

研究指導 石光 真 教授

日本に適した次世代エネルギーは何か

大井保乃香 松川泰子

1. はじめに

1.1 研究動機・目的

東日本大震災によって福島第一原子力発電所の事故が発生した。この事故の影響を受けて、日本では原子力発電所の再稼働に対し賛否両論の意見がある。我々は日本のエネルギー転換時期ではないかと捉えた。

そこで本研究では日本に適した次世代エネルギーは何かを研究し、提案することを目的とする。

1.2 日本の次世代エネルギーの条件

日本に適した次世代エネルギーとして提案する上で以下を前提条件とした。

安全性

- 環境に優しい(有害物質やCO₂を排出しない)
- 国内に資源量が豊富(日本はエネルギーの96%を海外から輸入しているため、国内自給率が極めて低い)
- 安定的な供給(気候等に左右されない)

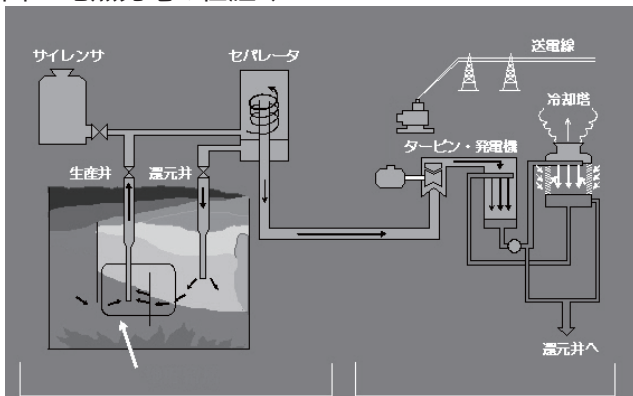
これらの条件から、我々が日本に適していると判断した次世代エネルギーを述べていく。

2. 地熱発電

2.1 地熱発電とは

地熱発電とは、地中深くから得られた蒸気で直接タービンを回して発電するもの。なお、一緒に出る熱水は還元井を使って再び地下に戻して再利用に役立つ。

図1 地熱発電の仕組み



出所:日本地熱開発企業協議会

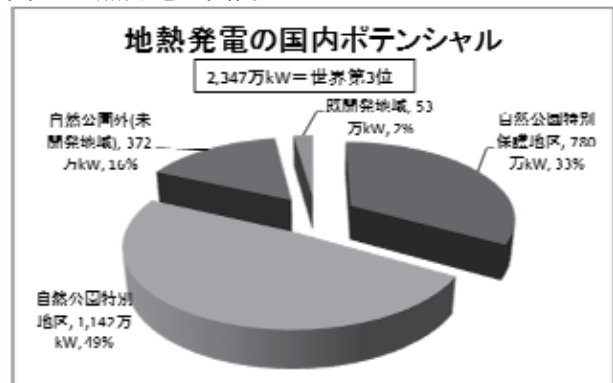
2.2 特長

地熱発電の特長は以下の5つが挙げられる。

数少ない貴重な純国産エネルギーである。

日本は世界でも有数の火山国であり、電力量に換算して2000万kW以上の莫大な地熱資源量がある。

図2 地熱発電の国内ポテンシャル

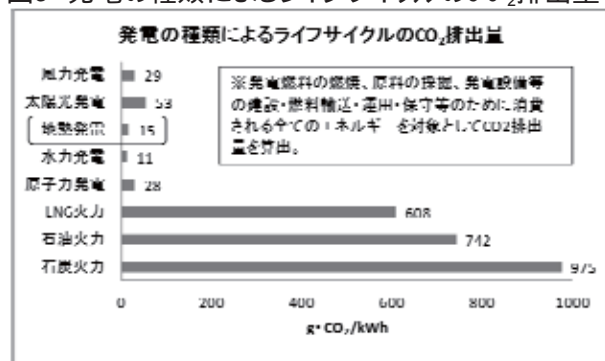


出所:日本地熱開発企業協議会を元に松川作成

マグマの熱は半永久的であるため、安定して利用できる再生可能エネルギーである。

CO₂の排出量が(15g/kWh)と次世代エネルギーの中でも極めて少なく、クリーンエネルギーである。

図3 発電の種類によるライフサイクルのCO₂排出量



出所:経済産業省 資源エネルギー庁を元に松川作成

出力が一定、かつ天候・昼夜を問わずに安定した発電が可能なこと。

日本の産業・地域産業の発展に大きく貢献する。

各国が地熱発電の新規開発に注力する中、地

熱用蒸気タービンは日本メーカー3社(富士電機、三菱重工、東芝)で68%を占めトップシェアを誇っている。また、地下資源調査・開発・評価援助でも日本はトップクラスだ。さらに地熱発電は過疎地の活性化にも貢献している。

2.3 問題点

地熱発電の問題点は大きく分けて技術的な問題と政治的な問題の2つに分けられる。

2.3.1 技術的な問題

技術的な問題は以下の4つが挙げられる。

ハイリスク・ローリターン

地下資源特有の開発リスクがあり、かつ、現状は儲からない事業であるため、蒸気供給事業者の再投資意欲が低い。さらに、電気事業者にとっても、小規模・分散型電源を開発するメリットが小さい。よって、率先して地熱発電を開発する事業者が出てこない。

掘削コストが高い

5億円/2,000m(25万円/m、深くなるほどコストアップ)といわれている。発電コストの計算は15年で算出している。設備を償却したら燃料費用負担もなく、長く使うほど有利な地熱発電ではコストは下がる。生産井が詰まらなければ運用期間が長くなるほどコストは下がる。

日本で掘削コストが高いと言われているのは、国内に数千メートル級の掘削機材がなく、海外から日本の山中に機材を運搬しているからではないかといわれている。

管の減圧、目詰まり

生産を開始すると井戸の中と井戸周りの地層中に生じる減圧、目詰まりなどの効果により、生産流量と還元能力が経年的に低下する。そこで補充井の追加掘削が必要となる。日本の地熱発電所での追加掘削の平均値を計算すると、1年に1本の頻度で補充井を掘削していることが分かる。もっともその結果、所定の出力を維持できているかというそうではない。殆どの地熱発電所が所定の出力を維持できていないのが現状だ。

リードタイムが長い

開発に10年掛かり、投資から回収までに時間がかかる。その上、自然の熱水溜を探り当てるための調査や評価にコストを要し、掘削しても十分な蒸気が出ないケースがあった。

2.3.2 社会的な問題

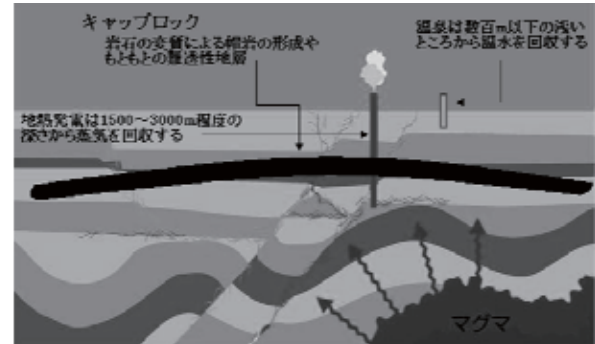
社会的な問題は以下の3つが挙げられる。

温泉地との調和

温泉資源が枯渇すると思ひ込み、地熱発電に反対

している温泉事業者が多い。地熱発電はキャップロックが存在しているところに建設される。キャップロックが蓋となった地層によって、これより上にある温泉と下の熱水は分離される。そのため、地熱発電によって温泉資源が枯渇することはない。

図4 地熱貯留層の形成



出所:資源エネルギー庁を元に松川作成

実際に既存地熱発電所の地熱井掘削によって温泉や地下水への影響が出た事例は全くない。温泉事業者との共通理解、共存共栄が課題となる。

情報の共有・公開。想定されるリスク情報を全て共有する。

自然公園法規制

優質な地熱資源が埋蔵される自然公園特別地域内は調査すらされていない。

2012年3月27日の規制緩和によって、以前は禁止されていた国立公園内において特別地域¹の外から斜めに掘削を行う傾斜掘削²の容認、特別地域における垂直掘削の容認が出された。しかし第一種地区や特別保護地区³においては、傾斜掘削ですら禁止されており、未だ十分な規制緩和とは言えない。容認されていない地域については、自然に影響が出ない範囲での傾斜掘削や垂直掘削を容認すべきである。

煩雑な法規制

バラバラな法規制による煩雑な手続きを必要とし、諸外国にある地熱法⁴が日本にはない。

2.4 現状

日本では現在、九州、東北地方を中心に18か所の地熱発電所がある。最大は大分県の八丁原発電所で11万kW。18か所の年間総発電量(設備容量)は

¹ 当該公園の風致を維持するため指定される地域。第一種から第三種までの区分がある。第一種は規制が最も厳しい。

² 掘削距離が長くなるため坑井1本あたりのコスト増になり、経済性を確保できない。

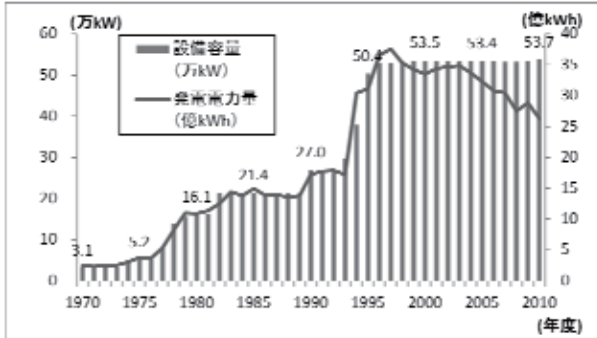
³ 当該公園の景観を維持するため、特に必要があるときに指定される地域。木材の損傷・植栽、焚き火、動物の捕獲等を行う場合には許可が必要。

⁴ 地熱開発の促進を規定している。

約54万kW。全国の年間発電量の0.2%にあたる。この数字は1996年からほぼ変わっていない。

日本で最後に建設された地熱発電所は1999年に運転を開始した八丈島地熱発電所。この八丈島発電所から今日まで14年間、日本で地熱発電所は建設されていない。

図5 日本の地熱発電設備容量および発電電力量



出所:エネルギー白書2012を元に松川作成

2.5 今後の展望

社会的な問題を解決することが一番の課題だと考える。社会的な問題を解決することによって以前より事業者の参入がし易くなり、地熱発電のより一層の発展が期待できる。

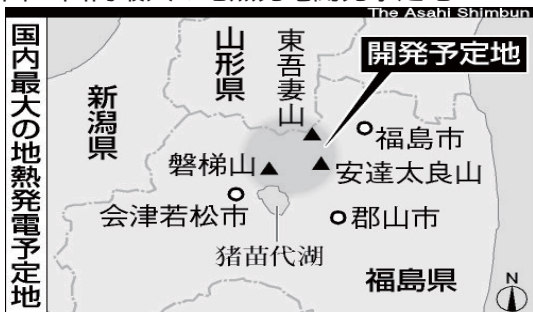
2.5.1 将来の地熱発電

未来の地熱発電として高温岩体発電⁵、CO₂高温岩体発電⁶、マグマ発電⁷が挙げられる。全てまだ技術的に確立しておらず今後の研究が必要だが、将来の大きな夢と言える。

2.5.2 福島県における地熱発電の取り組み

2012年から福島県で国内最大の地熱発電所の開発が進められている。

図6 国内最大の地熱発電開発予定地



出所:朝日新聞

⁵ 3,000m 以上の地中深くにある岩盤(300~400度)まで穴を掘り、そこに水を注入して人工的に熱水を作って利用する発電方式。

⁶ CO₂を地下に注入し地熱発電に活用する方法。

⁷ マグマの直近まで坑井を掘削し、その熱エネルギーを直接的に採取する方法。

開発の予定地は福島市、郡山市、猪苗代町など6市町村にまたがる。発電量は最大で原発1基の約4分の1にあたる27万kW 規模を目指す。2012年から開発し、2020年代初めに運転を始める。

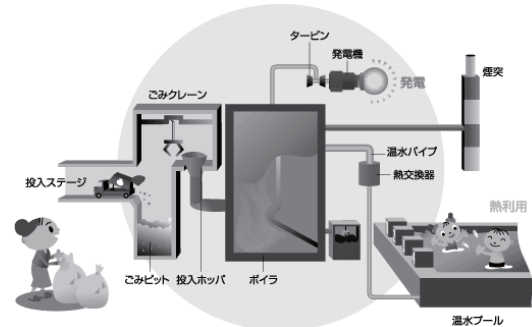
このように、新たな地熱発電も開発が進められている。長所だけでなく課題も多い地熱発電だが、日本特有の資源を上手く活用することによってエネルギー自給率が上がるだけでなく、産業の発展も大いに期待できる。

3. 廃棄物発電

3.1 廃棄物発電とは

廃棄物発電とは、ごみを焼却する際の熱で高温高压の蒸気を作り、その蒸気でタービンを回して発電する。また、発電した後の排熱は、周辺地域の冷暖房や温水として有効に利用することができる。

図7 廃棄物発電の仕組み

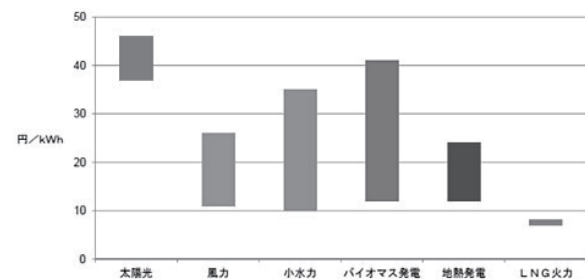


出所:一般財団法人 新エネルギー財団

3.2 特長

廃棄物発電の特長は以下の5つが挙げられる。地熱発電と同様に、季節・天候等の影響を受けにくい。次世代エネルギーの中では発電コストが比較的安い。一般的な数値(300t/日以上)の場合:9~11円/kWh。

図8 再生可能エネルギーのコスト



(出典) 地熱:地熱発電に関する研究会(平成21年6月)
LNG:電気事業分科会コスト等検討小委員会(平成16年1月)

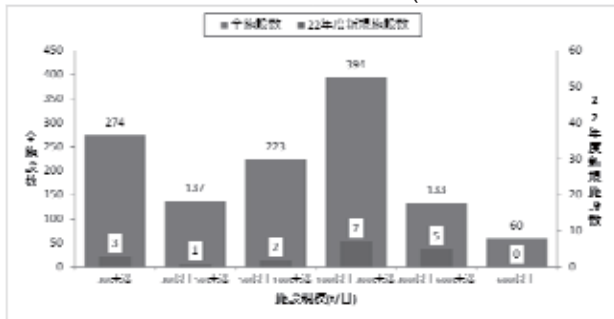
出所:経済産業省 資源エネルギー庁

初期コストがかからない。
 設置費用は熱交換器や発電機などの追加設備のみ。
 発電に伴うCO₂の追加的な環境負荷がない。
 燃料が無料。
 反対に処理費をもらえる場合もあり 保守・管理費用はほとんどかからない。

3.3 問題点

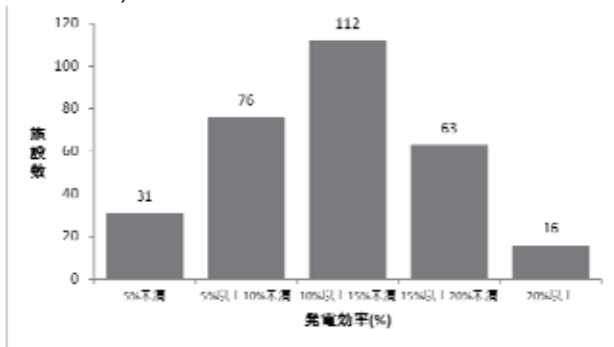
発電効率を上げることが容易ではない。
 発電効率が10%以上15%未満の発電の廃棄物発電施設が殆どである。その原因の1つは、ごみ焼却施設が小規模であるものが多いからであることがグラフから考えられる。

図9ごみ焼却施設の規模別施設数(平成22年度実績)



出所:環境省 日本の廃棄物処理を元に松川作成

図10 ごみ焼却施設の発電効率別の施設数(平成22年度実績)



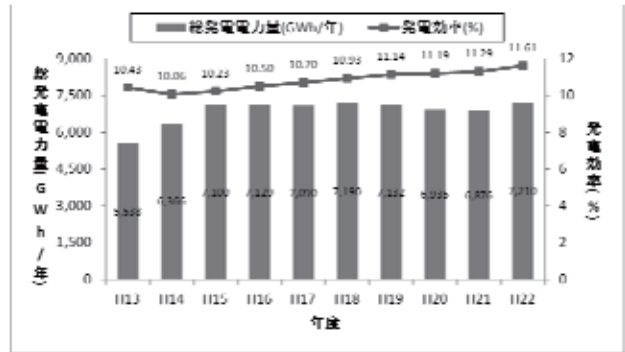
出所:環境省 日本の廃棄物処理を元に松川作成

一定規模以上の焼却施設でない導入が難しい。
 発電設備の設置費用が発電による収入を上回ってしまうために、ある程度大規模な焼却施設でない効率的な発電ができない。

3.4 現状

廃棄物発電の施設数は一般廃棄物で306施設(全体の25.1%)あり 総発電電力量は170万kW /日(平成22年度末)。

図11 総発電電力量と発電効率の推移



出所:環境省 日本の廃棄物処理を元に松川作成

3.5 今後の展望

住民参加型であり 家庭や企業で必ず排出される廃棄物を有効利用できる発電方法のため、今後の発電施設数増加に期待する。

3.5.1 高効率の廃棄物発電

廃棄物発電の最大の問題点である発電効率の低さを補うスーパーごみ発電(複合ごみ発電)の実用化も進んでいる。これは廃棄物焼却により作られた蒸気をガスタービンの高温排熱でさらに過熱し、蒸気タービンの出力を増加させるシステム。これにより発電効率を25%以上という高効率で発電することが可能になる。

一方で、非常に大規模かつ整った設備が必要であるとともに、国や自治体の助成金や補助金等の支援も欠かせない。実用化に至っているシステムではあるが、今後より普及させていくために環境を整備していくことが重要である。

3.5.1 廃棄物発電の新技术

新潟県長岡市で「生ごみ」のバイオマス事業が開始された。長岡市では「生ごみ」をメタン発酵して生成したメタンガスを燃料とする発電を行う「生ごみ」の処理は1日55tで、自治体が運営する施設として国内最大の規模となる。発電量は一般家庭約1000戸分に相当する年間410万kWhとなる。さらに、CO₂発生量は年間2000t削減され、ごみ処理費用は15年間で35億円削減できるという平成23年度中に着工し、平成25年度7月に稼働を目指す。

3.5.2 福島県内の廃棄物発電

廃棄物発電は、福島市や郡山市など福島県内にも数カ所設置されている。会津若松市では廃棄物発電の導入はされていない。その理由の1つとしては、会津若松地方広域市町村圏整備組合の廃棄物焼却処理施設の処理能力は225t/24hであり、小規模であることが考えられる。

今後、廃棄物発電の普及を拡大させていくためにはごみ処理を広域化することや政府の手厚い支援が必要となってくる。また廃棄物処理は地域住民の協力が重要であるため、地域住民への理解の呼びかけも大切である。

4. メタンハイドレート(MH)

4.1 メタンハイドレートとは

メタンと水が結合した化合物である。非在来型⁸天然ガスであるため生産には技術開発や費用の課題が存在するが、メリットも十分期待出来るエネルギーである。燃焼時のCO₂排出量は石炭100、石油80に対して天然ガスは60と小さく、環境負荷が少ないことからクリーンエネルギーとして注目されている。日本近海にBSR分布⁹が確認されたことから(図12)、国内で商業化に向け積極的な研究開発が行われている。

4.2 メタンハイドレートの必要性

我が国の天然ガス消費動向状況についてだが、発電電力量においてLNG¹⁰は東日本大震災以前から上昇し続けてきた。原発停止後については、石油は前年比6.1%上昇に比べてLNGは前年比12.3%と大幅に上昇している。また、業務用¹¹や家庭部門で使用されるエネルギーにおいても、年々ガス割合が増加している。電力部分の割合も含めると、業務用では約38%、家庭部門では約33%天然ガスを使用している。

次に輸入分野に焦点をあてて見ていく。日本のLNG輸入量は年々増加している。総輸入金額に占めるLNG輸入金額の割合も、緩やかであるが上昇している。原発停止の影響で2011年度は前年度より輸入量が約1300万トン、輸入額は約1兆8500億円上昇した。2011年の天然ガス供給量は輸入LNG割合が96.9% (8318万トン)、国産天然ガス割合が3.1% (266万トン)と約31倍もの差があり、日本は天然ガスをほぼ輸入依存で消費している。

最後にエネルギー自給率についてだが、日本のエネルギー自給率は現在4.8%と非常に低い。日本は資源が乏しい中で天然ガス需要が多い。

4.3 日本の取り組み

日本の代表的な取り組みとして、経済産業省が2001年に策定した「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」がある。実行期間を2001年から2018年まで¹²とし、メタンハイドレートの経済的掘削と生産回収の実現を目的に、2018年までに商業化を目指す計画である。開発計画は3つのフェーズに分けて進められている。計画の推進にあたり「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム(MH21)」という産官学連携プロジェクトを形成し、これを中核に研究を進めている。また、海外とも協力して共同研究を実施している。予算投入総額は2002年から2011年までで477億円と世界トップレベルの投資である。研究の成果として、減圧法というメタンガス産出方法が有効であることを証明している。

図12 BSR分布で見るメタンハイドレート



4.4 資源量¹³

日本近海に存在するメタンハイドレートの資源量について、2000年の日本国内天然ガス消費量の約100年分に相当するといつ推測がある。この推測が本当に事実であるかを調査し、我が国の輸出大国の可能性を探ってみる。

⁸非在来型資源とは通常の油田やガス田から開発される石油や天然ガスなどの在来型よりも高度な技術が求められる一方で、在来型を上回る資源量が期待できる資源のことである。

⁹ BSR 分布とは、メタンハイドレートが安定的に存在する領域の基底部に相当する BSR の分布をあらわしている。

¹⁰ Liquefied Natural Gas 液化天然ガスの略。

¹¹事務所・ビル、デパート、卸小売業、飲食店、学校、ホテル・旅館、病院、劇場・娯楽場、その他サービス(福祉施設)のこと。

¹²策定初期の計画では2016年までの商業化目標であったが、中間評価時に2018年までに延長し計画を変更した。

¹³メタンハイドレートは生産能力を探っている段階にあるため、原始資源量を用いている。石油などで使われる埋蔵量は、この原始資源量に回収率を乗じて求められる。

4.4.1 天然ガス消費量

2000年時点での日本国内天然ガス消費量は、LNG換算で5610万トンである。つまり推測が事実であれば、5610万トン×100年分で56億1000万トン相当の資源量が日本近海に存在しているということになる。

4.4.2 実際のメタンハイドレート資源量

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム(MH21)によるフェーズ1研究で、メタンハイドレート濃集帯が分布する東部南海トラフ海域のメタンハイドレート資源量の調査が行われた。その結果、東部南海トラフ海域には約1兆1415億 m^3 (LNG換算 8億387万トン)と評価された。この量は2011年の日本LNG輸入量の5.5年分に相当する。メタンハイドレートの詳しい資源量評価がされたのは、現時点では前述の海域のみである。したがって、他の分布海域については既存のデータをもとに資源量を推測する。まず、米国エネルギー省の推計によると日本全体のメタンハイドレート総資源量が約6.3兆 m^3 (LNG換算 約456億5200万トン)と推測されている。単純計算で求めると、他の海域全体の総資源量は東部南海トラフ海域分を除いた約5.1兆 m^3 (LNG換算 約369億5600万トン)ということになる。しかし、豊富な資源量を持つとされるメタンハイドレート濃集帯の分布は東部南海トラフ海域のみである。つまり1海域当たりの東部南海トラフ海域以上の資源量は、他の海域では期待できない。これらの海域は5.1兆 m^3 より低い資源量となる可能性もある。したがって、日本全体のメタンハイドレート総資源量6.3兆 m^3 は東部南海トラフ海域以外の分布海域資源量が推計通りの場合である。

以上を踏まえ推計通りと仮定すると、日本全体の総資源量はLNG換算456億5200万トンは2000年の国内天然ガス消費量の100年分の56億1000万トンより多いことがわかった。

4.4.3 安定供給期間

前節では資源量の膨大さを把握できた。しかし、現在の天然ガス消費量は2000年より確実に増加している中で、100年後まで天然ガスの安定供給が可能なのか。そのためにまず、総資源量で国内天然ガス消費量を何年間賄うことが可能か計算する。エネルギー消費量は経済状況の影響を受けやすい性格がある。今後の推移を予測することは難しいため、ここでは天然ガス消費量を2011年の消費量分(8590万トン)だけ毎年消費すると仮定する。計算の結果約530年間の供給が可能となる。しかし、可採埋蔵量での評価が可能になればこの期間より短縮される。現在、MH21の研究で有効であるとされる減圧法では回収率60%が期待されている。これを使って可採埋蔵量を求め供給期間を割り出すと、約320年にも短縮され

る。また、天然ガス消費量の増加もあるため、さらに短縮するだろう

4.5 メタンハイドレートの有効活用

日本近海には資源量が豊富であることがわかった。しかし、経済状況の変化が多い現代でエネルギー消費量に何が起こるか分からない。我が国の貴重な資源であるのだから子孫のためにも、国内で消費して有効活用する手段をあげたい。

現在の技術では、天然ガスで他のエネルギーの代替は出来ない。天然ガスの主な活用用途である発電用燃料と都市ガスの分野で、メタンハイドレート生産以外のコストを安くし活用しやすくする。“輸送コスト”と“パイプライン”の改善が必要と考える。

4.5.1 輸送コストの削減

輸入から国産になることで天然ガスの輸送距離がかなり短くなるため、輸送コスト削減は大きいと思われる。しかし、輸送方法自体も改善すべきである。現在は天然ガスを液体で輸送(つまりLNGで運ぶ)しているが、この天然ガスを液体にしてそれを保ちながら運ぶことが高コストを生む。天然ガスは固体化する(つまり人工的にメタンハイドレートにする)場合のほうが液体化より容易であるため、安く運ぶことができる。輸送方法を液化輸送からハイドレート輸送に転換することで、大きなコスト削減を狙える。

4.5.2 パイプラインの設置

天然ガス利用を容易にするために、天然ガスパイプラインを充実させることは必須である。特に、主要大都市間のパイプライン接続は都市ガス機能停止などの災害対策にもなる。輸送された天然ガスをスムーズに供給するために、LNG基地¹⁴のようなメタンハイドレート基地の設置も必要だ。その場合、生産地からの遠近による供給面での地域間不公平をなくすため、大都市近辺港にメタンハイドレート基地設置する。基地については、ハイドレート輸送に対応した設備にする。

4.5.3 メタンハイドレート供給による効果

日本のメタンハイドレートを国内天然ガス消費量全量に当てるとしたら、どのような効果が得られるのか。なお、効果の規模は天然ガス消費量分となる。まず、天然ガス消費において輸入がなくなり国産供給になるため、日本のエネルギー全体の輸入依存度が下がる。輸入総額自体も減少する。また、割高な輸入LNG価格¹⁵から脱出し、天然ガスの価格が安くなることで

¹⁴ LNGタンカーから受け入れたLNGを貯蔵・気化させて都市ガスとして供給する施設。

¹⁵ 欧米ではガス取引地点での需給による価格決定がされている一方、日本を含むアジアでは原油価格JCC(Japan Crude Cocktail)

都市ガス料金が格段に安くなるだろう。電気料金も下がる。家計は助かり、都市ガス需要が増加している工業や商業なども恩恵を受ける。だが、料金が安くなると消費量が増えてメタンハイドレート資源量の減少速度が増す可能性もありうるだろう。その点においては、料金の下限設定をするべきである。

4.5.4 国産資源量消費を緩化

最後に、国産メタンハイドレート資源量の減少を緩やかにして供給可能期間への貢献を図る。

天然ガスの消費は日本より先欧米の方が多し。加えて、近年世界的に天然ガスの消費量は増加傾向となっている。すなわち、世界的に天然ガスの必要性が強くなっている。そこで、世界の天然ガス生産にメタンハイドレートからの生産を新たに取り入れることにより、世界の天然ガス生産量を増やすべきである。そして、価格引き下げを狙い天然ガスを輸入しやすくすることで国産メタンハイドレートの減少を緩やかにしていく。そのためには、メタンハイドレート生産に関する技術及びハイドレート輸送技術の特許や国際標準化を早急に確立が求められる。

以上を組み合わせれば、価格の安定と資源の保全の両方に配慮したメタンハイドレートの有効活用が期待できる。

4.6 有望性 - 結論 -

メタンハイドレートは天然ガスの安定供給を叶える能力を持つ。また、世界では近年天然ガスの需要が増加しているため、メタンハイドレートへの注目度が今後強くなる。したがって、世界に先駆けた日本のメタンハイドレート関連技術確立は海外での生産に貢献し、輸入天然ガス価格を下げるよい材料となる。日本も天然ガスの安価な輸入調達が期待できるだろう。

結論として、メタンハイドレートは日本において天然ガスの安定供給を可能にし、開発した関連技術は輸入天然ガス価格を下げる役割を持つ資源である。

5. 終わりに

次世代エネルギーが主力の電源となるためには多くの課題が存在する。お金と時間をかけ、少しずつ次世代エネルギーの発電電力量を増加させていくことが必要である。次世代エネルギーを普及させるためには、事業者の参入をいかにし易くするかが鍵になってくると考える。そうすることで次世代エネルギーは更に有望なものになっていくであろう。

参考文献

石川憲二 『海底資源 海洋国日本の大きな隠し財産』(オーム社)

江原幸雄 『地熱エネルギー 地球からの贈り物』(オーム社)

平朝彦・辻喜弘・上田英之 『海底資源大国ニッポン』(アスキー・メディアワークス)

平沼光 『日本は世界一の環境エネルギー大国』(講談社)

松本良 『エネルギー革命メタンハイドレート』(飛鳥新社)

朝日新聞

<http://www.asahi.com/eco/news/TKY201204020650.html>

アジアバイオマスオフィス

http://www.asiabiomass.jp/topics/1106_02.html

一般財団法人 新エネルギー財団

<http://www.nef.or.jp/what/whats05.html>

エネルギー大国日本を現実にも！地熱エネルギーが未来を創る

<http://geothermal.jp/power/>

エネルギー白書2012

<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2012energyhtml/index.html>

神奈川県温泉地学研究所

http://kyushu.env.go.jp/earth/mat/mat_2_1_4/0927ae.pdf

環境省

<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=15007>

経済産業省 資源エネルギー庁

<http://www.enecho.meti.go.jp/>

国立環境研究所

<http://www.nies.go.jp/kanko/news/28/28-6/28-6-04.html>

財務省

http://www.customs.go.jp/toukei/suui/html/data/fy8_3.pdf

電気新聞

http://www.shimbun.denki.or.jp/news/main/20121228_01.html

東邦大学 理学部

<http://www.sci.toho-u.ac.jp/env/topics/017235.html>

日本地熱開発企業協議会

<http://www.chikakyo.com/news/images/110804.pdf>

廃棄物焼却研究部会

<http://jmcwm.or.jp/shoukyaku/pdf/201111.pdf>

メタンハイドレートの経済性と輸送・貯蔵

<http://www.iae.or.jp/publish/tenbou/1997-HIZAIRA/6shou.html>

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム

<http://www.mh21japan.gr.jp/>

