

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	孫に残すエネルギー
著者(和文)	宇多村 元昭
出典(和文)	東京九華会総会卓話
発行日 / Pub. date	2012, 2

孫に残すエネルギー

みなさんこんにちは！

ただいまご紹介にあずかりました 41 年卒業の宇多村でございます。防府市富海で生まれ育ちました。

本日の話題は、わが国のエネルギーの確保を短期的・中期的・長期的にどのように進めたらよいのかということであります。この問題は原発をどうするのかという議論をぬきにしては語れません。そこで、福島原発事故の真相を私なりに整理し、そのうえでこのような目次に沿ってお話を進めてまいりたいと思います。

福島第一原子力発電所には 1 号から 6 号まで 6 基の原発があり、地震発生時 1、2、3 号が運転中、4、5、6 号は定期検査で停止していました。運転中の原子炉は地震を検知してすべて自動停止し、核反応は停止しました。しかし、原子炉は停止しても余熱を出し続けます。送電線の鉄塔が倒壊し給電が途絶えましたが、ただちに非常用ディーゼル発電機が立ち上がり、余熱の除去が始まりました。ここまでは、設計通りでした。

図 1. ところが、地震のあと十数分後にこの図に示すような高さ 14 m の津波が原発を襲い設備を破壊し地下にあった電源装置が水につかったため、非常用電源も失われ、機器が動かなくなりました。

図 2. そうなると余熱を取り除けないので、1、2、3 号はいずれも原子炉の水が沸騰・蒸発して圧力容器から外に逃げたため、原子炉が空焚きになって炉心溶融（メルtdown）が起きました。また逃げた蒸気により格納容器の温度と圧力が上がり設計値を越えたため、格納容器が部分的に壊れて、水素と放射能が原子炉建家に漏れ出しました。水素は大気中の酸素と反応して爆発し大量の放射能が環境に放出されました。このような事故の拡大の究極原因は、原子炉の余熱を海に捨てるという冷却機能を失ったことにありました。

図 3. 格納容器には圧力上昇による爆発を防ぐためにベントと呼ばれるガス抜き装置が設けてあります。福島ではこのベントを開けるタイミングが遅れたのです。ベント操作が早ければ格納容器の破損を防げ、爆発は避けられたはずですが。

ベント操作が遅れたのは、これを開ければ環境に大量の放射能が放出するので、公衆被爆を恐れる東電幹部に判断の迷いが生じたからと思われる。

（アニメーション）欧州の原発のようにベント装置と煙突の間にこのような放射能フィル

ターが付いていたなら、放射能の環境への放出量を 1/100 程度に抑えられ大量の公衆被爆を心配する必要がなくなるので、ベント操作を早めに実施でき爆発も防げたはずです。

実は、いまから 25 年前になりますが、米国のスリーマイル島の原発での炉心溶融事故の再発を防ぐための国際共同研究が実施されました。私もこれに参加しました。共同研究はフィルター付ベントの設置の必要性を結論づけました。欧州はこの進言を受け入れ実施しましたが、日本はベントはつけましたがフィルターは付けませんでした。国内の同型のすべての原発が今そのような状態にあります。何故か。その訳は、政府がベントの採否を電力会社の自主判断に委ねたことにあります。経済優先と「安全神話」が災いて放射能フィルターを付けなかったのです。この判断ミスは、福島原発の被害の拡大を決定づけただけに、その研究に従事した者としてまことに無念です。

現在、1～3号炉は、冷温停止を達成していますが、なお予断をゆるしません。循環冷却が途絶えれば、崩壊した燃料の塊は再び溶解します。

1～4号は廃炉が決定しています。崩壊した燃料の取り出しは10年後、廃炉が完了するのは30年後です。事故の真の終結には世代を超えた長い時間がかかります。

図4. この事故による経済的損失すなわち国民の負担はどのくらいでしょうか。東電の試算によれば、廃炉も含めた今回の事故対策費用は8兆6000億円です。これは、原発21基を新設する数に相当します。既設原発の約4割です。東電は資産の売却で対応できるかというところが難しいようです。対策費の大部分は、電気料金への上乗せと税金で賄われることとなります。事故の後始末にかかる費用と労力は巨大です。それが生産の拡大に結びつかないところにやりきれなさがあります。

もう一回、類似事故がおこると累積赤字を蓄える日本はたちゆかなると思われます。

現在稼働中の原発は7基あり、これらが計画停止し今後再稼働がなければ今年4月には全原発が運転停止に至ります。

以上で福島原発事故の整理を終えます。

ここからマスコットのゲンコちゃんに登場してもらいます。

彼女がつぶやいています。

すべての原発が停止するとしたら今年の夏の電力は間に合うでしょうか？電力の供給能力は十分でしょうか。

国内電力供給の1/3を占める東電を例にとりあげて調べてみましょう。

図5. 東電の発電実績と発電設備容量をこの図に示します。昨夏、東電管内の最大電力（ピーク）は4922万kWを記録しました。近年のピークは6100万kWですから、昨年の夏は最大電力を20%下げたわけです。他方、総設備容量（発電能力）は6239万kWあります。そのうち原発比率分（19%）を差し引いた残りの供給能力は、このように昨

夏のピーク電力を約3%上回っています。この余力の程度は通年の予備力とかわりませんから、今年と同じ使い方をすれば原発全停止の事態にも対応できます。

昨夏の成功は、計画停電や労働日の曜日シフトなど苦勞と不便を伴うものでした。このやり方で節電を数年続けるのはしんどいことです。自然な対応方法はないのでしょうか。

そこで、我が国の電源の利用率を調べてみました。利用率とは、設備が一年間フル稼働したとしたときの発電量に対する実際の発電量の割合を示します。我が国は60%ですがドイツや北欧では70%です。これは我が国の発電設備の容量が欧州と比べて過剰であることを示しています。

発電設備の容量は年間の最大電力需要を満たせるように決めています。一方、電力需要が平時の10%も増える最大需要（ピーク）の累積時間は高々10時間程度です。ちなみに一年は約8000時間ですからその1/800です。したがって、電源の利用率を上げるには、ピークが発生するわずかな時間の電気の使い方さえ工夫すればよいことになります。これを抑えれば保有設備を10%軽量化できるので欧州並みの利用率70%を達成できます。

ではいつどこで大量の電気を使っているのかといえば、

盛夏の昼下がりの気温が32.3℃を越える時で、その電力の半分はエアコンに原因があり、しかも事業系、業務系がその90%を占めていることがわかっています。九州電力が行った1986～1992の7年間の実験によれば、エアコンに12分の冷房と3分の送風を交互に切り替える回路を導入すると、ピークを12%低減できました。

- (1) こういうハード対策を行えば、知らぬ間に節電できます。ソフト面でも、
- (2) 節電すれば単価が安くなるような電気料金体系の見直し、さらに
- (3) 自家発電を優遇する措置などの制度改革を進めれば、

無理な節電をせずともピーク電力は低下し、利用率は向上するはずです。

さて、このようなことから、短期的には原発が全停止しても電力需要をみたせそうなことがわかりました。

図5'. 一方で、原発は発電コストが安いというメリットがあり、原発に代えて休眠中の火力発電所を立ち上げると発電コストが高いので電気代があがることが懸念されています。緑色で示す2004年のデータからは、このように確かに原発の発電単価が一番低かったのですが、青色で示す事故後のデータでは、原発の発電単価は天然ガスを燃料にするLNG火力とほぼ同等です。先に述べた事故対策費、自治体に支払う交付金をコストに上乗せしてあるからです。この原発の数値の算定には、メルtdown事故が500年に一度の頻度で起きるものとしその対策費を折り込んでいます。500年という数値にはいかなる根拠があるのでしょうか。事故費用を500年かけて回収するという意味なら、言わば私の一族の開祖の失敗のツケを私が負担していることになりはしないでしょうか。そんなことはあり得るはずがなく、倫理と哲学も動員して根拠ある数値にすべきでしょう。先月、原発の見直し単

価が 8.9 円/kW時と発表されましたが、これから本格化する除染費用はこれには含まれていません。大まかには追加対策費 1 兆円につき原発の発電単価は 0.1 円増加すると云われています。

原子力発電からの電気は安いものではなくなりました。

次の議論にはいりましょう。

ゲンコちゃんがまたつぶやいています。

原子力発電はCO₂を出さないクリーンなエネルギーですが、今ある原発のCO₂削減効果を減らさずに既存の電源を使って原発を置き替えることはできるでしょうか？

この問いに対する答えが本日のポイントです。

図 6. 高効率の複合火力発電を用いると代替は可能です。複合火力は、ガスタービンと蒸気タービンという二種類の発電原理を組み合わせることによって、少ない燃料で発電する効率の高い発電方式です。石炭に比べて CO₂ 含有量の少ない天然ガスを燃料にしており 1990 年代半ばから実用化されています。

これからの議論の予備知識として、日本の発電量の内訳を申し上げますと、2009 年時点で、原子力 30%、LNG 火力 30%、石炭 25%、水力 8%、石油 6%、再生可能エネルギー 1% となっており、原子力、石炭と LNG 火力で 85% を占めています。ここで LNG 火力とは、天然ガスを燃料にして蒸気タービンだけで発電する汽力タイプと複合火力を合わせたものです。

複合火力での、発電量当たりの CO₂ 排出量は、CO₂ が少ない天然ガス燃料と燃料消費の少ない発電方式の採用による相乗効果で、石炭火力の $40/60 * 0.55 \div 1/3$ に減ります。

図 7. そこで、この複合火力発電による原発の置き換えを考えてみましょう。原子力の CO₂ 排出量はゼロですから、複合発電を追加して増えた CO₂ を、石炭火力を複合発電で置き換えて相殺します。発電電力量の比率は石炭 25%、原子力 30% でしたが、いま複合発電を 45% 増やし、石炭を 15% 減らし、原子力を 30% 減らして 0 にすれば、置き換え前後で、総発電量と CO₂ の排出量は変わりません ($\because 45\% * 1/3 = 15\%$)。

加えて、複合発電は原子力や火力よりも効率が高いので、我が国の一次エネルギーの供給量（燃料量）を 32% 削減できるというメリットが生まれ省エネも進みます。これを 2030 年までに段階的に実施します。

複合火力発電を推進する他のメリットは

- (1) 日本に世界トップレベルの技術があり、
- (2) 建設単価が原子力の約 30% と安く、建設に要する工期も短い、さらに
- (3) 起動停止を迅速に行えるので、需要の急激な変動への追従が容易で自然エネルギー

との併用に有利という点にあります。

複合火力の発電単価はいくらでしょうか。

某重電メーカーから入手したデータを用いて複合火力の発電単価を試算しました。結果をこの図に示しますがLNG火力、すなわち汽力と複合火力の混合平均より3円以上も安いことがわかりました。主力の発電方式のなかで圧倒的に安い電源であることがわかりました。これまでLNG火力の発電単価はひとくくりにされてきましたが、エネルギー選択を正しく議論するためにも、LNG火力の発電単価を複合火力と汽力に分離して分析し表示することを提案していきたいと考えています。

図7'。CO₂を増やさずに原発を置き換える方法を説明しましたが、次にCO₂削減の方法を説明します。

2030年までのCO₂削減は、

(1) まず省エネと節電で、20%

(2) 並行して再生可能エネルギーの漸次導入で化石燃料を代替します。

自然エネルギーの追加導入量を20%（太陽光発電10%、風力10%）と見込み、これで、石炭火力と複合火力を置き替えれば、合計で発電部門のCO₂削減量は現状比で35%減、1990年比で25%減になり、鳩山公約を後押しするシナリオを描けます。

ところで現在電力量で1%未満の光発電をこれから20年で10%導入することは、可能でしょうか。この導入量は、国の目標（54GW）の約2倍にあたります。全国に2800万軒ある一戸建て住宅の80%に4kWの設備を取り付けた場合に相当します。所要面積は平地の2%程度ですから空地や休耕田を利用したメガソーラーも動員すれば住宅の分担は大幅に軽減し、場所は確保できます。この普及の鍵はあとで触れるコストによります。

このように、複合火力の導入促進と石炭火力の縮小、再生可能エネルギーの導入により、原子力抜きでも中期的な電力エネルギーの確保、CO₂削減の見通しが立つことをお分かりいただけたかと思います。

図8. しかし、複合発電の大量導入には燃料の天然ガスの確保が必要です。これを我が国は全量輸入に頼っています。資源争奪戦を避けるため自給の道はないのでしょうか。実は潜在力としてはあるのです。

近年、日本の近海1000mの深海にいわゆる燃える氷「メタンハイドレード」が大量にみつき、次世代のエネルギー資源として期待されています。これは、化学組成が天然ガスに類似しており複合火力の燃料になりえます。これを安全に、低コストで採掘する技術の早期開発が望まれます。三井造船などが開発に着手しており今週の2月14日に愛知県渥美半島沖70kmで世界初の採掘試験が開始されました。

日本の国土は海まで含めると世界で6番目に広いので、海域の資源開発の意義は大きいと言えます。メタンハイドレードのほか最近シェールガスの発見が世界中で相次いでいます。これは天然ガスと同じ成分です。埋蔵資源量は天然ガスの6倍程度と云われ、石炭をこえる埋蔵量であることは間違いないようです。しかし、環境破壊を伴わない採掘技術の開発に課題があるようです。

しかし、メタンハイドレードやシェールガスなどの非在来型の化石燃料を含めても今世紀の後半をむかえると可採エネルギーの枯渇の問題が現実味を帯びてきます。

そこで、資源面から原発の可能性を検証してみましょう。

ゲンコちゃんのつぶやきが続きます。

図9. ウランは高速増殖炉を導入すれば長期的なエネルギー源になりうると云われます。なぜかと云えば、燃料となるウランの確認可採埋蔵量は世界で稼動中の軽水炉で燃やすと100年分ですが、もんじゅのような高速増殖炉なら、軽水炉では廃棄物だったウラン238が炉心で燃えるプルトニウムに転換されるので、燃やした量以上の燃料を炉心で新たに作り出せるのです。

これをリサイクルして燃料として再利用すれば、現在の埋蔵量でも原子燃料は3000年もつと云われています。これが実現すれば、エネルギー枯渇の問題はほぼ解決できます。

これが、原子力発電のウリでした。

図10 この夢の原子炉開発に向けて50年世界的に研究開発が進められてきました。しかし、この夢は現在大きな技術的な暗礁に乗り上げて消えかかっています。

これは核燃料サイクルと呼ばれるものです。燃料を生み出し、プルトニウムを抽出し、燃料を加工する三本柱の技術からできています。

高速増殖炉では世界一の技術力をもつフランスの実証炉で、1998年原因不明の出力低下が起こり運転を停止しました。その原因の特定がつかえず、フランスは高速炉開発から撤退したからです。現在、開発が再開するかどうか見通しは立っていません。2017年に再開するかどうかを決定することになっています。米国は初めから本気ではありませんでした。

燃料リサイクルのための再処理技術についても、わが国では10兆円を投じた使用済み燃料再処理プラントの開発が暗礁に乗り上げており、核燃料サイクル技術の完成の見通しが立っていません。このように核燃料サイクルの3本の柱のうち2本の技術が未完成です。

軽水炉でウランを燃やす限りリサイクル効果が小さいので、ウランは石炭より埋蔵量の少ない有限なエネルギー資源と言わざるをえません。

このように長期的エネルギー供給源としての原子力発電の展望は開けていません。

ゲンコちゃんが聞いています。

そこで化石燃料の消費速度を調べてみましょう。

図 1 1. 地中から採掘するエネルギー資源の消費速度は加速しています。2011 の英国石油 BP の統計によると、この 2 年間で石炭の可採年は 133 年から 119 年と、14 年も短縮しました。中国と米国が石油より安く価格が安定している石炭の利用を進めているからです。この表は、確認可採埋蔵量の可採年の最新データをもとに、すべてのエネルギー資源を使い尽くす年数を予測したものです。表中の可採年とは、特定の資源を 2009 年の勢いで消費すればあと何年でなくなるか、という数値を示しています。世界エネルギー機関が 2011 年 3 月に公表した 2009 年末のデータによれば石油は 46 年、天然ガス 63 年、ウラン 100 年そして石炭 119 年です。

最初に石油がなくなると、その需要はのこりの資源に降りかかって消費率が上がりますので、次の資源の寿命が短くなります。これを繰り返すと、最長の石炭を含めてすべての資源が枯渇するまでの時間は、可採年よりずっと短縮します。

世界エネルギー機関は今後の消費の伸びを世界平均で年率 1.6% と見ており、これを考慮すると、資源の枯渇は 51 年後とさらに短縮します。

図 1 2. 天然ガスの 6 倍あるといわれるシェールガスの可採資源量を込みにしても、75 年後には資源は枯渇します。シェールガスを含めた天然ガスの埋蔵量は可採年で 400 年もあり石炭をはるかに超える量があるのにと不思議に思われるかもしれませんが、天然ガスの消費率が 1/4 であり、途上国の発展で 70 年後の世界の消費速度はいまの 3 倍と推算されるので、寿命は高々 1.5 倍すなわち 75 年にしかなりません。

このような結果から、化石資源の争奪激化が思ったより早く訪れることが予感できるでしょう。われわれはこの事態に備えなければなりません。

図 13. したがって、孫やひ孫の時代につけを残さない長期エネルギー戦略の策定に、太陽エネルギーに代表される、汲めども尽きない再生可能エネルギーの本格的な開発を盛り込むことは必然と考えています。

鉄腕アトムさえもこのように言います。

図 14. 目を空に転じてみましょう。地球には世界の 1 次エネルギー需要の 12000 倍ものエネルギーが空から降り注いでいて、地上に届くものはその半分、6000 倍です。

図 15. その日射量と人類の消費エネルギーとの関係を実感するために、オーストラリアの砂漠地帯に、正方形の地上絵を二つ描いてみました。それぞれの正方形の中の年間日射量の合計が日本と世界の一次エネルギー需要に一致しています。日本は一辺が 50 km、

世界は230kmとなり、いかにわずかな面積で済むかを実感できるでしょう。

しかし、日本の陸地での利用に限定すると、電力需要の20%程度が上限ではないかと思われます。その理由は、

- (1) 年間日射量がオーストラリアの1/2と少ないこと、
- (2) 陸地の67%が森林で覆われており太陽光パネルの設置に不適、

したがって、2050年ごろの太陽エネルギーの本格的な導入段階では、オーストラリアなど日射量が豊富な国から、太陽エネルギーを液体水素やアルコールの形に変換して輸入する方法を取ることになると考えています。

菅首相が退陣と引き換えに成立させた「再生エネ特措法」で、再生可能エネルギーは電力会社が固定価格で全量買上げることを決めました。先行したドイツの事例のように再生可能エネルギーの普及は進むでしょう。ただし、買い取り価格が切り下げられないように留意すべきでしょう。

太陽エネルギーの利用方法の中でも、なにかと注目されている太陽光発電の可能性を考えてみましょう。太陽光発電は現実的か？という質問です。最大の問題はコストです。

図16. 現在光発電の設備単価はkWあたり70万円で20万円を国が助成しています。一方、複合火力発電は12万円ですから、高すぎます。

その価格は、過去十年間、年生産量は4倍に増えているのに量産効果が現れず70万円付近で固定しています。なぜでしょうか。それは、製造過程で大量の電気を消費するプロセスを抜本的に改善できていないからです。技術の問題です。

図17. このために、同じプロセスなら電気代の安い中国で作ると売価は下がり、2010年から中国製が市場を席巻しました。

日本は4年前、世界一の太陽電池生産国でしたが、いまは円高のあおりも受けて中国の後塵を拝しています。光発電の世界の特許の半分は日本から出ているのに事業が振るわないのはまことにもったいないことです。

これからの日本の投資戦略は、効率のよい高級なものを探求するより、製造に要するエネルギー消費を抑えるための技術の開発へ投資を重点化することが必要と考えています。

もうひとつの課題は、自然エネルギーの電力の安定性の確保です。発電量がお天気次第、風向き次第という問題があります。これに対しては、スマートグリッドという概念で、地域内で需要と供給をバランスさせる技術の開発がすすめられています。再生可能エネルギーの開発は、このスマートグリッド技術の進歩と歩調を合わせて導入量を増やすことになります。

図18. 以上の議論をもとに将来の電源構成の絵姿を描いたのがこの図です。複合火力発電

の大量導入で 2030 年までに原発と石炭火力を徐々に置き換えます。合わせて供給側と消費側の双方で省エネ・節電を推進することでCO₂の削減を図り、今世紀の後半にはいるころには化石資源の枯渇を視野にいれて、すべてを再生可能エネルギーで賄うというものです。

目下、我が国の中期的エネルギー戦略が政府のエネルギー環境会議で審議されており、今夏に「エネルギー基本計画」が策定されます。1年半前の「エネルギー基本計画」の基調は原発の大量導入でしたがその流れを継承することは困難でしょう。

これまで盲点であった複合火力導入による中間シナリオの採用を期待します。

本日の話をまとめますと、

(1) 原発がなくとも今夏の電気は足りませんが、短期的には電気の使い方を多角的に工夫して電源の利用効率を欧州並みにあげる電力の消費側の努力が必要です。

(2) 中期的には複合火力発電の大量導入による原発の漸次置き換えと再生可能エネルギーの部分導入と省エネ・節電の三本建で電力供給とCO₂削減を同時に達成するシナリオがあります。

(3) 今世紀後半には非在来型を含めた化石燃料が底をつくので再生可能エネルギーしかエネルギー調達の方法がなくなります。そのために今から本格的な開発投資を開始すべきです。

(4) 太陽光発電普及の最大の課題はコスト低減にあり、消費電力の少ない製造方法の開発に目標を絞った重点投資が必要です。

(5) また、再生可能エネルギーの国内の資源量は少ないので、サンベルト地帯の太陽エネルギーを輸入するための外交上の布石も重要であると考えています。

(6) これからは消費者がエネルギーを選択して電気代を支払う時代が到来すると思われます。エネルギーの選択では子孫との間の衡平性の視点があることを忘れてはならないと思います。

皆さんこの方をご存知でしょうか。

九華会の大先輩、兼重寛九郎先生です。

東大機械工学科の教授で、戦後の科学行政を引っ張られた方です。

特に、日本学術会議議長として、「民主、自主、公開」の三原則を謳って政府の原子力政策に釘をさしつつも推進を容認されました。

天国の先生は福島原発事故をどのようにみられているのでしょうか。

おそらく、三原則のうちのひとつ「公開」の原則を守らなかったつけである！と、い一番に叱責されるのではないのでしょうか。

エネルギーの問題に国民の全員が参画し正しい議論を沸き起こすために、兼重先生の云われた情報公開の原則を徹底する必要があると思います。

ご清聴ありがとうございました。