
脱炭素社会に向けて（Ⅳ）

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（Ⅳ）

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

一応、Ⅲ報までで一段落したつもりであるが、中心課題である EV 化問題で日本の立場が不鮮明である。もう少し明確になった時点でまとめようと思っていたが、トヨタ自動車の社長交代発表があったので、これを契機に取りまとめたみたいと思った。

脱炭素という大きな目標を掲げて世界的に動いているなか、コロナ禍でこの3年余り大きな打撃を受け、さらに1年前からロシアのウクライナ侵攻まで巻き起こり、收拾の目途が全く立たない時代に突入した。このような時代になると、脱炭素などという“高尚”な目標に目を向ける前により現実的なエネルギー問題や食糧問題などに関心が集まるのが自然と考えられる。明言されていないが日本でも折角進んでいた脱原発が、また逆戻りしようとしている。この問題も含めて、最新の脱炭素の動きをまとめてみることにした。

2. 各分野の動き

2-1 トヨタの社長交代

トヨタは2023.1.26 豊田章男社長（66）が4.1付きで会長に就き、佐藤恒治執行役員（53）を社長に昇格させる人事を発表した^{1,2)}。これで遅れが指摘されるEVの立て直しに大きな改革がなされるかと期待した。新社長からもEV取り組みを加速させ、2026年には「レクサス」では新台車を導入し新型車を生産する考えを明らかにした^{3,4,5)}。また電気自動車の作り方も根本的に改める。ガソリン車やHV車向けの延長線だったのを脱し、EV専用の基本設計とする。生産効率とコスト競争力を高めEVで先行する米テスラなどに対抗する。

トヨタは22年の新車発売台数では世界首位が確実になっているが、EVの世界販売シェアでは首位のテスラ、2位の中

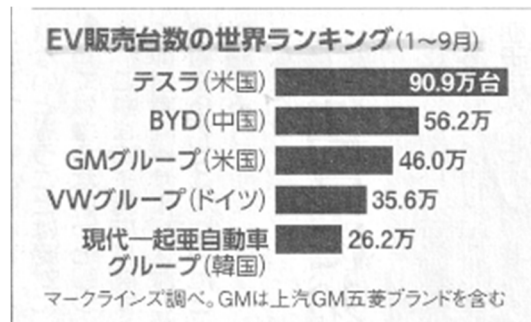


図1 メーカー別の世界販売車数（2022年1~9月）
2022年12月30日 朝日新聞

国BYDなど米中欧のメーカーが上位を占め、トヨタは上位10社に入っていない(図1)⁴⁾。トヨタは21年末、EVを30年には30車種そろえ、世界で350万台販売する戦略を発表している³⁾。ただ目標はいいとして、足元での動きとしては、世界の市場ごとの性格の違いや技術の進展に対応するため、HVやEV、FCV(燃料電池車)の開発を「全方位」で進めることには変わらない。数年は大丈夫にしても、その後の車社会を引っ張って行けるのであろうか。ことは100年に一度といわれる車改革の時代に差し掛かっているのである。

2-2 主要7カ国(G7)気象・エネルギー・環境相会合^{6,7)}

札幌市で4月15,16日に行われ、共同声明が出された。久しぶりに日本で開催される注目の国際会議であった。そのポイントが図2に示されている。

議長国の日本に重い課題を突き付けたといわれる。まず2035年の温室効果ガス排出削減量は「19年比で60%減」とした。再生可能エネルギーの導入目標の引き上げは必須で、脱炭素に向けて欧米からの圧力は続く。日本は30年度時点で4割弱の再生可能エネ比率を見込んでいる。対象期間が微妙に異なるため直接比較は難しいが、日本の46%減より相当

G7環境相会合の共同声明のポイント

- 温暖化ガスを2035年までに19年比で60%削減
- 排出削減対策のない天然ガスや石炭などの段階的廃止
- 石炭火力発電所の廃止時期は明示せず
- 自動車からのCO₂を35年までに00年比で半減させる可能性に留意
- 30年までに洋上風力発電を21年実績の約7倍に
- 重要鉱物は鉱山開発やリサイクルで安定した供給網を構築
- 海洋を含むプラごみによる新たな汚染を40年までにゼロへ

図2 G7 環境相会合の共同声明のポイント
2023年4月16日 日本経済新聞

に厳しい。

原子力規制委員会に再稼働を申請、または既に合格した原子力発電所をすべて再稼働させても発電比率は2割程度にとどまるといわれる。

国は40年までに最大4500万kW洋上風力発電の導入にめどをつける。導入量の上積み、前倒しが求められる。太陽光は天候に左右されやすい。陸上風力も適地に限りがある。欧州や中国は洋上風力を再生エネ拡大の柱に捉える。共同声明の策定過程で、日本は「防戦」続きだったといわれる。象徴は石炭火力発電所。温暖化ガスの排出が多いとして欧州などは廃止時期の明示を迫った。日本は30年度も発電量の2割弱を石炭火力に依存するため受け入れられなかった。石炭火力でアンモニアを混焼する取り組みにも批判が相次いだといわれる。日本は脱炭素の主軸の一つとしている発電へのアンモニアの活用にはG7の複数の国が明確に反対し削除を求めたといわれる。

合意が最後まで難航したのがEVの導入目標時期。英国は35年までに主要市場での販売のすべてをEVなどにするよう要求した。米国は今後10年の小型車販売でEVなどを5割にする案を求めた。日本は自動車から出る二酸化炭素(CO₂)を35年までに00年に比べて半減するとの文言で理解を求めた。米国は販売台数による数値目標の明記にこだわった。交渉は4/15深夜にもつれ込んだといわれる。結局米国の考えを盛り込みつつ、日本の「35年までに半減」と共に明確な数値目標としない曖昧な文言で決着させたといわれる。

主な企業の合成燃料の取り組み

自動車	
独ポルシェ	チリで生産開始。27年に5.5億リットルを計画
ホンダ	レース車と航空機向けに研究
トヨタ自動車	耐久レース車向けに使用
フォーミュラ・ワン(F1)	サウジアラムコとレース車向けを開発
石油元売り	
ENEOSホールディングス	40年ごろまでに商用化
出光興産	30年までに生産開始

図3 主な合成燃料の取り組み
2023年3月30日 日本経済新聞

「守りに終始した議長国から、世界の脱炭素を牽引する「攻め」へと転換していく必要があるといわれた。

2-3 合成燃料の開発^{8,9)}

欧州連合(EU)は温暖化ガス排出をゼロとみなす合成燃料の利用に限り2023年以降もエンジン車の新車発売を容認した。合成燃料は電動化が難しい航空機・船舶向けが本命で、自動車業界では航空関連事業も手がけるホンダとポルシェが先行する。生産コストの高さなど課題も多いが、EUの新方針により車での需要拡大を見込んだ開発競争が加速するとみられる。合成燃料は再生可能エネルギーから生み出すグリーン水素と、工場などで回収・貯蔵した二酸化炭素(CO₂)からつくる。現在のエンジン車やガソリンスタンドでそのまま使えるのが利点。精製すれば航空機のジェット燃料や船舶向け燃料にも使うことが出来るといわれる。

自動車メーカーではポルシェが先手を打つ。独シーメンス・エナジーと組んで22年12月チリ南部に合成燃料の工場を稼働した。独政府の補助を受け25年までに5500万L、27年からは5億5000万Lを生産する。ホンダは長距離や高速走行で高出力が求められる自動車レース向けに合成燃料を検討しているといわれる。トヨタも耐久レースに合成燃料を使用したスポーツ車を投入した(図3)。EUの新方針について、日本の自動車業界からは歓迎の動きがある。確かにEVへの移行で失う恐れがあった雇用や工場維持への期待は大きい。合成燃料はエンジンの利用継続を求める「抜け穴」との批判も出ており、EUが先頭を切ってきたEVの普及の

遅れにつながりかねないと懸念もある。

EU のエンジン車禁止は日本の自動車メーカーが強い HV の禁止も含まれる予定だったが、合成燃料利用が可能となれば、HV 技術を生かした日本車は有利になる可能性がある。

2-4 蓄電池技術の動き

・全固体電池：「次世代電池の大本命」とされてきた全固体電池は開発が大幅に遅れている。背景には図4に示すように大きく3つの技術的課題があるといわれる¹⁰⁾。日本の技術に大きな期待がかけられていただけに、ここで中韓に逆転を許して政策転換を迫られる事態になったことは大変残念である。今後の資金や人的対応の見直しが求められている。

全固体電池はリチウムイオン電池の液体電解質を固体に置き換えたもの。発火の危険性が低く、セル全体を容易に積み重ねられるため体積当たりの電気量を3倍にできるとされる。立ち足はかかる3つの大きな課題は、1つ目は充放電により電極が膨張収縮すると固体電解質との界面が離れ、性能が低下する問題。2つ目がそもそも固体電解質の中では電気を運ぶイオンが動きにくい課題がある。3つ目が固体電解質の中でも硫黄系の材料はイオンが比較的動きやすいので、電池製造時や故障時に有害な硫化水素を発生する可能性がある。

「次世代の本命」全固体電池は3つの課題で開発に遅れ	
界面の接合	正極や負極が充放電により膨張収縮すると、固体電解質と離れてしまい性能が低下する
イオン伝導率	電気を運ぶイオンは固体の中で動きにくく、より動きやすい材料を見つける必要がある
硫化水素の防止	有望とされる硫化物系材料は製造時や故障時、有害な硫化水素が発生する可能性がある

図4 全固体電池、開発の遅れポイント
2023年1月30日 日本経済新聞

全固体電池は当初、2020年代前半のEV搭載を期待されていたが、開発が遅れた。ホンダや日産は20年代後半にEV搭載を目指す。関連特許で世界最多の出願数を誇るトヨタは20年前半にHVで実用化を目指すのが、EVへの搭載時期の目標は20年代後半を掲げる。サムスンSDIの元常務の佐藤登氏は「全固体電池は次から次に課題が出る。EVで実用化するにしても30年になるだろう」と慎重に見通している。

・リン酸鉄系(LFP)電池¹⁰⁾：リチウムイオン電池で主役に躍り出たのは容量を増やしやすいく三元系(リチウム、ニッケ

ル、コバルトなど希少金属使用)だが、それぞれの元素が偏在しているため供給が限られ、EVシフトの流れで電池の材料価格が高騰した。一方、LFPは正極材にリチウムと鉄、リンを使う「コバルトフリー」の電池だ。電池の材料に鉄とリンを使うLFPは材料を安定調達しやすく、三元系よりもコストを2割安くできる。LFPは足元ではEVの主流電源の座になる勢い。電池はEVの車両価格の3分の1を占める。米テスラや米フォード・モーターなどが安く、安定調達するためLFPの採用を進める。ゴールドマン・サックスによると、25年のEV用電池のシェアでLFP電池は36%と20年比で14ポイント高まる見通し。「枯れた技術」に投資が集まった結果、技術革新も生まれ始めた。先導するのは車載電池最大手の中国・寧徳時代新能源科技(CATL)だ。

LFPに続く「枯れた技術」の再活用の動きもある。東芝は200年前のボルタ電池と同じ電解液に不溶性の水を使う水系電池の進化を狙う。大規模な蓄電施設でLFPより2~3割のコスト低減を目指す。30年にも実用化するという。

負極にリチウムを使うリチウム金属電池は容量が三元系の2~3倍で、ドローン用に向く。ショートが起こりやすかったが、原因の負極を改良した。ソフトバンク先端技術研究所の齋藤貴也担当部長は「24~25年に量産に入れそう」という。

各電池の特徴の比較		
	ナトリウムイオン電池	リチウムイオン電池
充電速度	◎	○
動作温度	◎ (低温でも動く)	△
資源の豊富さ	◎ (安く入手できる)	△ (少なく偏在)
寿命	◎	○
蓄電量	△	◎

図5 ナトリウムイオン電池
2023年3月20日 日本経済新聞

・ナトリウムイオン電池¹¹⁾：リチウムの需要が増えて価格高騰や調達難があるなかで、リチウムの代わりにナトリウムを使用する「ナトリウムイオン電池」の開発も進められている。正極材に使うリチウムをナトリウムに置き換えるというもの。これまでナトリウムイオン電池は主流のリチウムイオン

電池に比べて容量が低いため、高容量を求めた自動車や電池各社がリチウムイオン電池の開発や改良に優先的に取り組んでいた。そのためナトリウムイオン電池の普及が遅れたが、今後容量向上に寄与する電解液や電極材料の開発が必要となる。ナトリウムイオン電池の特徴を図5に示す。国内ではセントラル硝子が2024年にもEV向けに参入予定といわれる。中国では車載電池最大手の寧徳時代新能源科技(CATL)が23年に世界に先駆けてナトリウムイオン電池を量産し、EV用に供給する計画があるという。

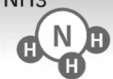


・フッ化物イオン電池¹²⁾: リチウムイオン電池に比べて容量が10倍にもなる可能性がある。「フッ素化物イオン電池」が期待を集める。京都大学や九州大学、トヨタ、日産、など25社が参加する国のプロジェクトではEVへの搭載を目指すといわれる。「フッ化物イオン電池の正極材にフッ化鉄が適する可能性を実証した」。2022年12月エネルギー関連の学術誌に掲載された九大などの論文が注目された。安価なフッ化鉄で、正極材の充放電につながる化学反応を確かめた。安く安全な蓄電池の実現性に向けた大事な一歩だ。

フッ化物イオン電池はフッ素を電気エネルギーの運び手とする新たな蓄電池だ。既存のEVのリチウムイオン電池は1Kgあたり200~250Whという容量だが、フッ化物電池は材料を工夫すれば2500Wh以上にできる可能性があるという。

九大などの成果は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクト「RISING3」で生まれた。トヨタや日産、本田技術研究所のほか、パナソニックホールディング(HD)傘下のパラソニックエナジーやダイキン工業、立命館大学などが参加している。課題はフッ化物イオンと相性のいい電極材料と電解質の探索。十分に反応しなければ電池の潜在能力を発揮できない。リチウムイオン電池で使うレアメタル(希少金属)に代わり豊富な銅やアルミニウムも電極材料の候補になる。動作温度の高さも課題。実用化は35年以降になるといわれる。

2-5 NH₃燃料¹³⁾

アンモニアに先行して脱炭素の切り札とされていたのは燃やすと水になる水素だった。00年代末から家庭用燃料電池や燃料電池車(FCV)が登場した。だが、保管や輸送に使うタンクを大気の数百倍の高圧にするか、-253°Cの極低温の状態にする必要がある。インフラ整備が難しく発電分野への普及が遅れたといわれる。その水素に代わって注目された

発電に使える各燃料の特徴			
	アンモニア	水素	天然ガス
組成式	NH ₃ 	H ₂ 	CH ₄ など 
毒性/腐食性	あり	なし	なし
燃焼時CO ₂ (1kgあたり)排出量	なし (NOx考慮せず)	なし	多い (2.7kg)
製造時CO ₂ (1kgあたり)排出量	多い (2~4kg)	多い (9~12kg)	少ない
燃料の性能(1kgあたり)発熱量	やや低い (18.6MJ/kg)	とても高い (120MJ/kg)	高い (50MJ/kg)
燃焼速度(メートル毎秒)	遅い (0.09m/s)	とても速い (2.9m/s)	速い (0.37m/s)
海上輸送効率(液化温度)	ふつう (-33°C)	悪い (-253°C)	やや悪い (-162°C)
空気中の燃えやすさ(最小着火エネルギー)	燃えにくい (680mj)	燃えやすい (0.02mj)	燃えやすい (0.28mj)

(注)経済産業省などの資料を基に作成

図6 発電に使える各燃料の特徴

2023年3月27日 日本経済新聞

のがアンモニア(図6)。数気圧か-33°Cで保管でき、通常のガスタンクで扱える。今後は発電量が天候に左右される再エネ材として普及が進む。現在は補助電源として石炭や天然ガスが担う出力調整の一部をアンモニアが代替する期待が高まっている。三菱重工も4万KW級の開発を目指し22年夏に中核部品の燃焼器の試験を始めた。25年にも実用化する計画だ。排熱を使い発電効率を高めるなどして、シンガポールの発電所への納入も検討する。原料のアンモニアは現在、北米や中東で産出する天然ガスなどを現地で改質してつくる。今後普及が見込まれる、再エネの電力で水を分解する「グリーンアンモニア」も安くつくれる南米などが供給源だ。日本政府は発電用途の拡大に伴い、アンモニアの需要が30年に21年比で3倍の300万トンに、50年に同30倍の3千万トンに増えるとみる。

反応には800~1800°Cが必要となるなり、この熱源のため化石燃料も使う。水素と窒素を合成してアンモニアをつくる反応も350~500°C、100~400気圧という過酷な条件だ。

脱炭素エネルギーで最終的に有力なのはアンモニアかそれとも水素なのか。「どちらも運搬・発電で使いこなす技術が日本にはそう。最後はインフラ整備次第だ」(プラント設備会社幹部)という。

・ペロブスカイト太陽電池¹⁴⁾: 日本で将来のノーベル賞候補となる先端研究人材が減っている。世界で注目される論文数

実用化を進める主な企業	
サウレ・テクノロジーズ (ポーランド)	2021年5月に工場を開設
オックスフォードPV (英国)	シリコン型と合わせた電池の工場を建設
大正微納科技 (中国)	22年7月から大型パネルを量産
積水化学工業	25年に事業化
東芝	25年度をめどに事業化
アイシン	25年に自社工場で実証
エネコートテクノロジーズ (京都府久御山町)	24年にパネル大での量産

図7 ペロブスカイトの実用化を進める主な企業
2022年9月22日 日本経済新聞

ではピークから2割近く減り国別順位で12位と、2000年代前半の4位から大幅に後退した。優れた成果を生み出す研究者も14年から半減し、躍進する中国との差が広がった。日本初の革新が生まれにくくなっており、科学技術振興策や人材育成の見直しが急務となっている¹⁴⁾。そのような中で日本人研究者が発明し、次世代太陽電池の「本命」いわゆる「ペロブスカイト型」を国内企業が実用化する動きがある。09年に本技術を発明した桐蔭横浜大学の宮坂力特任教授だ¹⁵⁾。ノーベル賞の有力候補とされており、印刷技術を使いシリコン型の半額で製造されるという。重さはシリコン型の10分の1で、折り曲げられる。建物の壁やEVの屋根など従来難しかった場所にも設置できる利点がある。欧州や中国の企業に先行を許したが、積水化学工業や東芝が25年以降に量産を始めるといわれる(図7)。その他にJR西日本が25年に全面開業を目指す「うめきた(大阪)駅」の広場への設置¹⁵⁾、ホンダも工場などの生産設備オフィスビルなど幅広い利用を想定し、2030年ころまでの実用化を目指すという本格的EVへの時代の到来に備え、事業の幅を広げる狙いがある¹⁶⁾。折角日本で発明された技術、ぜひ日本で花開かせたい。

④ 「ペロブスカイト」と呼ばれる特殊な結晶構造を持つ物質を材料に使う太陽光パネル。2009年に桐蔭横浜大学宮崎力特任教授が発明した。重さは現在主流となっているシリコン型の10分の1で折り曲げられるのが特徴。材料を塗って乾かすだけという簡単な製造工程のため従来の半額ほどで製造できると期待される¹⁷⁾。

3. おわりに

今日から主要7カ国首脳会議(G7広島サミット)が始まった。大きなテーマとしては「ロシアによるウクライナ侵攻問題」、岸田文雄首相が掲げる「核兵器のない世界」に向けた議論がなされるという。ロシアが核兵器の使用を示唆するなど、核軍縮・不拡散をめぐる状況は厳しい。米英仏の核保有国を含むG7として、実効性のある成果を出せるかが焦点だ。しかし出来たらこのような国際会議では脱炭素社会などを真剣に議論して貰いたい。

化石燃料の使用制限の強化、置き換わる元素として注目される水素利用の可能性追求、核技術、より高性能な蓄電池の開発など、脱炭素問題を進めるためには基本的問題が山積している。このような問題に全力で取り組むためにも「ウクライナ問題」などを早く解決してほしい。

それから日本のEV化問題での基本姿勢の曖昧さ、これも早くきちんとして貰いたいと思う。このままにしておくと技術開発で日本は世界の先端を走るとはできないと思う。

参考文献

1. 朝日新聞、2023.1.27
2. 朝日新聞、2023.1.25
3. 日本経済新聞、2023.2.14
4. 朝日新聞、2022.12.30
5. 週刊東洋経済、2023.4.15
6. 日本経済新聞、2023.4.16
7. 日本経済新聞、2023.4.18
8. 日本経済新聞、2023.3.30
9. 朝日新聞、2023.3.26
10. 日本経済新聞、2023.1.30
11. 日本経済新聞、2023.3.20
12. 日本経済新聞、2023.3.17
13. 日本経済新聞、2023.3.27
14. 日本経済新聞、2023.3.5
15. 日本経済新聞、2022.9.22
16. 朝日新聞、2023.4.18
17. 日本経済新聞、2023.4.3