

「脱炭素社会実現と日本海沿岸の役割」

やまじ けんじ
山地 憲治 氏

(公財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)
副理事長・研究所長

と き：令和2年11月10日(火)

ところ：ホテルニューオータニ ザ・メイン「麗の間」

講師のご紹介

1 略 歴

1950年2月 香川県生まれ

1972年4月 東京大学 工学部 原子力工学科卒業

1977年3月 東京大学 大学院 工学系研究科 博士課程修了、工学博士

1977年4月 (財)電力中央研究所に入所(経済研究所技術経済研究部)

1987年7月 (財)電力中央研究所 経済研究所 経済部エネルギー研究室長

1993年6月 (財)電力中央研究所 経済社会研究所・研究主幹

1994年8月 東京大学教授 (大学院工学系研究科電気工学専攻)

2010年4月～2019年6月

(財)地球環境産業技術研究機構(RITE)理事・研究所長

2019年6月～(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)副理事長・

研究所長

(現在に至る)

2 公 職 等

主な審議会委員：総合資源エネルギー調査会、産業構造審議会、科学技術・学術審議会、中央環境審議会、原子力委員会等の部会などの委員を歴任

3 研 究 分 野

エネルギーシステム工学

ただ今ご紹介いただきました、山地でございます。どうぞよろしく
お願いいたします。

(以下、スライド併用。()内の数字はスライド右下のページ番号を表す。)

私の所属は名前が結構長く、地球環境産業技術研究機構と漢字で12
字ありますが、英語の略称のRITEと呼ばれています。よろしくお願
いいたします。ご紹介いただきましたように、私はエネルギーシステ
ム工学、エネルギー技術や政策の評価、あるいは温暖化対策、そうい
うものの評価をやってまいりました。実は、私は四国の香川県生まれ
で、大学で東京に来て以来ずっとこちらにいまして、日本海沿岸地帯
というのはあまりご縁がなかったのですけれども、富山県さんと少し
ご縁がありまして、富山県さんの新エネルギーの開発計画に少し関わ
らせていただきました。けれども、今回、この日本海沿岸地帯の振興
を図る会合にお呼びいただきまして、何の話をしようかなと、実は正
直、迷いました。

それで考えたのが、日本海というとよく南北上下をひっくり返した
この地図が出てきますね (#2)。こうしてみますと、何か日本海は
湖みたいでもあるけれど、大陸との関係というのは非常に重要だとい
うのがよく分かります。これを見ながら、今日、何の話をしようか
と。私は常日頃から温暖化対策をやっていますが、脱炭素社会、それ
から、最近それを実現するためのイノベーション、この二つは入れよ
うと思ったのですが、日本海沿岸地帯ということで何を考えようかと。
そこで、ここ最近のことも考えながら思いついたのが、洋上風力発電
です。富山県さんは私はよく存じ上げていて、小水力とかバイオマス
とか地熱とかいろいろあるのですが、多分規模的に今から伸びていく
のが洋上風力発電ではないかと思imasuので、その話を盛り込もうと
思って資料を用意させていただきました。

まず、脱炭素社会ということです。最近菅首相も、「カーボンニュ
ートラル」という言葉が使われます。それは同じことです。要するに、
全体で二酸化炭素の排出量をゼロにする。「全体で」と言っているのは、

一部出るのですが、片方、マイナスで削減しようと。それで「カーボンニュートラル」、中立という言い方をしているのです。それがいかに温暖化対策にとって重要か、まずそこから話をしたいと思っております。

これはパリ協定の基本構成です（#4）。2015年のパリで開かれたCOP21で採択され、翌年の2016年に発効いたしました。ただ、同じタイミングでトランプさんがアメリカの大統領に当選されて、トランプさんは「離脱する」と言って、去年の11月に離脱通告をして、先週の11月4日にアメリカは正式に離脱をしております。しかし、皆さんご存じのように、次の大統領のバイデンさんは、「直ちにパリ協定に復帰する」と言っていますから、恐らく戻るでしょう。

パリ協定はどういう構成かというと、まず一番左側に、世界全体の目標というのがあります。ここで、産業革命以降の温度上昇を「well below 2℃」というのが英語なのですが、2℃より十分低く、1.5℃を努力目標にすると書いてあります。そのために、今世紀後半に正味の排出ゼロ、全体の排出ゼロ、これを脱炭素社会、これを目指すところちゃんと書いてあるわけです。ただ、この段階だと今世紀の後半ですが、それが、後で少し説明しますが、2050年というような形で加速しています。

それからもう一つ大事なのは、パリ協定に先だって京都議定書があったわけです。京都議定書に参加している国は、中国も含めて参加しているのですが、温室効果ガスの削減目標は先進国にしかありませんでした。しかも京都議定書は、アメリカはちょうどクリントンさんからブッシュさんになったときで、脱退しています。今回は、各国の参加の仕組みとして、それぞれが国情に合わせて温室効果ガス削減あるいは抑制目標を設定する。これをNationally Determined Contribution（NDC）と言っています。つまり、自主目標を出して、それをみんなでレビューしましょうという形です。これをPledge & Reviewと言っているのですが、このやり方を採用したものですから、

今アメリカは瞬間的に脱退していますが、世界のほとんどの国が目標を掲げて参加した、非常に有意義なものです。そして、このPledge & Reviewをしていく。それから、5年ごとに目標を見直す。パリ協定は2015年採択ですが、実際に機能を発揮するのは今年からです。

それともう一つは、このNDCは大体2030年ごろの目標でしかないのので、こちらの長期目標とのすり合わせをする必要があるのので、これはなかなか日本語に訳せないのですが、グローバル・ストックテイクという仕組みがあります。つまりこの目標に対して、各国の自主目標がどれぐらい整合が取れているのか。ストックテイクというのは棚卸しという感じの英語ですが、それを2023年から5年ごとにやります。そして、各国の目標改定に反映する。

それからもう一つは、各国が2050年を念頭に長期戦略を策定しなさいと言っております。これは、日本は昨年G20が大阪でありましたけれども、そのタイミングで、この段階では、今世紀後半の早期にカーボンニュートラルを目指すと書いてありますが、今回、菅首相の所信表明で2050年ということになりました。

さて、ではカーボンニュートラル、脱炭素社会とはどんなものなのでしょうか。これは出し入れがあるわけです。これはIPCCのだいぶ前の報告ですが、産業革命以前は実はカーボンニュートラルになっていました（#5）。大気中に二酸化炭素があるから、温室効果が起こるのですが、この597というのは単位はギガトン10億トンです。だから、5970億トンです。ただ、これは二酸化炭素ではなくて、カーボン、炭素の重さだけにしています。というのは、地球の中で二酸化炭素等は循環すると化学形態がいろいろと変化するので、循環を表すときにはカーボンの重さで表現するのが適切だからです。

これですと実は、前の氷河期が終わってからですから、1万年近く安定していたわけです。ただし、出し入れはありました。海から排出・吸収があり、海の表層、中層、海底と移動する。それから、地上の植生・土壌です。生物は光合成とか呼吸とかしますから、排出と吸収がある。

そしてちょうど全体がバランスをしていた。化石資源は、その頃はまだ使っていませんでした。つまり、産業革命前にはカーボンニュートラルの世界が実現していたわけです。それが、われわれが産業革命以降、化石資源、石炭、石油、天然ガスを使うようになって、ここから毎年6.4ギガトン、64億トンカーボンというCO₂が大気に出ました。これは1994年の年間の値で、今はもっと増えています。それから、森林破壊も起こしたので、大気へ森林から出ていくCO₂もありました。最近はずと植生・土壌はバランスが取れています。それから海とのやり取りも、やはり相変わらずあります。大気中のCO₂濃度が上がってきましたから、海に吸収される量は少し増えたのですが、出す量も少し増えています。

ということで、今どうなっているかという、ここに少し書きましたけれども、工業化以降、1750年、先ほどの図（#5）からこの90年代半ばまでで、化石資源と植生・土壌からはカーボンが減って、大気と海で増えているという状態になっているわけです（#6）。問題は、これが全然止まっていないということです。それとフローで言うと、この6.4ギガトン64億トンカーボン、二酸化炭素にすると大体4倍すれば二酸化炭素になるのですが、そのうち、結局正味で、陸上の植生・土壌と海に大体その半分ぐらいが移行していて、残りの半分が大気に残っているということです。だから大気中の二酸化炭素はどんどん増え続けて、全然カーボンニュートラルになっていない。今年年間30億トン増えている。これはカーボンの重さですから、CO₂にするるとこの約4倍になるわけです。また、二酸化炭素以外の温室ガスもあるということで温室効果は増えています。この状態はカーボンニュートラルではありませんので、これをカーボンニュートラルに持っていくようにしているわけです。

それがこの図です（#7）。まず化石資源である石炭や天然ガス、石油を燃やすからCO₂が出るので、ここを抑制する。われわれがやってきたのは、LEDというのはLow Energy Demandで省エネなのです

が、省エネとか、それから再生可能エネルギーとか、原子力とか、二酸化炭素を出さないエネルギーでもってここを減らそうというのが一つ。もう既に行っています。

それからもう一つ、実はRITEもやっているのですが、CCSというのをやります。これは何かというと、化石燃料を燃やすとCO₂が出ますが、煙突の手前で取り、それを地中とか、あるいは再利用しましょうということ。再利用といっても、今、実際にやっているのはEORという、石油を増進回収するために、石油の井戸に突っ込むというのをやっています。これが今までの状況なんですけど、これではやはりカーボンニュートラルになりません。忘れていましたが、植林ももちろんやっています。植林でもまだ足りない。エネルギーとしてバイオマス利用をすると、これは再生可能エネルギーとして利用していることなのですが、そのバイオマス利用だけではなくて、BECCSという手があります。バイオマス利用をすると、バイオマスというのは元々大気中のCO₂を取ったもので燃やすと大気に戻るからカーボンニュートラルなのですが、更にわれわれはバイオマスエネルギープラスCCSでBECCSと言っているのですが、CCSと組み合わせてCO₂を大気に出さずに地中に埋めると今度はマイナス側に回るわけです。これはネガティブエミッションということになります。

それから、さらに最近は大気中から直接二酸化炭素を取ろうという技術も開発しています。煙突の二酸化炭素は大体10%程度ですが、大気中は400ppmで0.04%なのですが、取れなくはない。これを取ってCCSにしようとか、あるいはCCUでカーボンリサイクルをしようということ。さらにはこれを海の中に沈めていって、海の中の植生の所に入れようと。これをブルーカーボンという言い方をしています。要するに、これらは大気から二酸化炭素を取ってどこかに固定しようというやり方です。

さらには、このバイオマスを燃焼するのではなくて、バイオ炭といって、土壌改質とか。バイオ炭にするとなかなか分解しないものですか

ら、これで固定するとか、さらには風化を促進するとか。風化促進というと分かり難いですが、炭酸カルシウムにしてしまうわけです。ここは自然のことを書いていますが、実はコンクリートの中に炭酸カルシウムにできる化合物があります。だから、廃コンクリートの中に吸収させようということです。こういういろいろなことをやってカーボンニュートラルはできます。今、こういう新たな技術をそれぞれイノベーションによって開発して、社会実装しようとしているという状態にあります。

さて、先ほど少しLEDという妙ちくりんな名前のことに触れました。LEDというとLED照明を思わせるかもしれませんが、実は2018年にIPCCという組織が1.5℃というのは努力目標なのですが、本当にそれを実現するにはどんなシナリオが考えられるかという研究をしました（#8）。私が研究所長を務めておりますRITEも一部貢献したのですが、今までこちら側の三つのようなシナリオを考えると、この1.5℃を実現するためには、実線のこの部分が正味の排出量で、この線より下側の黄土色とか黄色の所は、マイナスの排出なのですが、2050年ぐらいにカーボンニュートラルにしなければいけないという結果が出てきました。だけどこれを見て分かるように、非常に大量の、何十億トンというオーダーになりますけれども、これなんか何百億トンですけれども、この黄色は実は先ほど話したBECCSによるものです。バイオマスを使って、そのCO₂を大気に戻すのではなく、地中に埋めるというやつです。しかし、これだけのバイオマス利用をしようとすると、アメリカ全国面積ぐらいをバイオプランテーションにしなければいけません。そうすると温暖化は防いでも、生物多様性はどうなるのだ、食料は大丈夫かという心配が出てきます。

そこで出てきたのが、この2018年の1.5℃特別報告書で出てきたのが、Low Energy Demand ScenarioというLEDシナリオなのです。LEDシナリオではベースラインでも相当省エネが進みます。これはどういうものか、後で簡単に説明させていただきます。そうすると2050年カーボ

ンニュートラルも、比較的容易にできるのではないか。このBECCSみたいなものを大量に使わなくても、植林ぐらいで済むということです。ここまでが脱炭素社会についての話です。

では次に、イノベーションの役割ということに移ってまいりたいと思います。

イノベーションは、お手元の資料（#10）で見えていただきたいのですが、先ほど申し上げましたように、去年の6月のG20に合わせて、日本は気候変動対策の長期戦略を国連の事務局に提出しました。その中でこの長期戦略においては、イノベーションが非常に重要だということが、ハイライトされております。この第3章の中で、安倍首相がずっとよく言われたのですが、環境と成長の好循環を実現していくのだと。つまり、温暖化対策をやるけれども経済成長もするということです。それを握る鍵として、やはりイノベーションの推進。あとグリーンファイナンスとかビジネス指導の国際展開とかもあります。やはり一番に来るのがイノベーションだったわけです。そのために革新的環境イノベーション戦略を作りますよとあって、実は今年の1月にこれができました。今はそれをグリーンイノベーション戦略として推進しているところです。この後で少し説明いたします。

それと同時に、この段階では革新的環境イノベーション戦略と並んで、経済社会システム、ライフスタイルのイノベーションも要るのだと記されていました。つまり、技術だけではなくて、社会も革新していかなければいけないと。そういうことを言ったわけです。実は最終的に今年の1月に公表された革新的環境イノベーション戦略には、この社会イノベーションも含まれております。後でご説明いたします。

その1月に策定された革新的環境イノベーション戦略ですけれども、一番中核になるのはイノベーションアクションプランというものです（#11）。これは5分野16課題39テーマに分けています。このイノベーションの対象はわが国だけではなく、世界全体でカーボンニュートラルを目指して、コストも下げていこう、体制も考えようとなっていま

す。これが中核ですが、それを支援するものとして、アクセラレーションプランとゼロエミッションイニシアチブズを掲げました。アクセラレーションプランでは、人材を養成したり、司令塔をつくったり、あるいは研究開発プログラムをつくったりします。カーボンリサイクルの研究開発拠点ということで、昨年ノーベル賞をもらった吉野先生を所長とする研究所が既に作られております。

それから赤字で書きましたけれども、これも後で少し説明しようと思いますが、ムーンショット型研究開発事業というものを始めました。これは、今までもFIRSTとかImPACTとかというニックネームでやってきたのですが、今年からムーンショットというニックネームが付いた研究開発を始めているのです。その中でもカーボンニュートラルを目指すという目標がございます。私はこの課題のプログラムディレクターを務めているのですが、それも少し説明したいと思います。しかし、まずはこのイノベーションアクションプラン、5分野16課題の所から簡単に説明させていただきます。これは要素技術だけではなくてシステム化、構造化してやるということが大事ですから、それを意識して私なりに整理しています。

5分野と言っているのは、エネルギー転換分野、運輸分野、民生・その他・横断領域、産業分野、それから農業・吸収源。農業というのは、先ほどバイオマスの話、植林の話をしました。吸収源にもなるわけです。この5領域で、その下に16の課題です(#12)。例えばエネルギー転換分野では再エネの主力電源化とか、それを支える電力ネットワークの強靱化とか、水素とか、革新的な原子力とか、それからCO₂を分離・回収して利用するCCUSとか。運輸は多様なグリーンモビリティとしてバイオ燃料とか電動車とか燃料電池自動車。そして民生の所ですが、先ほど申し上げたようにスマートコミュニティとか社会システム、ライフスタイルを革新して、シェアリングとかテレワークをやりましょうということも含まれています。まさにコロナ禍でこれが進んでいるわけですが、この部分は実は、先ほどの長期戦略の中では革新

的環境イノベーション戦略と2本立てだったのですが、ここの横断領域の中に含まれています。それから産業分野でも化石依存からの脱却で、CO₂を「原燃料化」していこうと書いてあります。私は産業分野の電化は大事だと思って、これを個人的に付け加えました。農業の中では、先ほど少しブルーカーボンという言い方をしましたが、海洋の生物相にCO₂を固定するのもありますけれども、実は温室効果ガスというと皆さんCO₂と言うけれども、メタンとかN₂Oも非常に強力な温室効果ガスです。N₂Oは窒素肥料に絡んで排出、メタンは発酵など主として農業分野から出る温室効果ガスです。それらを削減します。それから農林水産業をスマート化します。

それともう一つ、吸収源で、先ほど言った大気から直接CO₂を回収するDAC（ダック）ダイレクトエアキャプチャーが明記されました。また、私が追記したのですが、これらを支える共通基盤技術、デジタル技術とかAIとか、それからパワーエレクトロニクスとかエネルギー貯蔵とか、こういうものも非常に大事なものと位置付けられます。

それで、先ほどのムーンショット型研究開発です（#13）。ムーンショット型研究開発というのは目標が七つありますが、そのうちの目標4というのが、実はカーボンニュートラルに非常に関係します。目標4は「2050年までに地球環境再生に向けた、持続可能な資源循環を実現」ということです。何かというと、われわれは今リサイクルと言っていますが、それは例えば廃棄するのではなくて再利用しましょう、あるいは素材として循環しましょうということです。しかし、このムーンショット型研究開発の目標が狙うのは、大気中に出てしまったCO₂のような、既に環境中に出てしまったものも回収して再利用あるいは無害化しましょうというチャレンジングなものです。対象の一つはもちろんCO₂なのですが、もう一つは海洋プラスチックのことがあったものですから、Cool EarthとClean Earthというニックネームを付けています。特に、DACをこのCool Earthの中で進めることにしております。まずは5年間で200億円ぐらいという予算が付いていますが、

大気中のCO₂の回収、それから資源化・資源転換等を図るということが進められています。非常に重要なカーボンリサイクルに向けたイノベーションで、革新的環境イノベーション戦略ではビヨンド・ゼロという言い方をしています。ビヨンド・ゼロというのは、ゼロを目指しますが、もっと深掘りしよう、マイナスにしよう。われわれは通常これはネガティブ・エミッション・テクノロジー、マイナス排出技術と言っていたのですが、最近はビヨンド・ゼロという言葉がよく使われるようになりました。

ここで、再生可能エネルギーの話に行く前に、先ほど言ったLEDシナリオの話をしたと思います。これは温暖化対策の基本構造で、私が大学の授業、講義で使っていた資料です（#14）。そもそも温暖化対策はどう整理されるのかということで、人間活動が起点で気候変動が起こるのですが、まず人間活動をするとエネルギーや物質、情報を使います。エネルギー、物質、情報を使うとCO₂が出ます。CO₂が出ると、大気中の濃度が上がって、その他の温室効果ガスもあって、温室効果ガスの濃度が上がると気温上昇で、気温上昇がさまざまな気候変動、被害を与えます。それぞれのところで対策があるわけです。われわれが今まで頑張ってきたのは、まず人間活動で使用するエネルギーを減らそうということで、エネルギー効率改善。しかし物質利用効率向上とか省資源も効きます。それから、エネルギーや物質を使うけれどもCO₂が出ないようにしよう。再生可能エネルギー、原子力やバイオマスですけれども、エネルギーの低炭素化であり物質生産の低炭素化。

ただ、もう一つ、化石燃料を使うとCO₂が出るのですが、大気にたまらないようにしようということで、CO₂の回収・貯留、CCS（Carbon capture and storage）で、2番目のCはcaptureということで回収なのです。実は私が研究所長を務めておりますRITEは、このCCSの研究で国際的にも頑張っている日本を代表する研究機関です。それから、このDAC、大気からの直接回収。さらには、どうしても温室効果ガスが

出てしまったら、地球を冷やそうという技術も実はあります。これはマッドテクノロジーみたいに言われるのですが、大気中にエアロゾル、われわれの目には見えないけれども、無害のエアロゾルを放出して反射率を上げて地球を冷やそうという技術で、これには実際まだ手は付けていませんが、オプションとしては考えられます。

さらに、温度が上がっても、例えば高温に強い植物にするとか、植物工場で食料を生産するとか、洪水被害には堤防対策をするとか、気象予測をよくするとか、そういう適応というのがあります。温暖化対策としては、根っこからやるのを緩和、それから、ジオエンジニアリングという、気候を調整しようという気候工学、それから、ある程度温度が上がっても適応するというこの三つだったのですが、今回新しいところは、この右上のSociety 5.0というコンセプトが科学技術基本計画の中で出てきて、これで人間活動そのものに影響を与えられるのではないかと。つまり社会構造、ライフスタイル変化を起こすということです。情報をうまく使ってやると物質やエネルギー代替ができるのではないかとこの考えです。一方では、実は情報産業に使われるエネルギーがすごく多くなってきています。データセンター、ブロックチェーンなどをやろうとするとすごくマイニングという作業などに電気を使うのですが、そこを低炭素化していくことも考える。こういう考え方が新たに出てきていますので、それを今から少し説明いたします。

先ほどのSociety 5.0というのは、少し言葉が踊っていますが、
「サイバー空間とフィジカル空間が高度に融合した『超スマート社会』」
で、「超スマート社会サービスプラットフォーム」を作る (#15)。その中に、「エネルギーバリューチェーン最適化」というのがあります。これは、私は面白いと思っているのですが、なかなか注目を浴びにくい。「太陽光発電ですよ」、「風力発電ですよ」、「電気自動車ですよ」と言われるとイメージが湧きますが、社会を変えていくというのはなかなか見えないのです。「人工知能ですよ」、「ブロックチェーンですよ」

といっても、「何?」。「センサーですよ」、「情報を使うんですよ」と言っても何?という感じです。超スマート社会では共通基盤技術が非常に大事になると私は思っております。

超スマート社会とは何かという定義が書いてあります (#16)。「必要なモノ・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し」と書いてあります。このモノ・サービスをエネルギーと読めば、まさに究極の省エネができることとなります。必要な時に、必要な人に、必要な量だけエネルギーを供給すればいいのだと。そうすると、いわゆる完全な省エネができるのですが、ただし私は単なる省エネには留まらないと思います。超スマート社会では、シェアリングエコノミーを推進し、モノの生産からサービス提供へと産業を変え、さらには究極のリサイクル社会ができるのではないかと。つまり情報によるモノの代替が起こります。例えば、自動運転、カーシェア、ライドシェアというのは、今まさに目前のところまで来ていますが、乗用車は、実はほとんどの時間で動いておらず止まっています。自動車の時間稼働率、これは乗用車ですけれども、4%と言われていています。もし乗用車をシェアしていく、あるいは自動運転に変えていくとどうなるかというと、同じ移動需要を満たすための自動車台数が大幅に減少するとシミュレーションでは言われています。4%が40%ぐらいまで増加しますと、同じ移動需要があったとしても車の台数は10分の1で済みます。自動車生産が減れば自動車業界は困るけど、既にトヨタさんなどはCASEとかと言っています。それにつられて、鉄鋼とか素材生産量が減るとエネルギー量が減ってCO₂が減ります。

それからもう一つは、地味ですが、もう既に起こっていることで、スマートメンテナンスが普及します。いろいろな部品をセンサーで計量し、悪くなって使えなくなったものだけ取り換える。そうすると一定の時間で取り換えているのに比べて、はるかに部品・製品需要は減ります。そうするとエネルギー需要が減って、CO₂が削減されます。つまり、情報によるモノの代替。この部分を実はわれわれは分析して

います。ただ、リバウンド効果がいつもあって、便利になると需要そのものが増えるのです。一番典型的なのは照明です。昔ろうそくのと
きの照明需要はものすごく少なかったのですが、ランプになって電
灯ができて蛍光灯ができてLEDになって、照明需要そのものが効率向
上以上に増えているから、照明用の電力需要は増えています。社会イ
ノベーションというのはこういうところに注意しなければいけません。
その辺りを考えようということです。

一番よく分かりやすい例を一つ挙げたのがこれです (#17)。スマ
ホです。今はもうスマホというと電話だと思っている人あまりいま
せん。もちろん電話の機能も持っているわけですが、情報端末としての
機能が一番大きいです。あと、テレビが見られます。それから音楽の
楽器でもあります。それからもちろんカメラにもなります。それらを
個別機器でやると、これだけのものになるという。これは私の友人の
オーストリアの研究者が書いてくれたのでよく使っているのですが、
スマホの電力使用量というのは5ワットらしいのです。これら全部を
個別機器でやると449ワットで、2桁多いのです。待機中の電力もだ
いぶ違います。それからもう一つ先ほど言った、物質の素材の代替と
いう意味では、スマホを作るのに75キロワットアワーかかるのですが、
これらを全部作ろうとすると、1706キロワットアワーで、これも桁が
二つ違います。つまり、モノを作るときのエネルギーも相当違ってき
ます。これで満足できるのかと年寄りと思うのですが、若い人は比較
的平気で、テレビもカメラも持ってないのは普通で、スマホで全部やっ
ている。こうなってくると、情報によってモノが代替されているとい
うのがよく分かるのではないのでしょうか。こういうことを考えていま
す。

ここでイノベーションのところは終わりですので、このスライド
(#18)はまとめみたいなものです。

カーボンニュートラル実現について私が今までずっと説明してきた
ことの中身の中核にあるのは、クリーンで効率的な2次エネルギー媒

体で、それは電気と水素だと思っています。熱も若干あるのですが。今は電気です。今後期待されているのは水素です。なぜかという、電気も水素もいろいろなものから作れるからです。ですから、電気もカーボンフリーな電源から作ればいい。再生可能エネルギーや原子力です。火力発電も先ほど言ったCCSを付けてやればカーボンフリーの電気を作れるわけです。RITE、私の研究所はこのCCSの研究をしていますので、火力発電、石炭やめろといわれていますけど、CCSを付ければ何とかするのはないかと私は思っています。

それから燃料です。バイオマスの燃料というのはよく分かるけれど、CCS付きの設備で化石燃料を使ってカーボンフリー燃料を作るということもできます。カーボンフリー水素は再生可能エネルギーの電気でも水を電気分解して水素を作るしかないと思っているかしれませんが、それはもちろんありですが、今いろいろな所でやっている中で、例えばオーストラリアの褐炭という莫大な化石資源から水素を作る構想が進められています。褐炭というのは、石炭になりかけの石炭です。これは揮発性なものですから、輸送中に発火するリスクがあり、なかなか輸送はできません。地元でそのまま燃やす褐炭火力発電所で使っています。しかし、褐炭から水素ができます。豪州、ビクトリア州の褐炭というのは、莫大な量があるわけですが、その褐炭から水素を作る。水素を作るとCO₂が出ますが、実はビクトリア州の辺りというのはCCSの圧入にちょうど適切な地殻構造を持っています。だから、褐炭から水素を作って、そのときに発生するCO₂はCCSで地中に埋めます。出てきた水素を日本に輸送してきて使えば、これはカーボンフリーな水素になります。熱源にもいろいろ、太陽熱、地熱とかカーボンフリーなものがあります。

電化がやはり中核だと思うのですが、今原子力がなかなか、わが国では特に社会的信頼を失っていて進められないので、再生可能エネルギー、今は専ら太陽光なのですが、太陽光、風力が主力電源になるでしょう。しかし、太陽光や風力は出力変動するから、電気としての

需給バランスが取れないので、エネルギー貯蔵、蓄電池等が大事になってきます。

ただ、いずれにしても電化を進める必要があります。電気は熱として使うのはもったいないとみんな思っていました、今ヒートポンプという技術があるから、冷房や暖房とかあるいは低温の給湯とか、そのぐらいの熱需要であればヒートポンプを使えば非常に効率的です。つまり、電気エネルギーを1入れて5倍ぐらいの熱量を取ることができます。手品みたいですが、これはちゃんと熱力学の法則にかなっています。

それから、自動車です。自動車は専ら化石燃料、特に石油系燃料の牙城だったわけです。ガソリンと軽油、あるいは船だと重油、飛行機だとジェット油です。そのところに電動車、燃料電池車の水素も含めてこれらが普及すると、専用の電池ではなく電動自動車の電池を使って、再生可能エネルギーの調整もできます。

従来はこのぐらいのことを考えていたのですが、私は最近、先ほど言った、まず電力ネットワークの強靱化というのがあるのですが、この変動性再生可能エネルギーの受け入れを考える中でいろいろと構想が生まれてきました。これは洋上風力にも関係しますが、もう一つがこれです。スマート社会をつくって、情報で物質やエネルギーを代替してやろうと。そうすると物質需要も減って、行動変化も起こります。さらにこの中でエネルギーと情報が統合すると、今までエネルギー供給は供給事業者が電源などを持ってやっていたわけですけど、今やお客さんが結構電源やエネルギー貯蔵装置を持っているわけです。太陽電池もコジェネも持っています。エネルギーと情報が超スマート社会で統合できれば、需給両面のすべての設備が動員できるようになり、電化とデジタル化によって革命的エネルギー節約ができます。これがLEDシナリオ、Low Energy Demand Scenarioです。今日はここまでにしますが、ここが非常に大事だと思っていますので、言わせていただきました。それと、産業用熱の脱炭素化。電化が主たるものですが、

それに加えて、ネガティブエミッションテクノロジーをやろう、ビヨンド・ゼロをやろうと。つまり、いろいろなものをやらないとカーボンニュートラルは達成できません。イノベーションというのはそういう広がりのあるものだということを申し上げたい。(＃18)

それでは最後に、日本海沿岸地帯の役割として今日私に取り上げた、洋上風力発電の話を残りの時間でさせていただきたいと思います。

まず、エネルギー基本計画です。これは大体3～4年に1回改定されますが、現在第5次エネルギー基本計画ができております。これは2018年7月に決定されたものです。来年はそれから3年になりますので、実は今ちょうど次期エネルギー基本計画の検討が始まりました。エネルギー基本計画の検討の基本方針、もうこれはここ20年ぐらいずっと言われているのですが、三つのEと言われています。一つはEnergy Security（エネルギー安全保障）です。それからEconomic efficiency（経済効率性）とEnvironment（環境適合性）です。そして、福島事故以降、もちろんそれまでも前提だったわけですが、Safety。これは安全性ですけど、単に安全だけではなく、安全性を信頼できるものにする。これは今回も維持されます。そこに、この脱炭素社会を実現ということが加わって、世界の状況を見ながらエネルギー需給構造を変えていき、脱炭素化への投資を、ファイナンスも確保する。後で少し説明しますが、今、2030年のエネルギーミックス目標があり、それをさらに深めていこうという動きがあります。そのときに先ほど説明した革新的環境イノベーション戦略を起点とするグリーンイノベーションを盛り込んでいく。イノベーションについてはグリーンイノベーション戦略推進会議が今年設置されました。私はこの会議の座長を務めております。つまり、従来のエネルギー基本計画にイノベーションを合同して、次の新しい計画を作ろうということです。ここでは、先ほど少し申し上げましたパリ協定に基づく成長戦略としての長期的戦略、去年6月に出た長期戦略では、最終到達地点として脱炭素社会を掲げ、それに野心的に今世紀後半のできる限り早期に実現して

いくことを目指すという書き方で、2050年目標は80%を温室効果削減ということだったのですが、先月の菅首相の所信表明演説で、2050年までに実質上ゼロ排出、カーボンニュートラルを目指すということになったわけです。(＃20)

このスライドは先週出たものですから、お手元の資料の中には入っていません。先週6日でしたか、今回成長戦略会議というのが設けられて、その中でこの「2050年カーボンニュートラルに向けたグリーン成長戦略に関する論点」というのが出ています。ここに簡潔に「グリーン成長戦略」、あるいは「カーボンニュートラルに向けたエネルギー政策」と書いてありますが、真ん中に「革新的なイノベーションの推進」というのが挙げられています。その中で少し注目していただきたいのが、①として「電化+電力のグリーン化」。ここに、「次世代蓄電池」などと共に「洋上風力」が出てきます。それから②「水素」というのが出てきて、あと③「CO₂固定・再利用」、いわゆるカーボンリサイクルが出てきています。こういう組み立てになっていて、ここにも実は洋上風力が出てくるということで、一つ追加させていただきました。

これは、先ほど後で見せると言った、2030年のエネルギーミックス目標です(＃21)。実は、これは第4次のエネルギー基本計画と同じです。第4次エネルギー計画というのは、2014年の4月に決定されたのですが、実は2014年というと、まだ東日本大震災というか、福島原子力事故から間もない頃で、2014年段階では実は2030年の数量的なミックスは提示されませんでした。翌年2015年の7月になって、第4次エネルギー基本計画のミックス目標が出たのがこれでありました。これは第5次、2018年のエネルギー基本計画の中でも、継承されているものです。先ほど言ったS+3Eという目標を実現するために、こちらは1次エネルギー供給で、ここは2018年実績で、ここは2030年目標ですけれども、1次エネルギーでいうとまだ化石燃料が多くてぴんときないのですが、電源構成が特に注目されます。現状こういう構成まで来た

のですが、2018年。2030年には、再生可能エネルギーで22～24%、原子力で20～22%を目指して、残りの化石燃料のところも天然ガス27とか、石炭26とか、石油は少し。再生可能エネルギーは、従来は水力が主体だったわけですが、2030年目標では太陽光とか風力とかバイオマス、地熱も入っている。この目標は今回見直しがあると私は思いますが、まだ予想はできません。

再生可能エネルギーの導入の現状として2018年度の実績データがあります（#22）。棒グラフの真ん中です。現計画の2030年の再生可能エネルギー導入目標22～24%は棒グラフの一番右です。水力には出水率というのがあって、雨や雪の降り方とかで変わってきますが、太陽光が2012年度はこれだけだったのが、もうほとんど水力と拮抗するぐらいまで上がってきました。風力はまだ少しですが、バイオマスもかなり上がってきました。2030年目標は多分超過達成できるでしょう。太陽光の2030年目標は、キロワットで言うと6400万キロワットです。現状、実は、6000万キロワットに近いところまで導入されています。もう一つは、キロワットというのは発電設備の能力ですが、ここに示しているのはキロワットアワー単位の発電電力量です。

太陽光発電は最近、設備能力あたりの発電電力量が増えています。太陽光発電の設備利用率というのは、日本の日照条件ですと12%のほずです、昼間の日照の形から言いますと。夜は全然運転できない。ところが最近の実績では、平均でも15%、いいやつは17%とか18%に行っています。私は最初、これが不思議でした。太陽光発電で設備利用率を18%とはどうやってやるのだろう。この原因は、太陽光発電事業者には人気の悪い言葉なのですが、過積載というものです。1000キロワットの太陽光発電所に、太陽光のパネルは1500キロワットぐらい積んでいるのです。というのは、太陽光1500キロワット積んでも、1500キロワット出る時間はほとんどないわけです。だから、系統とつなぐパワーコンディショナーというインバーターは1000キロワットにしているのですが、パネルは1500キロワットにしているとどうなるかという

と、こういう弧を描いているのが、上が切れますから台形になります。台形になると台形を含む長方形の中の台形の面積の比率が高まりますから、設備利用率が上がるのです。つまり、電力量では既に18年度の実績で目標をほぼ達成していますから、太陽光発電については、2030年目標は確実に過剰達成できていると思っています。

日本の再生可能エネルギー導入は諸外国にすごく遅れていると新聞等で指摘されていますが、データをしっかり確認しておく必要があります。2012年と2018年、水力を除く再生可能エネルギーはどれぐらい増加したかという点、EUは2010年段階でかなり入っていたということもあるのですが、1.6倍で、2倍まで行ってない。イギリスは2.6倍ですが、世界は2倍。それに対して、日本は3.1倍です。絶対量でも、日本の太陽光発電設備規模は、中国、米国に次ぐ世界第3位になっています。あまり自虐的になる必要はありません。

ただ、これだけの太陽光発電の導入に、賦課金という巨額の国民負担をしています。賦課金とはどういうことかという点、例えば太陽光発電は当初キロワットアワー40円で買いました。電力会社が買い取ってくれるのですが、実は買い取った電力会社は40円を負担しているわけではないのです。電気の価値である10円程度、今だと卸市場は10円を切っていますが、10円程度しか電力会社は負担していない。差分の30円は賦課金という形で皆さんから電力使用量に応じて徴収します。これがここ数年、年間2兆円を超えて、去年と今年は2.4兆円です。20年買い取りですから、これが20年続きます。だから、数十兆円の国民負担に既にコミットしています。その中で世界3位の太陽光発電ができています。やはりこれは望ましいことではないはずだと。これから再エネはもちろん主力電源化していくわけですが、太陽光発電のケースは決して良い例ではないと私は思っております。

もう一つ、2010年から2019年まで、これは何を示しているかという点、国産と輸入の太陽光パネルの比率です（#23）。このブルーの所が国産です。ピンクの所は、日本企業が外国で作ったものも輸入の中

に含まれているのですが、ごくわずかで、多くは中国製です。当初は80%を超えて、90%近かった国産のものが、今やもう20%を切っています。つまり産業ができなかったわけです。日本の大きな需要で中国に大きな太陽光パネル産業ができてしまいました。この中で、日本国民は年間2.4兆円という消費税1%分相当額を賦課金として負担しています。これを続けていいはずはないわけです。

そこで出てきたのが洋上風力発電です（#24）。7月に「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」というのが梶山経産大臣の提唱でできました。洋上風力発電の導入は、既に現在のエネルギー基本計画の中でも不可欠と言われているわけですが、それを産業としてちゃんと進めていこうではないかということです。そのための手段の一部は既に打っており、2018年12月、これは今やっているような臨時国会ですが、再エネ海域利用法という一般海域の利用ルールが決められました。一般海域では漁業もありますし一般の交通もあるわけですが、そこで、例えばその前だと10年程度しか事業ができなかったのですが、30年間にわたって事業ができるようになった。そういう法律ができました。

この下で、洋上風力事業を行う海域を30年間利用して事業の安定性を確保し、かつ協議会を作って関係者が一堂に会して地域の方とも一緒になってプランを作っていく。そのための特定地域を促進区域という形で指定し、そこで計画的に進めていくということを始めました。これは非常に大事なことです。結局、太陽光で何が起こったかということ、乱開発が起こったわけです。太陽光は、実はメガソーラーとかと言われますが、10キロワット以上、50キロワット未満のところに50万件もあるわけです。乱開発で住民が迷惑したり、山が崩れたりということが起こって、ものすごくコントロールしにくい。それに対して、洋上風力に関しては、計画的にきちんと進めましょう、産業を育てましょうということです。これは非常に大事なことで、今から区域指定を拡大していきますが、日本海沿岸に有望地域が多いので

す。有望地域で洋上風力を進めるには港の整備も必要になります。そういうことは地元にとっても非常にいいことではないでしょうか。

これは促進区域指定の現状です（#25）。この辺りが日本海沿岸です。銚子沖とか九州のこちら側にもありますが、赤色が先行している所で、最初は五島ですが、残りは秋田沖の辺りと銚子です。これらが既に設定されている促進区域です。その次に控えているのがオレンジ色の所です。これも大体、日本海域側です。そういう所を、先ほど言った情報を集めて有望な区域を指定し、協議会を作って事業環境を整備して、事業者を選定します。これはいわゆる再エネ特措法の対象になります。現状はFIT（固定価格買取）ですね。今後、FIP（卸市場価格にプレミアムを加えて買取）というものになりますけれども、その中で入札を進めていくということで、今入札のプロセスが秋田沖等で進んでいるところです。

大事なのはこれをきちんと育てて、日本で強力な産業をつくるということです。そもそも洋上風力というのは、風力というと「風の谷のナウシカ」みたいな牧歌的なイメージがありますが、そうではありません。巨大なものです。大きな産業になり得るものです。そう言う環境に熱心な再エネ推進の方は嫌がるのですが、私はもっとリアリティを持つべきだと思います。今後、洋上風力で建つのは、多分このクラスです。10メガワット、1本で1万キロワットの風車です。これは、大体高さで200メートル弱ぐらいあります。ヨーロッパなどの動きを見ますと、今後はこの程度まで行くのではないのでしょうか。そうすると、10万キロワットの洋上風力発電所でも、一本1万キロワットの風車10本で済むわけです。50万キロワットなら50本で済むわけです。それを造っていき、これをちゃんと港で部品を組み立てて、現場でSEP船という、ジャッキアップして土台を作る特殊な船で設置していくわけです。だから洋上風力の風車を作るだけでなく、海上へ設置するというプロセス全体が大きな産業になります。（#26）

洋上風力は欧州が先行しています。これはデンマークの写真です

(#27)。デンマークにVestasという大きな風車メーカーがあるのですが、そのVestasと日本の三菱重工が組んで造っている洋上風力発電のポールや羽を造って組み立てる所へ送り出す港の様子です。円グラフは風力発電のタービンメーカーのシェアを示しています。ここに三菱重工・ベスタスがありますが、残りはシーメンスであるとか、これはガメサが取ったので今はスペインですが、中国とか、そういう会社になっています。わが国でも洋上風力を計画的に進めることで、産業もつくっていいということは今計画しているわけです。その中心地帯は日本海沿岸です。

そのために、これも先ほどの官民協議会で出たのですが、関連産業を育成していかなくてはならない (#28)。つまり単に再エネが入ってくるだけではなくて、再エネを導入することによってちゃんと産業が展開できるよう産業戦略を進めていく。これがまさに先週の成長戦略の会議でも言われたこととして、洋上風力には大きな期待がかけられています。そのために促進区域指定などにより計画的に推進する必要があります。促進区域指定の状況を見ると、年間100万キロワットぐらいの洋上風力導入が見込めます。この規模の導入が10年続くと予想できれば、サプライヤー側である製造業の方も、それならやりましょう、港を造りましょう、船を造りましょうという話になります。そうすることによって産業競争力が強化され、好循環を起こしていきます、これを今ちょうど立ち上げようとしているところです。私はこれを何とかしていかないと、また太陽光の二の舞になってしまつては、もう身もふたもないと考えているところです。

この地図は面白いのですが、今、洋上風力の先進地はヨーロッパで、イギリスが今一番多くて、イギリスに1000万キロワットぐらいの洋上風力があります。ここにデンマークがあつて、こっち側がスカンジナビア半島です。デンマークに先ほどの三菱とVestasの工場があります。この欧州の洋上風力の位置関係を、日本海を中心として比較してみると大体よく似ているわけです (#29)。後で出しますが、日本風力

発電協会は2030年までに1000万キロワットぐらい、2040年には3000万とか4500万という洋上風力発電を狙っています。そうすると、それを造っていく工場や船、港が必要です。欧州など外国から部品等を調達するのは経済的ではなく、わが国で洋上風力産業を興す必要があります。実はこの地図の中にはありませんが、台湾では既に西側の海域で相当大きな規模の洋上風力のプランがまさに進行しているところです。そうすると、韓国も考えているようだし、中国も考えていくでしょう。中国は、実は風力発電でも大国なのです。そうすると、東アジアに大きな洋上風力のマーケットができます。そこに日本が食い込んでいけない理由はないだろうと、私も考えております。

日本風力発電協会は、先ほど申し上げたように、官民協議会の中で、2030年に1000万キロワットという目標を表明しました（#30）。1ギガワットは100万キロワットです。これを毎年で10年間。私は多分運開ベースでは難しいかもしれないけれども、今回の洋上風力の入札はトータルで100万キロワットに近いです。そうするとそこが認定されていくと、認定ベースでは年間100万キロワットというのは夢ではない。というか、やらないといけないと言った方が良い。風力発電協会の目標では、2040年には3000万から4500万、2050年には洋上は9000万、陸上の4000万と合わせて1億3000万キロワットの風力発電をやるのだと言っております。

もう一つ大事なところは電力系統です（#31）。電力系統は、ここは日本海側ですが、当然ですがやはり需要地が太平洋側にあるということもあって、電力系統も日本海側は手薄です。洋上風力は、電力系統の整備と一体でやっていくことになっています。これも計画的に進める。今までは系統接続を希望する人に対して、この指止まれみたいな募集プロセスでやってきたのですが、今回は一括検討で計画的に系統も整備していくことにしております。

さらに、これは風力発電協会が言っているのですが、海底の直流ケーブルの大規模展開が考えられます（#32）。予見可能な一定規模の洋

上風力事業を見込むことができれば、海底直流ケーブルによる系統接続も可能と思います。海底では直流ですが、直流で風車を結んでいき、そして陸上へ上げて交流に変えて需要地へ運ぶ。これも非常に大きな産業を生むのではないかと考えております。

つまり、再生可能エネルギーを牧歌的に思っている人にとってはイメージが違ふかもしれませんが、大型電源であり、広域で消費するものであり、水力や原子力などに実は相当するものです。こう言ってしまると、再生可能エネルギーの魅力は失われるかもしれませんが、産業をつくっていくということはそういうことなのです。それに、この日本海沿岸地域に適地が多いわけで、今後洋上風力を進めていくのは、夢のあることではないかと私は思っています。

最後は宣伝ですが、実は春頃の巣ごもり期間の在宅勤務中に「エネルギー新時代の夜明け」と題する本を書きました（#33）。9月に出版されているので、入手可能だと思います。この中に今日みたいな話を、洋上風力の話はそれほど盛り込んでいないのですが、書きましたので、ご参考になれば幸いです。

ご清聴、大変ありがとうございました。