

## (第 112 回) KS クラブ議事メモ

開催日	2020 年 12 月 8 日 (火)	出席者 敬称略	坂下勲・西村二郎・山崎博・松村眞・ 持田憲秋・猪股勲・宮本公明・飯塚弘・ 神田稔久
時間	15:00~17:00		
場所	TV 会議方式		
資料	ディスカッション用話題提供 (西村) 参考資料: 2050 年カーボンニュートラルの実現に向けての検討 (令和 2 年 11 月 17 日) 資源エネルギー庁		
議題	1. 技術課題 (議題の概要) 1. 2050 年カーボンニュートラルに向けた検討 2. 「2050 年カーボンニュートラルに向けた検討」に向けた高校生の活動への指導法  参加者からのコメント 1. 2050 年カーボンニュートラルに向けた検討 1) GDP に代わる尺度・社会構造のパラダイムシフトの必要性 2) 水素、アンモニア利用への評価 3) マイナスカーボン技術の評価 4) 原子力エネルギーの評価 軽水炉型原子炉 新型原子力炉 (溶融炭酸塩炉など) 核融合炉 5) 地球温暖化と CO <sub>2</sub> 排出の関連性 6) その他  2. 「2050 年カーボンニュートラルに向けた検討」に向けた高校生の活動への指導法  (西村コメント) (1)カーボンニュートラル (CN) 関連 * 2050 年 CN 達成のための最重要課題は電力供給系の CN 化である。80%は再エネでまかなうとして、調整電力として蓄電池か小型原発か再エネ由来の水素発電が必要となる。しかし、水素発電のコストには疑問符が付く。エネルギー密度が低いので蓄電池のコストダウン余地に頼り過ぎるのも問題である。非常停止後爆発事故を起こした現行原発は民生用として論外である。最有力は Th 溶融塩炉ではなかるうか。核融合も CN 技術であり着実に進歩していると理解しているが、実用化までにまだ時間が掛かりそうなことおよび、超大型設備で小回りが利かない方式と予想される。 * Th 溶融塩炉には次のような特長がある: ①現行の軽水炉等は 1~2 年サイクルのバッチ運転なので反応室が大きい Th 溶融塩炉は連続運転なので小さい、②現行炉が高圧なのに対して常圧に近い⇒非常停止時の安全確保が容易。③Th 溶融塩炉では超 U 元素が生成しない⇒放射性廃棄物の半減期を 300 年程度まで短縮可能。④派生する Tl108 から発生する強烈な γ 線のため、核弾頭用原料としての U233 の分離・運搬が事実上不可能。原潜用動力にも不適。⑤フッ化物系 Th 溶融塩の Hastelloy に対する腐食性も初期処理と成分調整でクリアされている。⑥Th 溶融塩炉では Pu239 等を燃料として消費可能である; 核保有国は、核弾頭 (Pu239+Pu241) を数年毎に更新する必要があるが、放置すれば、半減期 2 万 4 千年の Pu239 が大量に蓄積される (Pu241 の半減期は 14 年)。⑦Th 資源は豊富。設備費・廃棄物処理費もリーズナブルなので発電コストが安い。 * 輸送対策: 陸運、海運には電化等の対策が見えている。航空機の電化は無理だろう。代替燃料は経済性が問題。CO <sub>2</sub> の回収も不可能。		

\* 重化学工業対策：高炉は水素利用が考えられるがコストが問題。アルミ電解、セメント、石油化学工業（プラスチックのリサイクル）もコストが問題。再エネ由来の水素と回収CO2によるメタノール合成等の技術もコストが問題である。

\* CN化のためには、炭素税のような援護射撃が必要な項目があるが、グローバルな合意と遵守が大問題として残る。

\* 最大限の努力をしても、どうしても残るCO2があるだろう。これを補償する技術としてBECCSやCACCsが必要となる。バイオマス発電+CCSは現実性がないので、構造物は大々的に木材に切り替える等のパラダイムシフトが必要である。

\* 本質的に重要な課題と、本質的な課題の中にある派生的課題を同列に扱ってはならない。例えば、人工光合成と水素の運搬技術。

#### (2) 高校生の活動への指導法関連

\* 研究発表だけ聞いてコメントする場合、良い点だけ褒めるということになるだろう。悪い点を悪いとズバリいうことには抵抗がある。視点を変えた見方を紹介することで考えさせるくらいか・・・やはり、活動の中に腰を据えて、節目節目で指導（考えさせて好ましい方向に誘導する）しなければ、効果が薄いように思う。高校（に限らないが）の先生の役割の大切さを痛感した。

(神田コメント)

#### 1. 2050年カーボンニュートラルに向けた検討

##### 1) GDPに代わる尺度・社会構造のパラダイムシフトの必要性

2009年に時の首相の鳩山さんが、温室効果ガス26%削減を宣言した時の産官を挙げての猛反対から、今回のCN宣言への転換は、遅くはありますが評価できるものと思います。

ただ、エネルギー、それも電力に絞り込んだような姑息な計画ではCNの達成は不可能で、産業構造や社会構造の転換までも含んだ計画が必要だと思います。また、人口が減少して行く日本社会の実態を冷静に反映する必要もあると思います。GDPの伸びを0.4%~1.6%と見込んでいることは非現実的だと思います。

##### 2) 水素、アンモニア利用への評価

エネルギー媒体としての大規模利用には危険性が大きく問題があると思います。

##### 4) 原子力エネルギーの評価

軽水炉型原子炉は、Fail Safeが実現できない以上、電力供給の一つの柱（12~15%）とすることは難しいと考えます。将来、CO2排出か原子力かのTrade Offとなった場合は、CO2排出を採らざるを得ないと考えます。

##### 6) その他

再生可能エネルギーについては、需給調整などを含めて、そのエネルギーの特性を活かした活用方法を考えるべきではないでしょうか？また、海上風力発電、潮汐力・潮流発電など海洋エネルギーの活用こそが日本の活路だと思います。また、そのためには既存の漁業権の大胆な撤廃が望まれます。

#### 2. 「2050年カーボンニュートラルに向けた検討」に向けた高校生の活動への指導法

どんな小さなことでも成功体験が必要だと思います。そして、次の段階でその成果を社会実装する方法を考えさせると良いと思います。現代っ子は、社会との結びつきに大きな喜びを感じています。

(大谷コメント)

\* 12/8 の議論に参加出来なくて残念に思っています。当日の議論の様子が良く分からないままですが、私のコメントを以下に記します。

\* そもそも「2050 年カーボンニュートラル」というのは、議論するのが非常に難しいテーマだと思います。何故なら、総論として議論すると、色々不都合なことが出て来てしまい、結局のところ、議論が行き詰ってしまうと思われるからです。

\* 以下では、まず、総論として議論すると問題になるとと思われる点に関する私の見解を記してみます。

\* 12/8 の議論で、どなたかが「GDP に代わる尺度・社会構造のパラダイムシフトの必要性がある」との意見を出されたのだと思いますが、私も全く賛成です。

\* 考えてみてください。自由主義経済下での近代の世界経済の発展は、科学技術の発展に支えられ、より品質の高い商品をより安価に生産し、販売することにより実現されてきました。換言すれば、科学技術の発展は、生産性向上に寄与するわけですが、それは経済学の視点から言えば、「付加価値」を増大させることなのです。国内の付加価値増大を全部積算したものが一国の GDP として計算されるわけです。この様な世界では、市場における公正な価格競争によって勝者、敗者が決まり、その事が刺激になって、今日まで、より付加価値を生み出す優れた科学技術を発展させようとするインセンティブが働いて来たわけです。この様な状態が、資本主義社会における経済発展の一つの重要な要因として作用してきたわけです。

\* それに比べて「カーボンニュートラルな世界」はどうでしょうか？品質が高く価格が安くても、CO<sub>2</sub> を排出する製品や生産技術は排除されるのですから、現在通用している市場での価格競争メカニズムは機能しなくなります。どんなに安く、どんなに品質の高い製品であっても、CO<sub>2</sub> 排出が高ければダメなのです。一方、どんなに品質が悪くても、どんなに価格が高くても、CO<sub>2</sub> 排出がゼロであれば市場は受け入れねばならないことになります。こういう世界では、従来の経済発展メカニズムは全く機能しません。

\* 又、恐らく「カーボンニュートラルの実現している世界」では、現在通用している学問体系、経済学理論からあらゆる工学理論は通用しなくなると思われます。例えば、化学工学理論にしても、熱効率は二次的重要性しかなくなり、まず、「グリーン度」が第一的重要度の指標となるのですから、根本的に書き換えられなければならない筈です。これは、なかなか大変なことです。

\* 更に、世界の政治経済面を見ても、大問題が発生しそうです。カーボンニュートラルの世界と言っても、炭化水素燃料使用がゼロになるわけではなく CCS 技術の補完等を受け、ある程度は使い続けられると言われています。しかし、少なくとも、世界的に見て、炭化水素燃料の使用量は現在の 1/5 か 1/10 に減らさねばならない筈です。では、そんな世界で、サウジアラビアとかイラクとかカタールとかロシア、ヴェネズエラ等、石油、LNG、石炭の販売等により国の経済が成り立っている国はどうなってしまうのでしょうか？彼等が、あと 30 年の間に炭化水素燃料販売に代替するような生きる道を見つけ出すと予想するのは余りにも楽観的ではないでしょうか？このような国々の人々の生存にも関わって来るのですから、戦争とまではいなくても、必ずや、大紛争が起こることになるのではないのでしょうか。

\* 今の所、上記の様な問題提起は、世界的に見ても、余り提出されていない様な気がします。しかし、カーボンニュートラルを本当に実現していくことになれば、必ずどこかの時点で、上記のような問題が顕在化するであろう、と、私は見えています。

\* ただ、私も、カーボンニュートラル政策をすべてネガティブに見ているわけではありません。例えば、自動車の EV 化技術とか電力市場のグリーン化技術とか、将来の様々な技術分野の技術開発の方向などを検討する視点から、今は絶好の機会であり、将来の技術のありかたについては、日本はもとより、世界中で真剣に議論すべき時が到来していると、考えています。

(宮本コメント)

議論のなかで、日本の国策として種々のエネルギーの配分が全く見通せていないことがはっきりしたのは、がっかりでもあるし、識者ががんばらないといけないところでもあると感じました。今後、検討されないといけないいくつかのポイントは

- ① 資源を輸入に頼っている日本では、電気のように貯めづらいものを貯留するには水素かアンモニアのような物質で輸送・貯留をする技術が鍵ではないか
- ② 自動車が電動化した場合水素なのか電池なのかを社会コストで検討する
- ③ CCSは代替が困難な産業のみに限定すべき
- ④ エネルギーコストの増加をだれがどのように負担すべきかを明確にする。ハイブリッド車が高くても買ってもらえていることを考えると、消費者も直接負担するスキームもあるが、なんらかの特典が必要。
- ⑤ ウランを原料とする原子力発電の代替としてトリウム炉の検討はすべきといった点の論点整理をしないといけないといけない時期ではないでしょうか。

(持田コメント)

#### 1. 2050年カーボンニュートラルに向けた検討

##### 1) GDPに代わる尺度・社会構造のパラダイムシフトの必要性

CO<sub>2</sub>というマイナス評価の物が基準となるのは、かなり混乱を招くであろう。

##### 2) 水素、アンモニア利用への評価

1例だが、高炉において水素を使って還元する製鉄法が研究されていて、この場合はかなり可能性が高い。というのは、必ず高炉と併設されているコークス炉から出てくるコークス炉ガスは、現在燃料として使われているが、この中には50数%の水素を含み、ここから水素を回収すれば自前で供給が可能となる。

##### 3) マイナスカーボン技術の評価

植物による吸収は植物、CO<sub>2</sub>両者にとって好ましい関係だが、CCSはCO<sub>2</sub>を回収するのにエネルギーを使い、さらにどこか埋めるべきところにまで運ぶにもエネルギーが必要となる。大体、捨て場所をどうするのだろうか。

##### 4) 原子力エネルギーの評価

軽水炉型原子炉については、新たな規制が敷かれたし、当面は進めるべきと思うが、世の中の反対運動が続くし、廃棄物の問題も抱えているため、いずれは停止せざるを得ないのではないかな。

だからと言って、トリウムが安全と言っても、世間ではやはり原子力アレルギーが強く実施は困難であろう。

##### 5) 地球温暖化とCO<sub>2</sub>排出の関連性

この問題については、私はCO<sub>2</sub>原因説には懐疑派です。地球46億年の中では温暖化、寒冷化は幾度となく繰り返されてきたし、CO<sub>2</sub>より温暖化係数の高い水蒸気を見無視した議論はあまり意味がないと感じる。

しかし残されたエネルギー源を大事に使って、長持ちさせることはよいことである。

##### 6) その他

省エネルギー普及をもっと図るべきではなかろうか。

#### 2. 「2050年カーボンニュートラルに向けた検討」に向けた高校生の活動への指導法 物事を定性的だけでなく、定量性を含めて評価することを教えたい。

(飯塚コメント)

■今の状況は CO2 等の温暖化ガスの増大によって地球が温暖化しているかどうかの議論は受け入れられないと思います。そもそも、その因果関係は 100%確かではないことを前提に、因果関係を明らかにしてから対策を打つことは遅すぎるということで、破滅的状況に至る前に温暖化対策を実施することで進んでいると理解しています。

■EU では域内の温室効果ガスの排出を 2050 年までに実質ゼロ (90 年比) にする目標を掲げており、途中の 30 年までに 40%削減を掲げています。日本の当初の削減目標は 30 年 26%削減 (2013 年比)、50 年には 80%減と EU と比べ見劣っていました。このことから、菅内閣は 2050 年までにカーボンニュートラル、すなわち実質温室効果ガスゼロにすると EU の目標と同じにしましたが、そのロードマップは不明確です。新型コロナにより経済活動が抑制されたことにより、今年のグローバルな CO2 排出量は昨年比 7%減少するとの報道があります。2050 年に正味で CO2 排出量をゼロにするには、毎年毎年 7%程度の削減になりそうです。経済活動の落ち込みは多くの失業者を生み、耐えられるものではありません。人々がリモートで仕事をすれば、航空機・鉄道などの交通機関から排出される CO2 は減少しますが、リモートでの仕事はあくまで働き方改革、労働の生産性向上が目的で、本末転倒になります。経済成長を維持しながら CO2 を減らすことは容易ではありません。再生可能エネルギーには限界があります。日本の国土は狭く、太陽電池を敷き詰める訳にはいかず、風力発電は風況が問題となります。少なくとも当面は今の原子力発電を稼働させながら、再生可能エネルギーの増加分、化石燃料を減らす手しかないと思います。その間に新しいより安全な原子力発電、CCU 技術などの進展に期待したいと思います。原発ゼロを唱えるのは無責任です。経済活動を抑え、すなわち GDP を減少させて、幸福を感じる社会へのパラダイムシフトができますでしょうか。経済活動を維持しながら幸福を得る社会しかないと思います。

■6 年ほど前、京都大学名誉教授の川崎昌博氏から以下の話を聞きました。先生は太陽光の地上直達光をエタロンにより分光測定する小型・軽量・可搬・低コストの大気中 CO2 濃度計を開発し、国内では徳島・埼玉・千葉、国外ではボルネオ島、内モンゴルなどに設置し、広域 CO2 発生源でのフィールド観測を行っていました。また、インドネシア政府機関と共同で、ボルネオ島の大規模森林火災によって生じる CO2 の計測を開始しました。同国は毎年多数の森林火災が発生し、同国の CO2 発生量の相当程度はこの森林火災によるようです。火災による CO2 排出量を計測できれば、2 国間取引により日本の支援で森林防災対策に小型ダムを造るなどすれば、グローバルな CO2 抑制ができるという思惑でした。CO2 濃度の計測から火災による CO2 排出量を求める方法はよく理解できませんでしたが、同時に人工衛星による観測も行うと聞きました。森林火災は米国カリフォルニア、南米ブラジルでも頻発しており、トータルの CO2 の増大にどの位寄与しているか分かりませんが、日本の総排出量に相当、もしくはそれ以上かも知れません。二国間取引により、日本が貢献できる分野だと思っています。

(坂下コメント)

1. 活発な論議があり良い会議でした。話題提供型の討論がよさそうです。
2. コロナの媒体は、ヒトの呼気やクシャミの飛沫防止や三蜜防止などに沿って行政対策が取られていますが、私は「車の排ガス、石油ストーブなど」も媒体ではないかと考えています。コロナは微粒子でかつ粘着性があり空気中に浮遊する微小個体・液体に付着し、毒ガス同様に振る舞います。まず、ペストのノミに相当する燃焼排ガスを止めることが有効だと思います。
3. では、「化石燃料をこれ以上燃やすな」となると、ガソリン車や火力発電所の停止は、極端な電力不足になり、供給大災害になります。
4. 化石燃料の燃焼中止となれば、現有の原発の緊急な稼働が必要になります。トリアウムは、緊急に間に合いません。

5. 対策には医者と共に、空気清浄化設備（手術室・医薬品・半導体工場・細胞培養設備など）で実績のあるダイキン、日立、三機などの技術者の活躍が期待されます。
6. 行政措置としては、密閉された場所や人混みに加え、コロナ汚染地域として、危険場所を指定すべきと考えます。要は、「コロナ濃度」という概念を取り入れて、毒ガスの扱いと同様の対策を東京の区や市のような中程度の広域単位で対策をとるのが良いと思います。
7. 一部のワクチンがFDA 許可、という朗報もあり、鎮静を期待しております。
8. 足の下のマントルを何とか熱源として活用できないものでしょうか。

(小林コメント)

欠席してもうしわけありません。

菅首相がカーボンニュートラルにアグレッシブになった。米国も大統領が替わる。今度は数字合わせに終わらせずにやって欲しい。

気候変動は複雑な要因で起こる。CO<sub>2</sub>だけが要因でないことはわかる。だからといって、犯人の一つたるCO<sub>2</sub>を放置することはない。

(山崎コメント)

- ・ 日本政府は 2050 年に温室効果ガスの排出量を実質ゼロとする法制化を来年の通常国会に改正案として提出するようだ。
- ・ それに関連して、政府主導で洋上風力発電の立地調査や地元調整を行い、2030 年には現在の 2 万 kW を 500 倍の 1000 万 kW に増やすとしている。
- ・ 5000kW/基としても、10 年間でなんと 2000 基。政府が乗り出しても、用地確保はそう簡単に進まない。まともにフィージビリティを検討したのだろうか。
- ・ 再生可能エネルギーの発電コストが欧州の 2 倍を超える日本では、陸上よりもコストがかかる洋上風力の大量導入は、発電コストをさらに引き上げる。ちなみに、原発事故後、再生可能エネルギーの導入拡大により、2019 年度の電気料金は事故前に比べ家庭向け、産業向けともに 20%以上値上がりした。
- ・ それに加えて、環境省がすすめている炭素税の導入は、発電コストを引き上げ、日本の産業の競争力を弱める。さらに貿易赤字が増え、経済は停滞しないか。
- ・ 製鉄、セメント、石油化学、都市ガスなどの基幹産業の構造は、温室ガスゼロに向けてどのように変化していくのか。収益を上げて国際競争力は保てるのか。
- ・ 儲けがしらの自動車産業も電気自動車へと世界市場が変化していく。トヨタは 2020 年代前半の実用化を目指して全個体型電池の開発を進めているが、米、独、中の自動車メーカーとの電気自動車の覇権をめぐる競争は激しさを増している。
- ・ 自然エネルギーの中で安定しているのは、地熱発電、海流発電、水力発電などで、これらを最大限開発し利用する。そのための技術開発と設備投資に力をいれる。
- ・ 電力の昼夜変動は、スマートインバータにより家庭用蓄電池やプラグインハイブリッド車、電気自動車に蓄電し、大量の余剰電力は水素、メタン、メタノールに変換して蓄え、揚水ダムも利用して必要な時に放出する。そのための国家的インフラ整備をすすめる。また、コジェネの出力調整により運用の柔軟性を増やす。
- ・ 常に変動する自然エネルギーの使用割合を高めるには、ブラックアウトを起こさないように、AI を組み込み、天候変動と需要変動の予測精度を上げ、現状の需要データを吸い上げ、許容範囲に収まるように最適に制御する管理制御システム開発が必要となる。また、電力のスポット市場を活性化し拡大する。
- ・ 温室効果ガスの排出実質ゼロを目指すには、安定電源としての原発稼働が前提となろうが、2050 年を視野に入れて、より安全な発電方式の開発が必須である。
- ・ 世界の頭脳と資金を投入し、日本がリードして、トリウム炉、核融合炉の研究開発と実用化を加速する必要がある。

	<p>(松村コメント)</p> <p>「2050年カーボンニュートラル」というテーマは、実行計画の裏付けがあるプロジェクトではなく、温暖化を防ぐには「こうなるのが好ましい」という期待に過ぎないと思っています。中国も韓国もEU諸国も同様の「宣言」をしていますが、政治家にとっては国民に期待を示してイメージアップを図る意義があるのでしょうか。しかし実現できるのは、技術的に可能で経済的にも合理性のある一部でしょう。私が気にしているのは、具体的な実行計画を作成する組織と実行力です。関連する多様な施設の機能や設備を設計し、費用対効果を確認して実効性を確認するには、政府機関内部だけではなく産業界の協力が必須でしょう。このような調査・試設計・積算・課題の整理には、専門知識のある多くの工数が必要です。このため、実行計画作成プロジェクトチームが必要と思いますが、現在は編成母体も遂行能力も全く見えていません。アメリカだとシンクタンクが活躍するのですが、日本には民間に政策提言型の組織が見えません。産総研、NEDO、JSTなど国の研究機関がリーダーシップをとって、実行計画作成プロジェクトチームを編成する方法はないのでしょうかね。</p> <p>2. 幹事会報告</p> <p>第7回幹事会 (11/30)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・技術懇談会の参加費について オンラインは無料、リアル参加は1500円（実開催再開後は懇親会費を含む）</li> <li>・神奈川研究会の12月見学会は中止 可能なら2月を予定</li> <li>・装置材料研の報酬配分について 基本的に参加者個人に配分後事務経費は各個人がSCE・Netに支払う</li> <li>・安全講習会を11/26にオンラインで開催。CEカフェを12月12日に開催する。</li> <li>・技術懇談会は次回1月23日 Zoom開催</li> <li>・第86年会（3月20-22日）で産業セッションにSCE・Netも参加。SCE・Net会員の参加者は半額補助。</li> <li>・SCE・Net2020年上期活動報告は神田氏に作成いただいた。次回幹事会で取り纏める</li> </ul> <p>3. 今後の予定</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1月 猪股氏</li> <li>2月 見学会</li> <li>3月 飯塚氏</li> <li>4月 西村氏</li> <li>5月 見学会</li> <li>6月 宮本氏</li> <li>7月 大谷氏</li> <li>8月 松村氏</li> <li>9月 神田氏</li> <li>10月 見学会</li> <li>11月 持田氏</li> <li>12月 小林氏</li> <li>1月 山崎氏</li> </ul>
次回日程	<p>2021年1月12日（火）15時～17時 オンライン会議方式</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 技術課題 「環境省バイオプラスチック導入ロードマップの状況」（猪股氏）</li> <li>2. その他</li> </ol>

次々回日 程	2021年2月9日(火) 13時30分~16時30分 1. 見学会 物流博物館他
-----------	---