熱により燃料棒が溶解し、放射性物質が漏出するあるいは核反応が起こる可能性さえありうる。

つまり、仮に全ての原子炉を停止したとして、すぐには廃炉ができないのである。多分、停止したままではそぼそと管理を続けることになる。老朽化により建屋や配管の損傷、あるいは地震等により崩落事故が起ってあわてて対策をするような、そんな気がしてならない。廃炉ができないこと、停止中の維持管理問題、残存する核燃料の取り扱い、極めて大きな問題ばかりである。火力発電所は停止して解体すれば済むことであるが、そのような生易しいことではないのである。もっとその道のプロの方々がきちんとわかりやすく、広報していただきたい。

現実的には、安全であると評価できる原発は動かしながら廃炉技術（処分方法を含む）を早急に確立して対応した方がリスクは小さいのではないかと思うが？？？とつぶやいてみました。

脱原発の議論をみると、発電能力のみで比

較する事例が多く、これはあまり意味がないのであり、実発電量で比較すべきであることが基本であることを紹介した。

【参考】

【電源別のライフサイクル-二酸化炭素排出量 (g-CO₂/kW)】※2)

二酸化炭素炭素排出を燃料燃焼と原料・運搬・廃棄など間接排出がある。

前者を直接排出、後者を間接排出といい、排出総量は両者の合計。

電源別のライフサイクル-CO₂排出量
(発電出力1万kW；g-CO₂/kW)

電源の種類	排出量	直接	間接
風力	25	0	25
太陽光	38	0	38
地熱	13	0	13
水力(中規模)	11	0	11
原子力	20	0	20
LNG(複合)	474	376	98
LNG(汽力)	599	476	123
石油火力	738	695	43
石炭火力	943	864	79

※排出量の推計は、物量推計と排出量推計の2段階からなる。発電施設の建設や運転に投入される燃料・資材の種類・投入の推計、後者は、燃料燃焼による直接排出量とそれ

以外の間接排出量の推計です。間接排出量は、発電施設や燃料取扱い施設の建設・運用に投入さえる物質。資材の製造に伴う排出量(素材体化排出量)と関連する加工・建設などの行為に起因する排出量(行為随伴排出量)の2つの合計である。

【追記】

私が、最初に手掛けた調査研究が昭和51年「廃棄物処理および資源再利用システムにおけるLNG冷熱の適応性に関する研究」(厚生省認可社団法人 日本廃棄物対策協会)であった。姫路にLNGの受入基地を整備するに当たり、-160℃の冷熱の利用を幅広く調査したものである。とくに、物質は低温下では脆くなるので、廃プラでもゴムでも簡単に破碎・粉碎することができる。冷凍破碎である。廃棄物関係の業務はじめてであったが、関西学院理学部化学科の研究室で物理化学の卒論が、低温下で色が変わる(サーモカラー)現象のメカニズム解明であった。液体窒素(-198.6℃)を取扱っていたので、取り組み易かった。また、原研ではプラスチックに種々な雰囲気や添加材を加えてコバルト60γ線を照射して物性変化を調べる基礎研究していた。液体窒素を使って添加剤の脱気操作にも慣れていたし、プラスチックの性質についてはかなり詳しくあった。しかし、廃棄物の知識がほとんどないので、当時協会の副会長であった京都大学故岩井重久先生及び門下の方々にはずいぶんと教えていただいた。感謝する次第です。

〈参考資料〉

※1) コスト等検証委員会報告書；平成23年12月19日 エネルギー・環境会議コスト等検証委員会

※2) 電力中央研究；電源別のライフサイクル二酸化炭素排出量の評価-技術の進展と情勢変化を考慮して再評価-、電中研ニュース、No.468 (2010.8)