

# エネルギー多様性分科会初年度活動報告（その1）

エネルギー多様性研究分科会

盛田直樹

井上数夫

## 1. はじめに

今期より設立したエネルギー多様性分科会について、設立に至る背景と経緯を簡単に記す。

### 1.1. 設立に至る経緯

昨今頻発し始めた自然災害の猛威により、日本人が生き抜くための最低限のエネルギー確保が危ぶまれているのは紛れもない事実である。例えば、2018年に発生した北海道胆振東部地震による道内全域停電や、西日本での豪雨や台風によるインフラの機能停止は記憶に新しい。世界全体で見れば0.2%程度の面積しか持たない日本において震度6以上の地震の20%以上が発生している。これは他国の安全確保基準を参考にしてはならないという事実である。

国内の状況を見てみると、従来3日分とされている推奨備蓄量においては、推奨期間が1週間、省庁によっては2週間に延長されている状況にある。これは、期待される自治体や自衛隊からの援助や救援物資、インフラ業者の対応等が3日で期待してはならないことを示唆している。また、2013年に制定された国土強靱化基本法については、長らく予算割り当てが殆ど無かったにもかかわらず、2018年の冬に国土強靱化の五か年の基本計画の「改訂版」閣議決定され、2020年度までの3か年の事業規模7兆円の事業計画を推進する事も閣議決定された。これは、今後災害が増えることを見込んだ上での予算編成であると捉えることも可能である。

ならば、災害に強い地域社会の醸成を行うには、また、生き抜くためのエネルギーをどのように安定確保するべきであるかを正しく理解し、地域社会へ還元することこそが技術士に与えられた使命ではないかと思い、設立に至った次第である。

### 1.2. 発電に重点を置いた経緯

人間にとって最も重要な資源が水であることは共通認識化されていると思う。しかし、その水という資源は上水道・下水道で大量の動力資源と高度な制御技術によって生み出される。さらには安定した電気でなければ生成できない資源であることはあまり多く知られていない。また、生活に必要な用品においても、原材料の生成に使われる最も基本となるエネルギー資源は電力である。日本は電気代が高いといわれるが、生産に欠かせない電圧変動や周波数変動、停電時間の観点では世界で一番安定している。このため、資源

から加工用の原材料化に関する中間材の世界シェアは世界の中では日本が圧倒的に高い。しかし、それ以外の特色がほとんどない。そのため、電気を不安定化することは外貨を失い世界相手での競争力を失うこと、すなわち輸入依存度の高い日本においては自立が不可能な国になることに等しい事実を認識しなければならない。

現時点で電気は、エネルギーとしての可搬性が良く、動力や熱などの多様な形態への変換能力に最も優れているエネルギー源である。しかしながら電気の性質上、連系された質の悪い電源に引っ張られて質が低下するという側面を持つため、他国と接続した際には停電や周波数の変動、電圧の大幅な変動が頻発して発生することが確約されてしまう。電源電圧の変動や瞬時電圧低下で制御機器は誤動作を起こすし、周波数が変動すればポンプや駆動機器類の出力が大きく変動して、製造品の品質を大きく低下させ、不良品の排出により製造コストを大きく増加させる。そのため、電気が安定でなければ品質が保てない、生産すらままならないという現実問題がある。

また、電気は生産と消費が同時に行わなければ不安定化する。電気が余れば電圧と周波数が上昇し、少なくなれば電圧と周波数が減少する。そして、この変動は、生活するための資源の製造が事実上行えないことを示唆する。

にわかに電気をかじった者が『安定化電源を使えばいい』、『蓄電池を用いればいい』という様な事を平気で言うかもしれないが、電圧変動はいくらか減衰できても出力側に漏れてしまう要素であり、不安定な電源でも動かせるように防ぐためには、安定化装置を多段に組み込まなければならない。また、主要機器全数に安定化装置を設置した場合の設置コストとメンテナンスコストがいかほどになるのか、電池や安定化装置を製造するための資源はどのぐらい採掘可能な残量があるのかを試算したことがあるであろうか？非現実的な空想は極力避けるべきである。事実、日本の製造業が海外に進出するときには、安定したエネルギー源の確保が大変重要な課題となっている

即ち、産業や工業も含めた状態で不安定な自然エネルギー発電のみで安定した暮らしを行うことは不可能である。では、その落としどころ、いわゆるエネルギーミックスをどこに見つけるべきであろうか？

### 1.3. 今年の視察を隠岐の島にした理由について

さて、日本の未来を考えるモデルケースが近隣に存在する。隠岐の島において、エネルギー資源の自立を確保するための基礎研究を実施する試み『隠岐ハイブリッドプロジェクト』である。産業構造は日本の縮図とまではゆかないものの、年齢分布が日本の縮図に近いという事は、消費構造が近くなる要素として重要な要素である。そこで、今年はこの施設や周辺環境を調査し、現実的な自立の可能性と方向性を模索したいと考えた。

## 2. エネルギーミックスに向けた基本的な事項について

現時点で主に運用されているエネルギー資源について、それぞれの特徴を示す。

### 2.1. 現在主に活用されているエネルギー資源の種類

以下に主な発電の種類と動作原理の一覧を示す。

表 1 主な発電の種類と簡単な動作原理について

発電の種類と小区分		簡単な動作原理
①. 火力発電		燃焼エネルギーで蒸気を発生させ、タービンで発電機を回す
②. 大型の水力発電		水の流量と落差エネルギーを用いて水車で発電機を回す
③. 原子力発電		核反応エネルギーの熱で水蒸気を発生させ、タービンで発電機を回す
④. 再生可能エネルギー	A) 地熱発電	マグマかの熱エネルギーで液体を気化させ、タービンで発電機を回す
	B) 太陽光発電	太陽から得られる光エネルギーを半導体に当て、電気を取り出す
	C) 小型の水力発電	水の流量と落差エネルギーを用いて水車で発電機を回す
	D) 風力発電	風の速度エネルギーを用いて風車で発電機を回す
	E) バイオマス発電	自然由来の廃棄物とされるものを燃焼させ、蒸気タービンで発電機を回す
⑤. 水素エネルギー、燃料電池		水素と酸素の化学反応から水と電気エネルギーを取り出す
⑥. 蓄電池、蓄電設備		化学変化エネルギーから電気を取り出す

### 2.2. 各発電エネルギー源の特徴と留意点

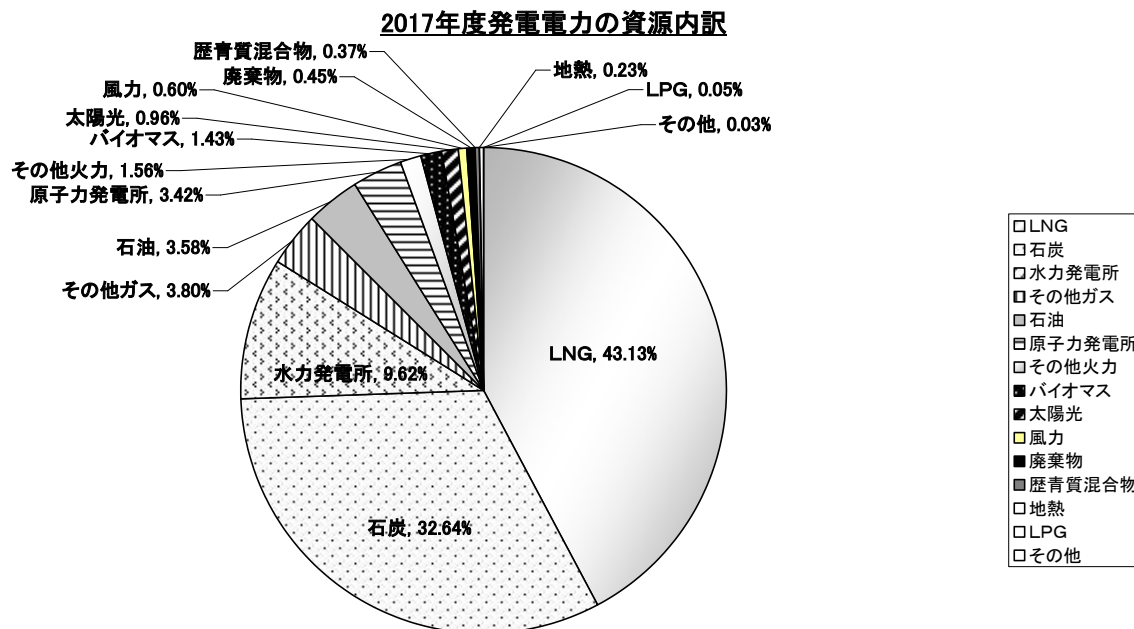


図.1 2017年度発電電力量の内訳 [出典元：経済産業省]

## ①. 火力発電

2017年度で全体の85.14%を占める。内訳は石炭が38.34%、LNGが50.66%、石油が4.20%などとなっている。

効率は最大で60%近くまで上がる。石油の依存度が低いのは主に環境対策と他の材料への資源の有効活用によるところが大きい。主たる輸入国はサウジアラビアである。

設備の中には老朽化による休止以降、菅直人政権での強制再開をされたものもあり、その影響として、碧南火力発電付近の回線故障により岐阜市近郊の大規模停電や、北海道胆振東部地震にも影響が少なからずある。また、石炭には水銀や放射性物質が含まれている原産地がある。原子力発電停止後に旧式の石炭火力が急激に増えたこともあって、産業廃棄物の処理が大きな課題となり始めている。

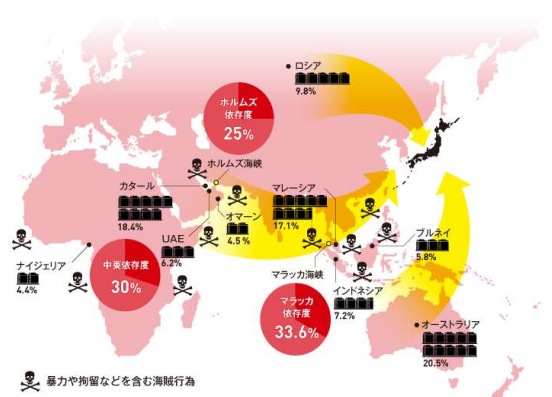
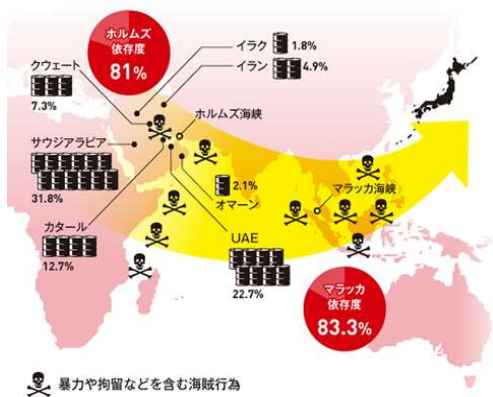


図.2 石油の輸入元とリスク

図.3 天然ガスの輸入元とリスク

[出典元：経済産業省]

電力の割合と、資源の割合を見ると明確に見えてくるのが中国のマラッカ海峡付近の制圧により、日本を制裁可能環境に持ち込めたという点である。他の代替エネルギー資源が無い、もしくは原子力発電を仮に動かさない限り中国に制圧されやすい条件下にある。

備蓄量は2017年時点で石油が208日、ガスが104日分で減少傾向にある。現在、日本が軍事・経済攻撃をされた場合は輸送日を含めて2か月程度で攻撃を排除しきれなければ国としての機能が失われるという危機的状況に置かれている。

また、原子力発電を停止して生まれた化石燃料輸入額は年間3~4兆円程度の支出を推移しており、これは政府の負債（所謂国の借金）のように、国民や企業が豊かになった代償で政府が負債を負ったものと大きく異なり外貨を失う。このため、最悪は日本全体の経済機能が失われる点に留意しなければならない。現在、日本の対外純資産額は366兆円程度存在し、

直近では何ら問題ないものの、大災害発生時には瞬時に無くなることが南海トラフ大震災予想で 1410 兆円の経済損失という数字から容易に想定できる。

発電単価は石油火力：30.6～43.4、LNG 火力：13.7、石炭火力：12.3 円/kWh となっている。

[出典元：総合資源エネルギー調査会・発電コスト検証ワーキンググループ（2015）]

## ②. 大型の水力発電

2017 年度では全体の 9.62%を占め、そのうち揚水発電（エネルギーをを貯めることが可能）が 10.59%を占める。効率は最大で 90%近くまで上がる。

災害対策目的のものでは管轄省庁が異なることから発電設備を敷設していないものがあり、日本のダム全てが発電しているわけではない。発電所のダム高さを 2 割上げることにより 2 倍の容量を持たせることが可能な事が研究から明確になっているが、政府の負債を増やしたくない財務省の意向により、ダムや治水関連の事業は許可が下りないことが多い。例えば、岡山県の真備町の水害は事前に今回発生した災害と同じ内容のハザードマップを作成し、治水事業を申請していたにもかかわらず、政府が許可をしなかった事業であり、その結果多くの被災者を発生させてしまった。政府が地方の自治を妨げるという実に悲しい現実を突きつけられた形である。

発電単価は 11.0 円/kWh となっている。

[出典元：総合資源エネルギー調査会・発電コスト検証ワーキンググループ（2015）]

## ③. 原子力発電

2017 年度では全体の 3.42%を占める。効率は最大で 40%近くまで上がる。

ウラン 235 を原料とした核分裂や、その反応工程で生まれるプルトニウムを原料にして核分裂反応によりエネルギーを抽出する。核分裂の際に発生するごく微量の質量欠損が  $e=mc^2$  の公式から生まれる膨大なエネルギーを発生させ、例えばウラン 235 は 1 グラムで、石炭 3 トン、石油 2000 リットル分のエネルギーを生み出す。ウランの 99.3%を占めるウラン 238 は中性子照射によって核種変換されプルトニウム 239 になる。この過程を利用して核分裂反応を促進させてウラン資源を有効活用しよう

と考えたのが高速増殖炉である。日本は設計の甘さやマスメディアの広報により撤退状態にあるが、技術供与を受けたロシアや中国は完成の領域に達しつつある。

CO<sub>2</sub>を排出しないために鳩山政権で鳩山イニシアチブを掲げ、電気の多くを依存させてみようと試みた。しかし、前々から指摘されていた東京電力の管理能力問題もたたり、東北地方太平洋沖地震と津波により電源喪失。菅直人首相の愚策もあり、メルトスルー後の水素爆発が発生し、多くの放射性物質が飛散した。留意すべきは、東北電力の女川原子力発電所は避難所として機能した実例を見てわかるように、管理能力や人の能力に大きく依存する発育途中の技術という点である。

また、完全撤退するという事は放射線治療や農業、工業用計測器など放射線を活用した技術からの撤退にも近づくため、非常に慎重な議論が必要である。

再処理を行った放射性廃棄物の体積や重量は他の発電と比較すると小さく、電力対体積比や電力対重量比が非常に良い。そのため、放射線さえ対処をすれば有用な資源であることから、国際リニアコライダーや熔融塩型原子炉など放射性物質への対処方法に関する研究が進められようとしている。

発電単価は 10.1～円/kWh となっている。

[出典元：総合資源エネルギー調査会・発電コスト検証ワーキンググループ（2015）]

#### ④. 再生可能エネルギー

2017 年度では電力のうち、1.79%を占める。これだけ流行らせようとしてもこの程度しか分担能力しかない現実を受け入れなければならない。再生可能エネルギーの賦課金は 2 兆円を突破しており、電力当たりの賦課金単価は 2.90 円/kWh、一般家庭では年間 15,000 円程度負担する。単純な負担だけでなく、製品価格の上昇や企業の利益圧縮など多くの経済的負担を強いている。発電業者は強制的に再生可能エネルギー発電所を持つことを義務付けられており、その結果、電力企業では赤字運営を強いられている。このため、再生可能云々以前に、この類の電力の意味を再考する必要がある

##### A) 地熱発電

2017 年度では全体の 0.23%を占める。再生可能エネルギーの中では 12.80%を占める

国立公園や温泉管理団体との折衝の問題などもあり、多くの資源が未

使用のままである。設置後は酸やアルカリによる腐食の影響がひどく、利益が見込まれにくいのも問題。日本では失われた 30 年の間でこの手のメンテナンスコストを正しく把握できる企業はほぼ皆無な状態に陥ったため、だれも怖くて手が付けられないというのが実情である。

## B) 太陽光発電

2017 年度では全体の 0.96%を占める。再生可能エネルギーの中では 56.58%を占める。効率は最大で 20%近くまで上がる。

天候に左右され、並列接続の回路上、パネルに少しでも影や不均一な照射を受けた場合、全体的に出力が低下する。太陽の光の強さで出力が決定し、12 時前後で最大出力を発揮する。雨天夜間ではほぼ発電することはなく、電気を消費する。太陽光発電全体の設備にかかるエネルギーよりも、生涯に生み出すことができるエネルギーが小さいため、エネルギー収支としてはマイナスになる。結果、蓄電の意味としてとらえることが最も望ましい。

菅直人政権が退陣と引き換えに要求し、ソフトバンクの孫正義らと作成した『再生可能エネルギー特別措置法案』でも有名な発電。悪意を持った構造の建築が横行して悪徳業者がかなり増えたため、水害や暴風によりパネルが飛ぶ被害や、数年で強度不足により故障する被害が多く散見された。そのため、電気設備技術基準に JIS C 8955 (2017) に準拠しなければ違法であることが明確化された。大手発電所でも JIS C 8955 (2017) の構造・強度計算に準拠する発電所はほとんど存在しないため、何処か 1 か所の発電で不備が見つければ、所有する発電設備すべてを事業取り消しに可能な状態に陥った。そのため、同一発電事業者であるにもかかわらず、会社を変えて運営するのが常套手段となっている。

## C) 小型の水力発電

新エネルギー法の関係から、主に 1,000kW 以下を指す場合が多い。用水路や小川などで発電することが多いが、羽にゴミや藻が絡み発電不能に陥ることが多い事から普及しない。しかしながら高低差の大きい日本の地形において、最も未利用箇所が多い発電でもある。また、土地の所有者と水利権は別物であり、多くの調整を必要とすることから、精神的な面を含めた労働に対して対価が見合わないことが多い。そのため、幾多の数字マジックで利回り xx%！と宣伝を掲げてきたグレーな再生可能エネルギー設備業者も手を付けないことが多い。

#### D) 風力発電

2017年度では全体の0.60%を占める。再生可能エネルギーの中では33.61%を占める。

2016年の固定価格買取制度の価格上では、平均風速が6m/s程度が最低限の採算分岐点とされており、すでに採算が取れる場所で設置できる箇所が無いのが実態である。

効率は最大で60%近くまで上がる。風速の3乗に比例してエネルギーを得られることが仇となり、台風や突風時における損傷例が多く、設置箇所も塩害の酷い地域であるのが一般的である。また風切り音による騒音被害も多い。運用をしてみたもののメンテナンスコストとの折り合いから結果的には採算が合わないことが多く、故障を機に廃止するケースが多い。

#### E) バイオマス発電

2017年度では全体の1.43%を占める。厳密には火力発電として分類され、再生可能エネルギーではない。

本来の目的は間伐材や廃棄となった材料、樹皮などを燃やして火力発電用の材料としての熱源を得る予定であったが、日本では集積や運搬のコストが合わないことが多い。そのため、多くは海外の木材を伐採して輸入して燃やすという環境悪化促進策と化しているのが実態である。また、海外からの輸送は輸送コストも大きく、エネルギー収支としてはマイナスにしかならない。そのため、日本国内で完結できていない発電所は環境破壊促進を行っているの正しい。

### ⑤. 水素エネルギー、燃料電池

化石燃料から生成するか、もしくは発電の余剰を用いて水の電気分解から得る蓄電手法であり、電気を一時的に蓄える、または急速に充放電するための技術としてとらえるのが正しい。水素は分子が小さく強力な還元剤であり、常に漏洩する上に耐食性の高いステンレス管は使用できない。また特殊なタンクでの輸送や分厚い鋼管の配送が必須であり、防爆環境が必要であるために十分な知識が無いと利用が困難であるのが実情である。

鉄鋼精製時や化学薬品工場などでよく利用され、流通が確立していることから、水素インフラの生成は容易であると見込んでいるように思われる。しかしながら実態は政府側の財政健全化という名目で市場からの資金回収を優先し、補助金を多く交付しない政策結果もあり、口先だけ



の状態に陥っている。そのため、企業努力のみに依存しているのが実態である。結果、物好き以外が恩恵に預かれることがほとんどない。燃料電池は水の電気分解と真逆のプロセスで水素から電気を利用しようとするもの。技術的には未完成領域に近いが、一定の出力と一定の温度条件下では効率が 80% 近くへのぼり、理想的な動きをすることができる。また化石燃料から生成する水素は不要物として二酸化炭素を排出するため、エネルギー的な損失も多い。

## ⑥. 蓄電池、蓄電設備

一般的には 5~10 年程度で更新が必要になる。充放電するとおおよそ 60% 程度の効率となる。いくつかの種類があるが、基本的にはエネルギーを生み出すものではなく、貯蔵するための装置である。エネルギーの体積密度としては、化石燃料よりも 2 桁ほど密度が悪い。また、充放電に関する電氣的・熱的な制約も大きく、利用には細心の注意が必要になる。

リチウムイオン電池が最も有名であり、鉛蓄電池に比べて体積や容積を 1/5 程度まで小さくすることができる。しかし、貴重な資源を多用する電池であり、ガソリン車全てを置き換えるというような大量を製造することは、資源の制約から極めて困難である。動作条件として、容量の 80~30%、周囲環境が 10~30℃ で運用し、急な充放電を避けることが長持ちをさせるための要件である。目安としては容量表記が ○○mAh の場合、○○mA 以上で充放電しないことが望ましい。構成材料によっては機械的な衝撃や自己の体積変化での発火が伴う。

NaS 電池は鉛蓄電池に比べて体積や容積を 1/3 と小さくでき、材料も硫黄やナトリウムという比較的一般的な材料であるため、安価に構成することができる。構成材料の都合上、300℃ 付近で温めておかなければ動作しない。燃えやすい材料であり、水とも強く反応をするため、消防設備の設計・運用に難がある。

### 2.3. どこまでを不安定な電源で置き換えることができるか？

生産設備において不安定な電源を接続することは不可能であることは述べたとおりである。ではどこまでを許容するか？を考えなければならない。

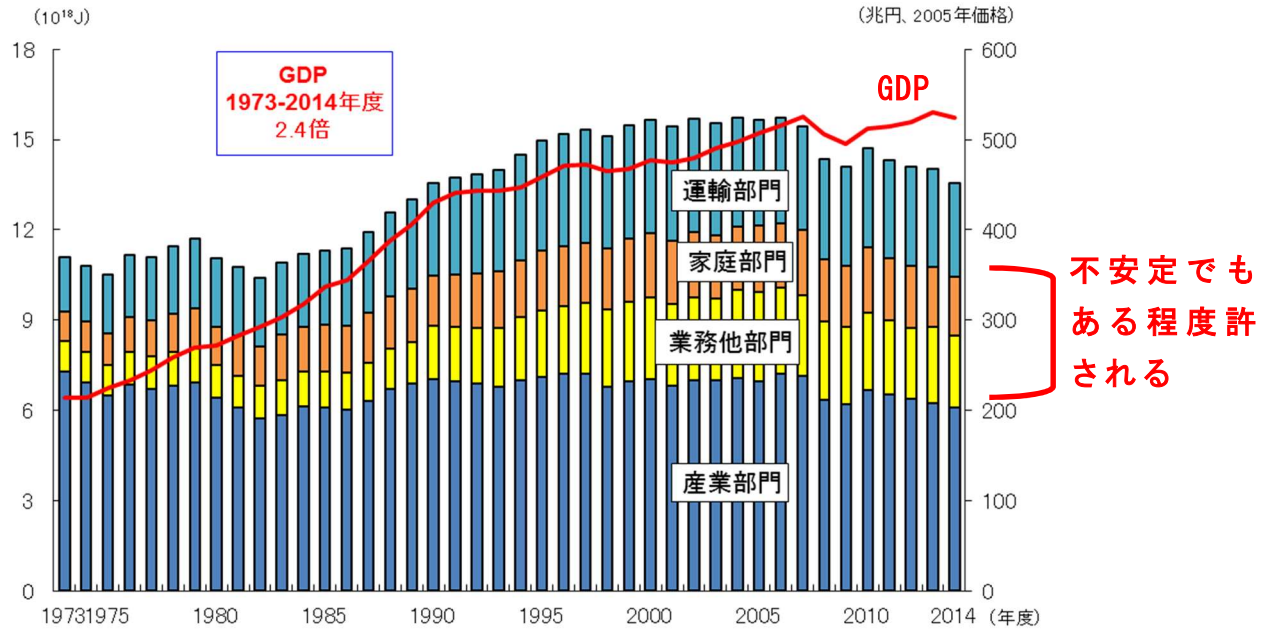


図. 4 GDP とエネルギー消費量

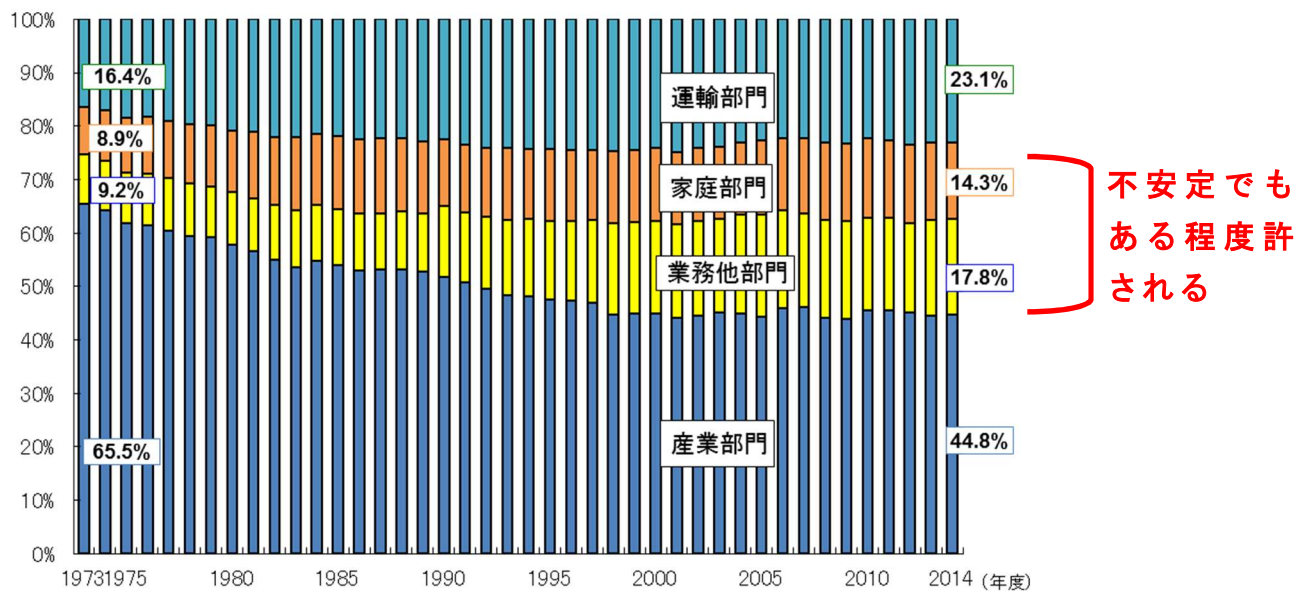


図. 5 エネルギー消費の部門別割合

図に挙げた家庭部門や業務他部門は設備が PC や家電といったある程度変動に強い要素である。このため、この分野で消費されている電力分を賄う事が可能であろうと想定される。しかしながら、系統に繋げることは不安定化を意味するため、不安定化時には遮断されることを許容されなければならない。そのため、再生可能エネルギーを推進するためには集落毎の送配電網とし、集落単体で自給自足ができるような環境を構築しなければならない。この構想を言葉に表して具体化したのが、ZEB(ゼロエネルギービル)、ZEH(ゼロエネルギーハウス)、ZEC(ゼロエネルギーシティ)である。小さな発電所と蓄電池を融合して分散させた上で、多数による負荷の需給バランスを平準化させ、供給することが望ましい。そのため、現在の一戸一受電ではなく、いくつかの集落ごとの共同受電と集落ごとの分散された発電・蓄電設備が必要になるものと想定される。

### 3. 今後の活動に向けて

#### 3.1. 再生可能エネルギーの将来性

島根県では平成 27 年 2 月に制定された「島根県再生可能エネルギーの導入の推進に関する条例」第 9 条にもとづき基本計画が策定され、エネルギーの多様化や自給率の向上、地球温暖化の防止、地域資源の利活用による地域活性化、非常時のエネルギー確保を目的として再生可能エネルギーの導入を推進している。

表 2 県内電力消費量に対する再生可能エネルギーの割合（島根県地域政策課）

2017 年度 (H29 年度) 末 (実績)	2019 年度 (H31 年度) 末 (目標)
27.6%	30.4%

県内電力消費量に対する再生可能エネルギーの発電量割合は平成 29 年度の実績で 27.6%であり、平成 31 歳年度末までの目標である 30.4%にむけて取り組み中である。

### 3.2. 今後の現場視察

島根県の再生エネルギー導入状況は、太陽光発電および風力発電の構成比が順調に推移しているものの、小水力発電については現在実証実験中であり導入が進んでいない。また、水素の利活用として、エネファーム（家庭用燃料電池）が導入されている。

今後は、島根県固有のエネルギー事情をふまえて、これら他の再生可能エネルギーについての視察を行う予定である。

表3 個別施策の目標と実績(島根県地域政策課)

区 分	項 目	H28年度末	H29年度末 実 績	H31年度末 目 標
小水力	地域振興や農業振興のためのマイクロ水力発電の設置箇所数	0か所 (実証実験中)	0か所 (実証実験中)	50か所
木質バイオマス発電	木質バイオマス発電に関連する雇用者数	100人	105人	100人
太陽光発電	再生可能エネルギーの導入に取り組む自治会数等	12団体	20団体	102団体
太陽熱利用	医療・福祉施設等の給湯への太陽熱ソーラーシステム等の導入助成数	7か所	8か所	6か所以上
地熱・地中熱利用	公共施設等の冷暖房への地熱・地中熱ヒートポンプ等の導入助成数	1か所	1か所	6か所以上
木質バイオ熱利用	公共施設、温浴施設における木質バイオマスボイラー導入か所数	19か所	23か所	21か所以上
水素の利活用	エネファームの設置台数	189台	219台	185台以上
非常時のエネルギーの確保	避難所等への太陽光発電、蓄電池の設置か所数	37か所	37か所	25か所
普及啓発	「再エネ教室」を開催した県内の小中学校数	70校	108校	160校

### 4. おわりに

再生可能エネルギーの利点は多く、大いに推進すべきである。しかし、導入には前段で述べた不安定さをどの程度許容するのか。島根県のエネルギー需要構造や人口減をふまえた電源のベストミックスを見いだしていく必要があると考える。これには、世論の動向も重要なファクターとなる。意思決定は正しい情報のもとに下す必要があり、再生可能エネルギーの利点だけではなく欠点についても、また、エネルギー全体をマクロ的にも説明していく。このことが本質を捉えることとなり、我々技術者に課せられる重要な役割ではないかと考える。

今回の視察は少人数での実施となったが、「エネルギーの多様化」は今後の地域にとって重要なテーマであり、多くの方との議論が必要と考える。次回以降は、是非多くの会員の方に当分科会へ参加していただき、今後の地域のありかたについて考えていきたい。