

---

---

# 脱炭素社会に向けて（Ⅲ）

株式会社ベンチャー・アカデミア  
フェロー 工学博士  
安谷屋 武志

# 脱炭素社会に向けて（Ⅲ）

株式会社ベンチャー・アカデミア  
フェロー 工学博士 安谷屋武志

## 1. はじめに

脱炭素社会に向けて懸命な努力をしている中で、コロナ禍およびウクライナ侵攻まで巻き起こり、事態は一層複雑化している。ロシアによるウクライナ侵攻は世界を巻き込んでおり、この両国間の問題だけに留まらずエネルギー問題や食糧問題にまで発展し、世界に大きな影響を及ぼしている。しかしこの脱炭素化問題も放置するわけにはいかずより難しい局面に来ている。

脱炭素の問題では真っ先に出てくるのがEVで、日本はこれまでで欧州や中国と較べると導入が大幅に遅れ、2021年の販売実績を見ても図1に見られるように他国と比べて極端に低い。これは脱炭素にはHVで十分だという日本と考え方が自動車業界で支配的だったためとされる<sup>1)</sup>。世界との格差はさらに大きくなっている。これからも世界の予想はEVの大幅な伸びが期待されている。そのような中で、菅義偉前政権が「2050年までにカーボンニュートラル」を宣言し、これまでの考えを一変させた。すなわち2030年度の地球温暖化ガス削減量をそれまで

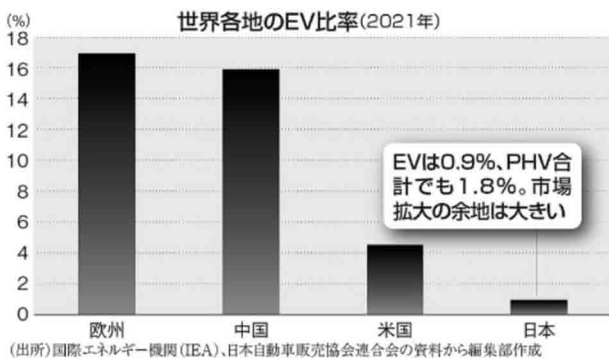


図1 世界のEV販売比率(2021年)<sup>1)</sup>

の2013年度比26%から46%一気に引き上げられ、電源に占める再エネの構成比率目標は2030年度で22~24%から36~38%に引き上げられてしまった<sup>1)</sup>。果たしてこれらの目標に十分立ち向かうことが出来るか注目される。

## 2. 各分野の課題と取り組み状況

### 2-1 EV

脱炭素を語るにはどうしてもEVから始めなければならない。これはEV化すればその電源は現状の火力、再エネ、原子力など多くの分野から工面できるし、今後さらに蓄電池の活用なども考えられるからであろう。遅まきながらトヨタを初めメーカー各社もEV、PHVの購入可能な車種を発表した(図2)<sup>1)</sup>。これで一応体制は整ったがここ数年の遅れを果たして挽回出来るか。世界で見ると2035年には約5000万台のEV販売が予定されており、その内欧州が2200万台、中国1950万台、米国900万台予

日本で購入可能な日本製EVとPHV

ブランド	車種名	EV/PHV	発売日	電池容量 (kWh)	航続距離 (km)	価格 (万円)
日産自動車	リーフ	EV	2017年10月2日	40~60	332~450	370~480
	アリア	EV	21年6月4日	66~91	430~610	539~790
	サクラ	EV	22年夏	20	180	233~294
三菱自動車	エクリプスクロスPHEV	PHV	20年12月4日	14	57	384~451
	アウトランダーPHEV	PHV	21年12月16日	20	87	462~532
	ekクロスEV	EV	22年夏	20	180	239~293
トヨタ自動車	プリウスPHV	PHV	17年2月15日	9	68	317~426
	RAV4 PHV	PHV	20年6月8日	18	95	469~539
	レクサスUX300e	EV	20年10月22日	54	367	580~635
	C*ポッド	EV	20年12月25日	9	150	165~171
	レクサスNX	PHV	21年10月7日	18	90	714~738
	bZ4X	EV	22年5月12日	71	559	600~650
スバル	ソルテラ	EV	22年5月12日	71	487~567	594~682
	MX-30	EV	21年1月28日	36	256	451~495
マツダ	CX-60 PHEV	PHV	22年秋	18	50	584~626
ホンダ	Honda e	EV	20年10月30日	36	259~283	451~495

(出所)各社資料を基に編集部作成

図2 日本で購入可能な日本製EVとPHV<sup>1)</sup>

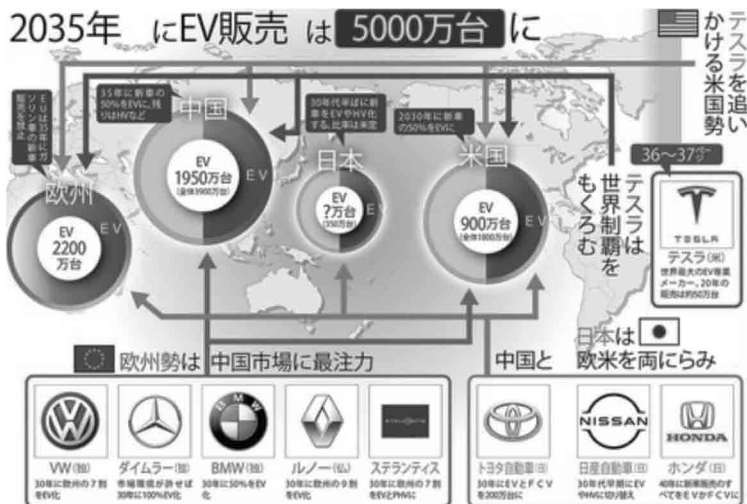


図3 世界のEV車対応<sup>2)</sup>



図4 CO<sub>2</sub>排出ゼロへの転換イメージ

定されているが、日本はまだこの時点では正式な発表は避けている（図3）。大雑把には2035年では新車発売（11000万台）のうち約4割がEVに置き換えられるという計算から算出している。このような結果を捉えて日本メーカーの対応は、日本もまず車種のラインアップ拡充を急ぐべきとの判断だったようだ。その結果が図2に現れたのであろう。中でもトヨタの世界発売をEV350万台、バッテリーを含めて8兆円投資すると発表した<sup>3)</sup>。しかしその時点でもHVやFCVとの「全方位」でEVへの特別配慮はない。世界に先駆けてEVを輩出した日産は低価格車サクラを、三菱もekクロスEVを、ホンダは2040年までに新車発売はすべてEV、FCVとすると発表した<sup>1)</sup>。

一方、欧州ではメルセデス・ベンツは2030年にも新車発売はすべてEVと宣伝、VWも2030年までに欧州発売の70%以上をEVとの計画。中国では2014年からの大手自動車メーカーの中価格帯EVのブームに続いて2020年以降の第2次EVブームに沸いており、この次ブームは米テスラ上海の「モデル3」（高級車）が火付け役になったといわれる<sup>4)</sup>。その後バイドウなど大手IT企業が高級EV生産に乗り出し、大手国有自動車メーカーも立ち上げているという。

日本の自動車産業はガソリンエンジンで勝ったため、ガソリンエンジンのサプライチェーンが構築されており、これを切り捨てることはどうしてもできなかった。しかしテスラや中国EVメーカーには守るべきシステムや聖域が無い。この差が日本の開発スピードを大幅に遅らせる原因になったといわれ

る<sup>1)</sup>。

## 2-2 電力

政府の描く脱炭素戦略、2020年経産省が発表した「グリーン成長戦略」の要約版を図4に示す。CO<sub>2</sub>実質ゼロ化の全体像は、①CO<sub>2</sub>排出の4割強を占める電力を再エネ拡大などで脱炭素化、②その上で運輸（自動車燃料など）や産業、民生分野でも電化をすすめる、③対応しきれない産業・民生の熱分野ではCO<sub>2</sub>排出ゼロ水素などを活用、さらにそれでも化石燃料の残っている部分には植林などによるCO<sub>2</sub>吸収で対応する、という<sup>5)</sup>。

個々の分野では、第一が太陽光発電と並んで再エネの中核に位置づけられた洋上風力発電といわれる。日本は四方を海に囲まれているが洋上風力はまだ商用化されていない。政府は2030年までに原発10基分に相当する10ギガワット、40年までに30～40ギガワットを導入する目標をコミットした。

こうした洋上風力の拡大により、50年度の発電量割合について、再エネ50～60%（19年度18%）、原子力・火力+CCUS（CO<sub>2</sub>の回収・利用・貯留）30～40%、水素・アンモニア10%とする参考値を掲げている。第二が我が国の産業界が強みを持つ水素・アンモニアの活用。JERA（東京電力と中部電力の発電統合企業）は20年後半から石炭火力発電でアンモニア混焼を開始し、徐々に混焼率を上げていくといわれる。それによりガス火力発電も水素に移行する。水素は他にも熱やFCV、水素還元製鉄などにも活用され、使用量は膨大になると思われる。そのため商社や開運、造船業界などが米国、豪州、中東な

どから大規模な水素・アンモニア輸入を目指すことも盛り込まれている。第三が自動車・蓄電池。欧米中を追う形で日本政府も今回、35年の純ガソリン車販売禁止（HVを除く）を打ち出した。HVに強みを持つ日本車が今後どんな時間軸でEVシフトを加速出来るか焦点だ。

### 2-3 蓄電池

蓄電池といえば今ではリチウムイオン電池が真っ先に出るが、つい最近まで鉛蓄電池やニッケル水素などが主流であった。リチウムイオン電池の研究は1970年代よりあるが、現在の形が出来てきたのは1980年オックスフォード大学のノーベル化学賞受賞者ジョン・グッドイナフと水島公一らによるコバルト酸リチウム ( $\text{LiCoO}_2$ ) を正極材としての提案だといわれる。その後ノーベル化学賞受賞の吉野彰、白川秀樹らが炭素素材を負極として提案することでリチウムイオン二次電池の基本が確立したといわれる。これで正極にコバルト酸リチウム、負極に炭素素材を用いるリチウムイオン二次電池が出来上がった。電解液は水溶液系ではリチウムによって電気分解するため使えず、非水系電解質が使われる。

リチウムイオン電池の特徴は、従来のバッテリーに使われていた鉛蓄電池と比べ、エネルギー密度が濃く、小型・軽量で長寿命（8～10年）、自己放電も少なく、急速充電も可能といわれている。

しかし、従来の電池は電解質が液体であるため、電解質の蒸発、分解、液漏れといった問題が付きまとっていた。電解質の固体化は開発者達の積年の課題で、なかなか実用化には至らなかった。しかし近年EVの普及で開発が活発化して実用化の目途も立ってきた。全固体電池の構造を図5<sup>6)</sup>に示すが、期待される点は次の二点といわれる。一つは既存のリチウムイオン電池では可燃性溶媒の電解質が使わ

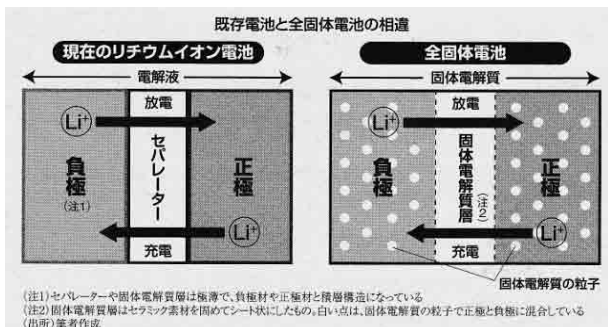


図5 既存電池と全固体電池の相違

れており、条件がそろえば火災事故につながる。電解液の代わりに不燃性の固体電解質を使えばそのリスクは大幅に低減する。二つ目は電池の冷却システムの省略。液系電池では $-30^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 、特に $50^{\circ}\text{C}$ 以上の高温域では電池の劣化を加速させていた。これに対し固体電解質では $100^{\circ}\text{C}$ 以上の高温域でも使え、かつ高温域ではイオン電導性も大きくなるため性能も向上するといわれている<sup>6)</sup>。

リチウムイオン電池、全固体電池などの基礎研究は確かに日本が圧倒的に強かったが、実用化段階に入ると様相は一変してしまった。図6<sup>7)</sup>に2018年度の車載電池メーカーの出荷量を示す。今や世界で戦える国産電池メーカーはパナソニックしかない。完全に出遅れた日の丸電池のサプライチェーンに対し、今更「巨額の血税」を投入することに正当性があるかといわれている<sup>7)</sup>。図7にEVシフトを明確化している欧州各国の車載用電池工場の設置計画をまとめた<sup>2)</sup>。重い蓄電池を対象地域から運ぶ高い輸送コストを避けるためにも欧州での蓄電池製造は必要となる。

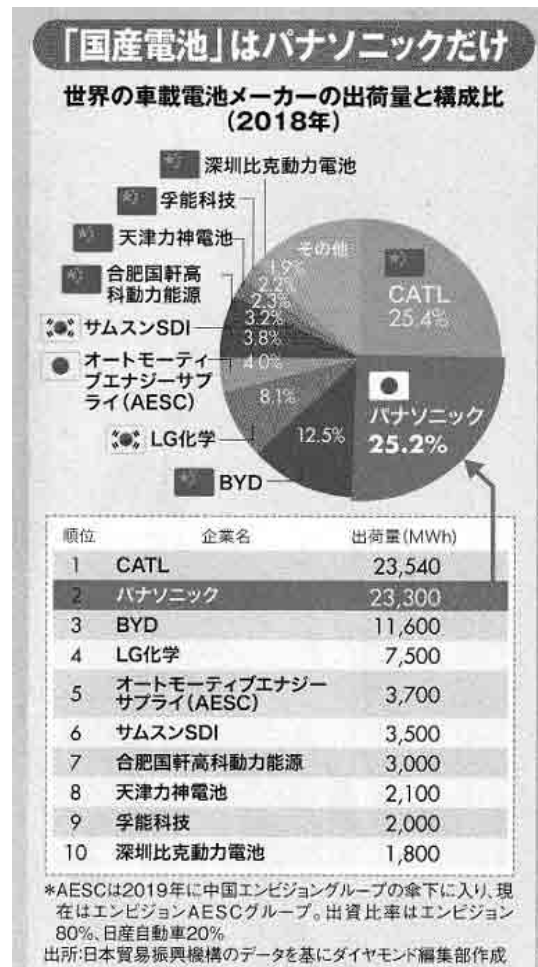


図6 車載電池の出荷状況

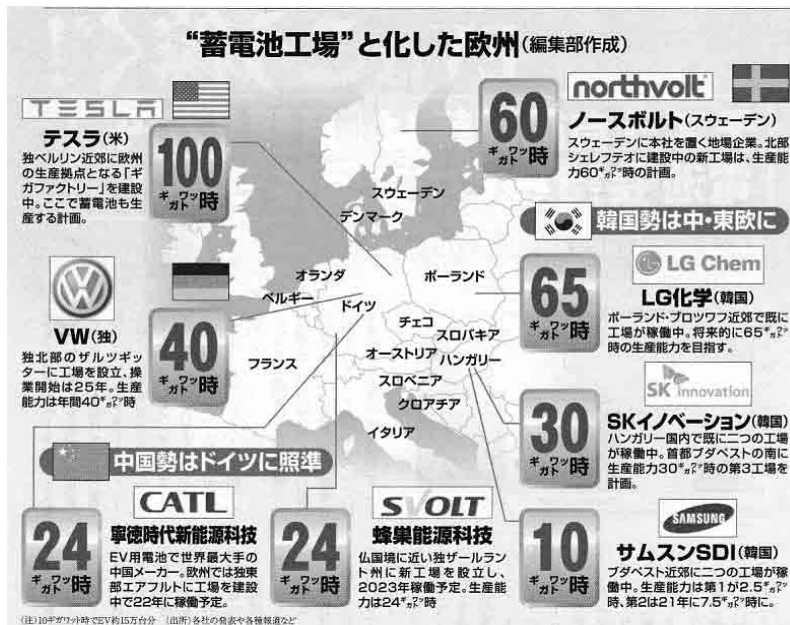


図7 蓄電池工場と化した欧州

## 2-4 鉄鋼

最近よく「日本の鉄鋼は生き残れるか」、「日本の鉄が生き残る道」などという言葉が飛び交う。よく知られているように、鉄は高炉において鉄鉱石 ( $Fe_2O_3$  など) をコークス (C) により還元して造られる。この方法では原理的に大量の  $CO_2$  排出は避けられない。これに対して脱炭素の切り札と考えられている方法が「水素還元法」である。ここではコークスの代わりに水素 ( $H_2$ ) を使うため排出ガスは水 ( $H_2O$ ) のみである。一見うまく解決したように思われるが、簡単ではない。最大の課題は水素による鉄鉱石の還元が吸熱反応であるから。つまりこの反応を継続して行うには外部からの  $1500^{\circ}C$  以上の高温加熱が必要であること。次の問題が膨大な水素の調達。日本の年間粗鋼生産約1億トンのうち鉄鉱石から造られるのは7500万トン。すべてを水素で還元するには約700万トン必要といわれる。2017年時点で日本でのエネルギーとして流通している水素は年間200トンといわれる。次の問題が水素の価格。現行の水素価格の少なくとも1/10に下げなければコスト競争力で石炭に太刀打ちできない。これは2050年の政府目標のさらに半分の目標といわれる。さらに水素還元には既存の高炉が使えないため、水素還元用の新しい生産設備が必要になる。これまでの高炉への投資は損失になるうえ、新しい炉への投資が膨大になる。2050年までにすべての高炉を水素還元置き換えることは不可能で、さまざまな技術



図8 国内鉄鋼各社の高炉の実働状況

を組み合わせることで  $CO_2$  排出を抑えていくことになる。ちなみに既存の高炉を1基水素用に転換するには数兆円が必要といわれている。それでも日本鉄鋼業界は2030年代の水素製鉄の技術確立を目指している。日本鉄鋼メーカー各社の高炉設置状況を図8<sup>8)</sup>に示す。全国に散らばっているこれらの高炉をすべて水素製鉄化することは現時点では考えていない。最近SSAB(スウェーデンの鉄鋼メーカー)が「水素還元製鉄」を発表したので、その時の概略図を図9<sup>9)</sup>に示す。

もう一つの  $CO_2$  排出削減法が鉄スクラップの利用拡大である。すでに還元プロセスを経た鉄スク

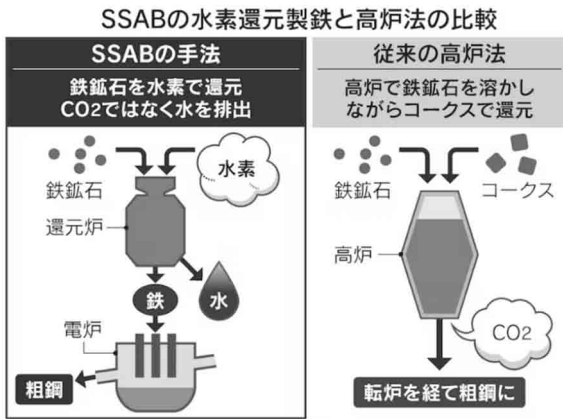


図9 SSABの水素還元製鉄と高炉法の比較

水素は製造方法で呼称が異なる		
	製造方法	1kg当たり製造コスト
グレー水素	天然ガスなど化石燃料から製造	1ドル
ブルー水素	グレー水素の製造過程で出たCO <sub>2</sub> を回収	2ドル以下
グリーン水素	再生可能エネルギーで製造	5ドル
イエロー水素 (ピンク水素)	原子力発電で製造	2.5ドル

(出所)米エネルギー庁、国際原子力機関

図10 主な水素の種類と製造法<sup>10)</sup>

ラップからの製鉄は高炉法に比べて排出量は約1/4。ただし国内1年間で発生するスクラップ約3000万トンの大半はすでに利用され、800万トンが輸出されているといわれる。この輸出されている鉄をすべて電炉方に回しても量的にとっても足りない。さらにこのスクラップ鉄活用のもう一つの問題は、スクラップ中に含まれる不純物の処理である。電磁鋼板や超ハイテン材など高級鉄製品には不純物の制約が大きく、現状では製造できないといわれる。

なお排出されるCO<sub>2</sub>はCCUS(CO<sub>2</sub>を回収し利用・貯蔵する技術)で相殺することも必要になる。ただし日本では貯蔵・利用はコストのハードルが高く解決出来そうにないといわれる。

## 2-5 水素、アンモニア化

脱炭素といえまず水素の活用だ。その製造法を図10に示す。現在世界に流通している99%は「グレー水素」といわれる。天然ガスや石炭などから造られるが、過程でCO<sub>2</sub>を大気中に放出するため、環境への負荷が大きい。そこで脱炭素時代に注目視されているのがまず「ブルー水素」だ。天然ガスや石炭などを燃焼させて水素を取り出し、CO<sub>2</sub>は地中などに貯蔵するもの。しかしCO<sub>2</sub>を完全に地中に閉じ込められるわけではない。もう一つが太陽光や風力など再生可能エネルギー由来の電気を使い、水を電気分解してつくるのが「グリーン水素」だ。CO<sub>2</sub>は出さないため温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させる「カーボンニュートラル」に向けて最も有効とされる。しかし問題はグリーン水素のコストだ。現時点で1キロ当たりの平均生産コストはブルー水素の2~4倍。ブルーと同程度にまで下がるのは2040年頃と英資源調査会社は推計している<sup>10)</sup>。

一方、政府は国内での水素の使用量を2030年時点で1000万トン規模とする目標を立て調整に入っている。2050年の温暖化ガス排出実質ゼロにするためにはCO<sub>2</sub>排出のない水素の活用が不可欠で、欧州や中国も力を入れ始めた<sup>11)</sup>。発電や燃料電池向けの燃料として利用を増やし、コストを引き下げて普及につなげる。政府が2017年にまとめた水素基本戦略では2030年時点で30万トンの水素を使う目標を立てている。30万トンは原子力発電所1基分に相当する100万キロワットの発電所をほぼ1年間稼働させられる量になるという。1000万トンなら30基以上稼働できる。問題は先ほど触れたように製造コストだ。1N立方メートル当たり100円程度に対し、液化天然ガスの同13円を大幅に上回っている。政府は今後見直す水素基本戦略で、2030年目標を明確にする。なお図11に国内の水素戦略に強く関わる主なメーカーとその取り組みを示す<sup>11)</sup>。

2050年までに温暖化ガス排出の実質ゼロを目指す日本の切り札として、アンモニアへの注目が集まっている。燃やしてもCO<sub>2</sub>を出さず、すでにある輸送手段や貯蔵設備を使えるメリットも多い。化石燃料に代わる「夢の燃料」を巡っては水素への期待が先行するが、日陰の存在だったアンモニアが「現実解」として主役の座に躍り出ようとしている。当初は水素の運搬役としての使い道が期待されていたが、燃料としての扱い易さが目に留まった。常温常圧では気体で、-33°Cで液化する。-253°Cで管理する液体水素に比べ、はるかに運び易い。コストも、経済産業省などの試算ではアンモニアだけの「専焼」の発電コストはこれまで1KWh 23.5円で同97.3円(20年時点)の水素より安い。それでも「水素と主

## 協議会に参画する主要企業の取り組み

トヨタ	20年12月中に航続距離を伸ばしたFCV「ミライ」の新型車を発売予定
岩谷産業	船舶や鉄道、発電など水素需要を拡大し、コスト削減に取り組む
三井物産	ブルネイで調達した水素を日本へ運ぶ実証実験に参画予定
関西電力	火力発電の水素混焼の導入可能性を調査
東芝	福島県浪江町での世界最大級の水素製造拠点の実証実験に参画
エネオス	水素ステーションを全国で44カ所展開。今後も拡大する計画
川崎重工業	30年にも大型の水素運搬船の商用化を目指す
三菱重工業	水素を燃料にして二酸化炭素の排出量を減らす火力発電設備の開発を進める
神戸製鋼所	液化水素を運搬したり貯蔵するのに必要な圧縮機などを手がける

図 11 協議会に参画する主要企業の取り組み<sup>11)</sup>

役を交代」と言い切れないのは供給の不安があるため。アンモニアは「ハーバー・ボッシュ法」という20世紀初めに開発された高温高压法で今でもつくる。生産設備に限られ、急に流通量を増やせない<sup>12)</sup>。

新しいアンモニアの製造法が国内でも研究されている。「空気と水」から直接つくる方法に挑むのが西林仁昭氏（東京大学教授）。西林仁昭氏の手法は再生可能エネルギーで作った電気を使い「水と空気」を反応させるというもの。細菌が持つ機能を再現できれば、常温常圧の空気中の「窒素ガスと水」からアンモニアをつくる事が出来るという<sup>13)</sup>。

### 3. おわりに

これまで想いつくままに、(I)では「新型エネルギー時代の幕開け」で日本が世界に先駆けて開発したFCVを中心にHV、EVの登場および、官民一体となつてのこの快挙を称えあつた。ところが海外ではFCVへの評価がほとんどなく、EVおよびPHVが評価され完全に二極化した。(II)では「脱炭素社会」という言葉の誕生時期を考えると共に、CO<sub>2</sub>排出量が地球温暖化に起因していることを述べ、世界および日本のCO<sub>2</sub>排出量の現状を述べた。(III)では自動車のみではなく、電力、鉄なども含めた広範

囲の脱炭素への取り組み状況を述べ、さらに対応策として有力視されている水素およびアンモニア化の現状についても述べた。

「脱炭素」という言葉がよく使われるようになってからの、マスコミ界を大きく賑わした時期は3段階あつたと思われる。まず、**ステージ1)**トヨタによるFCVの開発・発表、官民一体となつた水素社会の一大キャンペーン(’14~’15)。**ステージ2)**ところが海外がついて来ないので、トヨタがEVも手掛けると大きく方針転換し、マスコミ界も大変身(’17)。**ステージ3)**日本、世界ともEV中心でほぼ落ち着いたが、トヨタは焦燥中(’17後半~)。この間国内はほぼトヨタの動きに左右されていたが、政府の動きも鈍く、世界のEV一直線の対応に対して2、3年の遅れを取つたように思われる。EV化における最大の課題は優れた電池の開発にあると思う。この技術も元々は日本が先端を走っており、特に今話題になっている全固体電池では、トヨタ、パナソニックを中心に進められてきたと思うが、ここ1、2年ほとんど進展が見えない。その間中国勢が大きく進出して、EVの売り上げ上位を独占してしまった。果たして今後日本がEV生産でトップになれるのか？TV、スマホなどと同様、また中国・韓国の後塵を拝することになるのか。原子力発電の取り込みをどうするか、水素製鉄などに大金をかけて進めるのか、本当に水素社会になるのかなど、基本をしっかりと考えることが大切でないのか。新しいことを始めるのがだけ大切ではない。

### 参考文献

- 1) 週刊エコノミスト、2022.6.14
- 2) 週刊エコノミスト、2021.9.7
- 3) 日本経済新聞、2021.12.15
- 4) 週刊東洋経済、2021.10.9
- 5) 週刊東洋経済、2021.2.6
- 6) 週刊エコノミスト、2021.3.2
- 7) 週刊ダイヤモンド、2021.2.20
- 8) 週刊東洋経済、2022.3.26
- 9) 日本経済新聞、2022.5.24
- 10) 日本経済新聞、2022.2.14
- 11) 日本経済新聞、2020.12.8
- 12) 日本経済新聞、2021.8.8
- 13) 日本経済新聞、2022.2.15