

| | |
|--------------|---|
| Title | 20年後の日本のエネルギー問題と地域性 |
| Author(s) | 弘岡, 正明 |
| Citation | 年次学術大会講演要旨集, 32: 126-129 |
| Issue Date | 2017-10-28 |
| Type | Conference Paper |
| Text version | publisher |
| URL | http://hdl.handle.net/10119/14914 |
| Rights | 本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management. |
| Description | 一般講演要旨 |

20年後の日本のエネルギー問題と地域性

○弘岡正明（テクノ経済研究所）

要旨：石油の賦存量は有限であり、世界はすでに石油減耗の時代に入っており、20年後には今の60%程度しか石油が取れなくなる。昨年度は石油に代わるエネルギー資源としてトリウム溶融塩炉が期待できるとして、トリウム原子力エネルギーに焦点を当てて議論を展開した。しかし、20年というのはあまりにも直近で、トリウムエネルギー資源が実用化に間に合うのか、よほど国の政策として、重点的に努力しないとその実用化は期待できない。しかも、福島原子力発電所の事故以来、日本での原子力アレルギーは容易に収束できない見通しでもある。そのときどうするのか、その代案として、日本のエネルギー資源としてなにが可能なのか。今考えられるのは、メタンハイドレート、地熱発電、ガス資源などが浮上するが、現実問題としてどの程度の可能性があるのか、量的に十分な量が供給できるのか、その問題を考える。

1. 石油資源減耗のシナリオと中期予測

昨年11月の第31回年次学術大会で、2H06「石油減耗とエネルギー資源のシナリオ」と題して発表した。その内容は、石油は1億年ほど前の白亜紀前後に当時のテティス海で生成した動物の死骸が地熱で変性されて、蓄積された特異の生産物であって、その前にもその後にも生成したことがない、特異な産物であって、その賦存量は有限であり、今後も生産されることはない希少資源である。近代国家に入ってその有用性が発見され、今日の近代工業化社会の形成に重要な役割を果たしてきた。しかし、その賦存量は2008年にピークを迎え、現在、石油はすでに減耗の時代に入っている。20年後にその資源量は現在の賦存量の60%になると予測されているので、今の石油消費量の40%を他のエネルギー資源で代替することが待たなしの課題となっている。たった20年でこの要請が叶えられる可能性は極めて低いと思われるが、政府を始め関係機関の危機意識は高くない。

1972年、米国の地質学者、M. King Hubbertは、米国の油田の採掘経緯を調べたところ、国内各所の油田が、採掘開始からその埋蔵量のピークを経て減耗の時期に入る経緯は、左右対称の釣鐘型になることを発見、その経緯の対称性から、ピークを過ぎた未来の採掘量の経時変化を予測ができることを発見した。この経過の推移から、米国の各油田の将来の採掘可能量の経緯を推測できることとなった。これをHubbert Peakという。欧州の石油ピークの研究機関、ASPO (Association for the Study of Peak Oil and Gas) のCambell, Collin J. らは、この手法を使って世界の油田のOil Peakを推測した。その結果、世界の石油埋蔵量は2008年にそのピークを過ぎ、減耗の時代に入っていることを突き止めた。(Richard Heinberg, "The Party's Over", Calairview Books (2003)) この予測によれば、あと20年後には、石油の賦存量は今の60%しかなくなることになり、現在の石油消費量の40%を他のエネルギー資源で賄うことが必要になることを意味する。たった20年で現在の石油消費量の40%を他のエネルギー資源で置き換えるなどと云うことは至難の業であり、よほどの対策がない限り、ほとんど不可能のように思われる。それまでも、石油の高騰が始まり、経済的には大きな混乱が起こればと思われる。それは喫緊の問題として対応すべきことであろう。特に、石油にその原料を全面的に依存している化学工業にとっては、その原料であるから、生産を直撃する危機となる。他のエネルギー業界では、他のエネルギー源を置き換える選択肢があるが、化学工業はその原料としての石油であるから、代替案はない。いまさら昔の石炭化学に回帰するという選択肢も非現実的である。

2. ウラン原子炉の問題点とトリウム溶融塩炉の可能性

昨年は、石油代替エネルギー資源として、原子力、特にトリウム原子炉について論じた。特に、我が国では、福島原子炉の事故以来、原子力エネルギーの導入には、ある種のアレルギーがあり、特に固体の炉心があるウラン原子炉は、増設はおろか、現存の原子炉を長時間かけて廃棄に向かう

べく動いている。昨年、筆者はこの問題を取り上げ議論してきた。特に、トリウム溶融塩炉に焦点を当て、固体の炉心がないトリウム溶融塩炉が唯一、実現の可能性があるとして指摘してきた。トリウム溶融塩炉は、1960年代に、米国エネルギー省 DOE が実験炉を築炉し、5年余り成功裏に運転した実績がある。しかし、当時すでにウラン原子炉が実用化の段階に達しており、いまさら引き返すわけにはいかない段階にあったので、お蔵入りとなった。1980年、京都大学教授で、南極越冬隊長も務めた、西堀栄三郎は、ウラン原子炉の危険性を指摘し、その代案としてトリウム溶融塩炉のすぐれた特性を強調した。(日本工業倶楽部第206回産業講演会講演(1980))

ウラン原子炉は軽水炉といわれる炉が工業化されており、いわゆる濃縮ウランを使う。問題は、1) 固体の燃料棒を使う。2) 炉心を通る冷却水が150気圧という高圧で流れており、危険な要因となっている。3) 燃料の中心温度が2000℃程度の高温なのに対して、冷却水は300℃が限度なので、大きな熱ギャップがあり、その熱勾配が大きな危険要素となっている。それに対して、トリウム溶融塩炉では、固体の炉心、燃料棒がなく、均一な溶融塩炉であり、炉心溶融といった致命的な事故が起こらない。すなわち、トリウム溶融塩炉は、490℃前後で溶融した溶融塩を使うので、炉心溶融事故が起こらない安全な炉である。溶融塩はリチウム、ベリリウム、トリウム、ウラニウムの各フッ化物の混合物の溶融塩を使う。蒸気圧が非常に低く、常圧で使うので、安全である。4) ウラン原子炉では、固体燃料の寿命を考えると、ウラン燃料を余分に入れておいて、過剰な核分裂反応を抑えるために制御棒を十分入れておかなければならない。したがって、たとえば操作ミスで制御棒が規定以上に抜き取られると、原子炉が急激に暴走する危険がある。事実、スリーマイル島原子炉事故、チェルノブイリ原子炉事故、福島原子炉事故、はいずれも炉心溶融にかかわる暴走によるものであった。その意味で、固体の炉心がないトリウム溶融塩炉は極めて安全な炉といえることができる。一方、ウラン原子炉では、核分裂で生ずるフィッションプロダクツの処理の問題がある。しかし、20年を待たずにトリウム溶融塩炉を実現しようとするには、あまりにも時間的余裕がない。特に、政府がその検討も始めていない現状を考えると、実質的には、タイミングが間に合わない。

3. 各種エネルギー生産方式とエネルギー得率 EPR

表1. 各種エネルギー生産方式の EPR

| | | |
|--------|-----------|--------|
| 石油生産 | >100 | (19世紀) |
| | 8 | (現代) |
| 原子力発電 | 17, 20~40 | |
| 水力発電 | 15 | |
| 石油火力発電 | 7~9 | |
| 地熱発電 | 7 | |
| 風力発電 | 4 | |
| 潮力発電 | 2.3 | |
| 太陽光発電 | 2~0.98 | |
| 波力発電 | 1.9 | |

そこで、トリウム溶融塩炉の代わりになる対案のうち、20年後の日本のエネルギー資源として、どのような生産方式があるのか検討する。ここで、エネルギー問題を考える時に大事な指標としてエネルギー得率、EPR (Energy Profit Ratio または Energy Payback Ratio) を表1に示した。石油資源が豊富だった19世紀では、石油生産のEPRは100を越えていたが、現在は8程度に落ちている。それは、深部の石油をスチームの注入などでエネルギーを使わないと採掘できなくなってきたためである。福島の事故以来日本では原子力発電にアレルギーがある。日本では水力発電はもう開発の余地がない。石油火力発電はそこそこの効率があるが、石油を発電に使うのはもったいない。火山国日本は地熱発電が大きな潜在力を持っているが、これについては次章で改めて論じる。風力

発電は常時あるレベル以上の風力がないと実用化がむづかしい。潮力発電は干満の差が大きい地域で始めて可能となる。波力発電は常時高い波が得られる地域で可能となる。これらの中で、EPRが2以下のものは、現実問題として生産方式としては十分な寄与が期待できない。

ここでは、これらの各種エネルギー生産方式の中で特にメタンハイドレート、ガス発電、地熱発電について注目してまとめ、今後の可能性を論ずる。

4. メタンハイドレートの賦存状況と実用化の可能性

メタンハイドレートは、メタンと水の水和物であって、メタン分子が水に囲まれた形で存在する。1960

年代後半、アメリカ主導の学際プロジェクト「国際深海掘削計画」の初期段階で、海洋地殻とマントル

境界までの地質構造をボーリング調査と音波探査で、世界各地の大陸棚海底で連続性のない直線的な地層境界 BSR: Bottom Simulating Reflector を観測、やがてその正体がメタンハイドレートであることが判明した。

地球の各所に広く賦存するが、常温、常圧化では存在できず、低温、高圧下でないと存在できない。それは大陸の沿岸に沿って、海底に広く分布しており、特に高圧低温の海底に賦存している。太平洋沿岸にもかなりの分布がみられる。日本では、四国、紀伊半島、知多半島沖にかけての南海トラフに最大の分布があり、日本海側には、中国地方沖、秋田沖、北海道西北奥尻沖などに分布している。太平洋側では砂層型、日本海側では表層型が多いとされる。メタンハイドレートのある地層の下には、メタンガスなどの気体が存在すると考えられ、それが海底疑似反射面として音波探査を容易にしており、簡単に発見できる。世界的に見て、その存在量は、全世界の天然ガス、石油、石炭の総埋蔵量の2倍以上もあるとの予測さえある。しかし、その賦存域は水深数百mまでの海底に分布しており、それより深い所では、温度が高くなり、存在できない。石川⁸⁾によれば、日本近海にメタンハイドレートが多い理由は以下のようなものである。メタンハイドレートの原料となるメタンは、石油や天然ガスと同様、水中に大量にいるプランクトンや藻類などの生物に由来する。これらが遺骸となって海底に堆積して行き、微生物や地熱の影響を受けてメタンに分解して行く。ここで重要なのはその場所である。プランクトンや藻類のような生物が多く生息する浅い海で、光合成を可能とする太陽光が届くのは深さ 300m くらいまでで、平均水深 130m ほどの大陸棚が生命の宝庫である。その大陸棚の海底には大量の有機物が蓄積されて行く。この時点ではまだメタンは発生していないが、海水の動きで生物の遺骸が深い海に運ばれて行くと、環境は大きく変わる。深い海では酸素を必要とする微生物はいないので、腐敗分解は進まない。さらに深い水深 1000m ぐらいの海に広く分布しているのが嫌気性のメタン生成菌である。メタン菌も有機物を分解することで生命維持を果たしており、その分解によってメタンと二酸化炭素を発生させる。また、地熱や地圧の影響を受けても、メタンは発生する。このような過程で発生したメタンが水と会合してメタンハイドレートが生成することになる。すなわち、メタンハイドレートは、多くの生物が繁殖する大陸棚周辺で高圧、低温を満たす深海が必要となる。幸い日本列島はアジア大陸から続く大陸棚の東端に位置する。広大な大陸棚から大量の生物由来の有機物が日本海や沖縄トラフに流れ込んでくるし、太平洋側も千島海溝や日本海溝、南海トラフなどの有数な深海部が陸地に近い所にあるので、列島から続く浅い海で育った生物の遺骸が深海部に沈みやすく、メタンハイドレートの生成に非常に有利な地理的条件を備えている。日本周辺はこうした好条件にあるといえる。しかも、在来型天然ガスのように硫化水素などの不純物を含まないので、採取後の処理が要らない利点もある。しかし、ハイドレートからメタンガスを得る反応は吸熱反応なので、その反応を進めるには十分な熱の供給が必要になる。それは、石油の自噴や天然ガスの回収とは異なり、十分なエネルギーの供給が必要であることを意味する。すなわち、石油や天然ガスと異なり、生産効率が著しく悪いことで、上述のエネルギー得率（収支比）EPR でいえば、1 以下ということになる。西シベリアのメソハヤ天然ガス田ではメタンハイドレートがシールになっており、フリーガスの生産と共にハイドレートの分解でメタンが生産されたが、主生産物にはなりえなかった。これらの経緯からみるとメタンハイドレートは、その低いエネルギー得率から、現在の所実用化のめどは高くないと思われる。

5. 天然ガス賦存量とガス発電

天然ガスは、世界各地に賦存しており、特に中東、欧州、ロシアなどのユーラシアで、世界の7割以上を占める。中でもサウジ、カタール、イランなどの中東が多く、次いでロシア、アフリカ、アメリカなどである。生産高ではアメリカ 19.3%、ロシア 18.4%、カナダ 5.0% などであり、消費量ではアメリカ 21.7%、ロシア 13.0% などとなっている。世界の天然ガスの消費量は北米 26.9%、そのうち米国が 21.7%、ロシア 13.0%、などである。日本は世界の中でその賦存量はほとんど無視される程度しかない。その殆どを NLG で輸入しており、消費量は世界の3%程度である。日本での天然ガスの6割がそのまま発電用に利用されており、4割が都市ガスに転換されている。発電用が 58.2%、都市ガス用が 41.4% である。日本での一次エネルギーに占める天然ガスの割合は 2009 年で 17.2%、2035 年の予想では 21.8% になる。日本での LNG 価格はほぼ原油平均価格（JCC）リンク方式が主流となっている。一次エネルギーに占める天然ガスの割合は将来増加するものとみられており、世界全体では 2035 年には 2009 年の 1.55 倍となり、先進国、途上国共に増加するが、途上国、特に中国の増加が大きく見込まれている。

6. 地熱発電の地域性とエネルギー容量

日本は環太平洋地熱地帯に位置する火山国であり、世界第3位の地熱資源国である。しかし、地熱有望地域のほとんどが、国立公園や温泉リゾート地域であり制約が多く、その利用率は極めて低く、問題が多い。世界の地熱発電電力量では、アメリカ 23.5%、フィリピン 17.0%、インドネシア 13.0%などに対して、日本は 4.8%に留まっている。今後この有望資源をより有効に活用することが喫緊の課題である。表層の地熱発電に対して、さらに深部をねらう、マグマ発電なども検討に値すると思われる。たとえば、2009年に、火山国アイスランドで、地下掘削プロジェクト IDDP が行われ、北東部の Krafla 地方で、地下 5000mの掘削を行ったところ、偶然にも地下 2100mの地点でマグマ溜りを掘り当てた。これまでにハワイでマグマに掘削ドリルが到達したのは、2007年に1件あっただけで、非常に珍しいことであった。ハワイでは掘削した穴をコンクリートで塞いで対応したが、アイスランドでは地熱発電プロジェクトを進めるグループが穴を塞がずに、資金を投じてさらに開発を進めることを決定、金属で穴を補強し、マグマから極めて近い距離を保ったまま穴を維持したところ、熱はゆっくりと放出されて、450℃という高温、高圧の水蒸気を数カ月わたって連続に取り出すことに成功した。これは、マグマ発電が実現できる有力な事例として、評価された。この事例はマグマが場所によっては比較的浅い地下で利用できる可能性を示すものとして注目された。また、この事例を参考にして、日本では、表層の温泉地や国立公園から離れた地域で、深部マグマを狙って、マグマ発電を試みれば、こういった温泉地や国立公園から離れた地域で、マグマ発電を検討できる可能性を示唆している。

7. 石油代替エネルギーの可能性—まとめ

以上を要約すると、日本の地理的優位性が期待できるのは、地熱発電があり、さらにいえばマグマ発電の一つの期待があると思われる。しかし、20年後に今の60%に落ちる石油減耗に対して、即効的には、質と量において十分代替の候補となりうるものは見出せない。それではどうするのか、前年の発表では、トリウム原子炉が極めて有望であり、期待したが、タイミングとして政府がどれだけの決意で取り組むかにかかっており、今のままではどうにも間に合わない。そこで、今回はその代替の候補として、メタンハイドレート、ガス発電、地熱発電を検討した。この中で、即効的にすぐに対処できるものは見出せなかったが、地熱発電、特にマグマ発電に期待したい。しかし、減耗する石油の供給に十分見合うだけの質と量を有する確かな候補になりうるかどうかには疑問がある。したがってトリウム原子炉が間に合わないときは耐乏生活を余儀なくせざるを得ないことになる。

参考文献

- 1) 西堀栄三郎、「原子力エネルギー開発の新方向」、日本工業倶楽部講演 (1979)
- 2) 古川和男、「原発革命」、文芸春秋 (2001)、同、「原発安全革命」文芸春秋 (2011)
- 3) 吉岡律夫、木下幹康、「トリウム熔融塩炉の開発の現状について」第17回原子力委員会 (2013)
- 4) Heinberg, R. “*The Party’s Over—Oil, War and the Fate of Industrial Societies*”, Clairview (2003)
- 5) Campbell, C.J. “*The Coming Oil Crisis*” Multi-Science Publishing (1997)
- 6) 青山千春、青山繁晴、「希望の現場、メタンハイドレート」、ワニブックス (2013)
- 7) 田村八洲夫、「石油文明はなぜ終わるのか—低エネルギー社会への構造転換」、東洋出版 (2014)
- 8) 石川憲二、「海洋資源大国めざす日本プロジェクト！海底油田探査メタンハイドレートの実力」、角川SSC新書(2013)
- 9) 新田目倅造、「基礎からわかるエネルギー入門」、電気書院 (2013)
- 10) 室井高城、「シェールガス革命 “第二の衝撃” 危機に陥る日本の化学産業、B&T ブックス、日刊工業新聞社 (2014)、
- 11) 有賀 訓、「メタンハイドレート、日本を救う次世代エネルギーの大本命」、学研パブリッシング (2011)
- 12) Geometrics/Vol 49, Pages 1-128,(January2014)/ ScienceDirect.com
Drilling surprise opens door to volcano-powered electricity