

## カーボンニュートラルとは何か 内外動向と豊田合成への期待

山家公雄<sup>\*1</sup>

### What Is Carbon Neutrality?

### Internal and External Trends and Expectations of TOYODA GOSEI

Kimio Yamaka<sup>\*1</sup>

#### 始めに：カーボンニュートラルの潮流

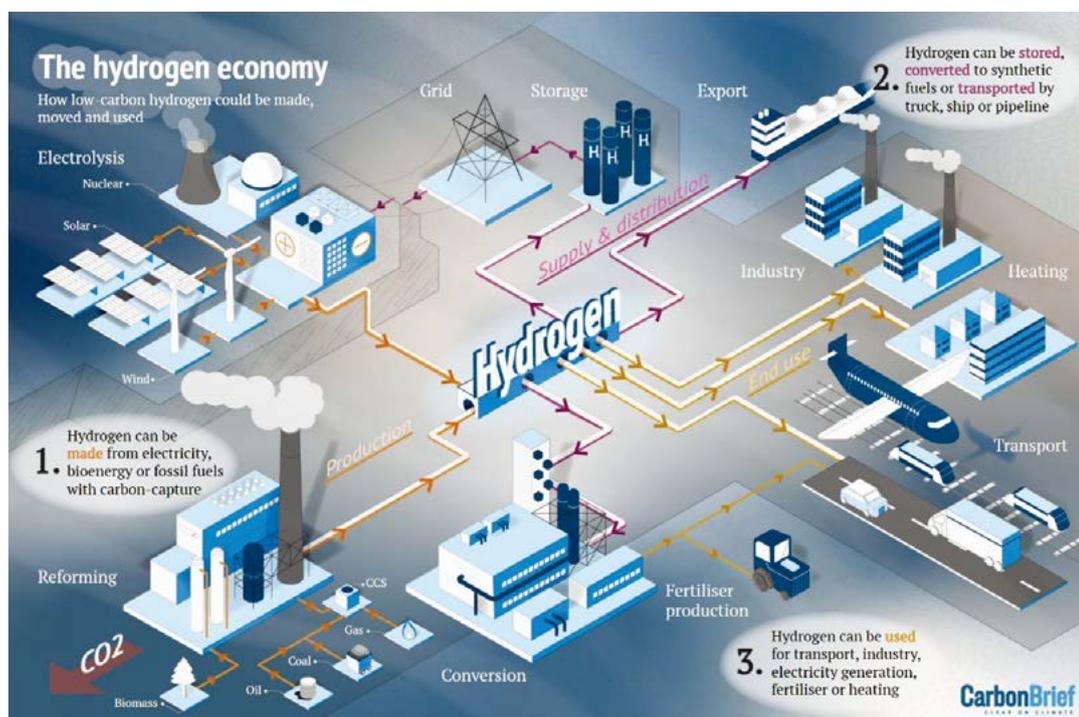
2015年に産業革命以来の大気温度上昇を1.5℃～2℃に抑えるパリ協定が締結された。その後IPCCの提言を踏まえて目標が2℃から1.5℃に事実上引き下げられた。日本をはじめ世界の主要先進国は2050年カーボンニュートラルにコミットするようになり、2050年削減目標は8割から10割に上がる。2割上げによるコスト上昇は大きく、高コスト対策とみられた水素が現実解に浮上する。2019年6月に先陣を切ってCN宣言を行った英国は、水素社会の到来にいち早く気が付く。英国に次いで先進国は相次いで2050年CNを宣言し、中間目標である2030年もEU55%、ドイツ65%、英国78%（2035年）と引き上げられていく。また、

EUやドイツ、英国等で水素戦略が取り纏められ、欧州の戦略が広く知られるようになる。水素で先行していた日本に追いつき追い越す勢いである。

#### 1. カーボンニュートラル（CN）への道程

##### 【電力から水素へ／電力から熱、材へ】

温室効果ガス（GHG）排出の8割強はエネルギー由来CO<sub>2</sub>であるが、脱炭素は技術的・経済的に電力が容易であり電化が基本となる。再エネ、原子力という確立された技術がある。他の主要エネルギー源である熱、燃料は化石資源由来が主となり、省エネルギーを徹底してもCO<sub>2</sub>排出は残る。また、化学品等化石資源由来の材料も水素かバイオを利用することになる（図-1）。

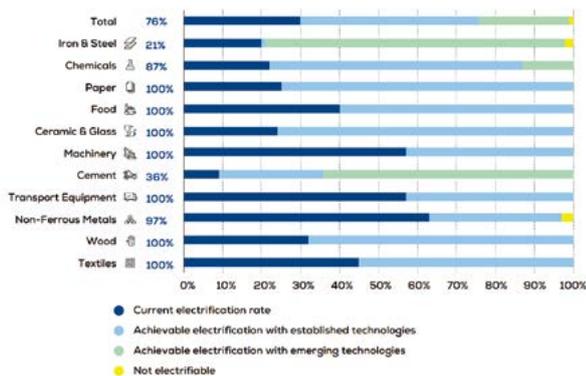


（出所）CarbonBrief

図-1 水素経済概念図

\*1 社外取締役

電化しきれない熱は水素や水素由来のメタンにて脱炭素化される。比較的低い温度の領域は、ヒートポンプ等を利用して電化が可能であり、家庭用・業務用の相当部分に対応できる。しかし、産業用の高温の熱は電化が困難な領域がある。大量の高温熱を使用する鉄、セメント・ガラス、紙、化学の脱炭素はチャレンジングで、技術革新を要する。なお、EUでは自動車産業、機械産業は既存技術により殆ど電化が可能としている（図-2）。



(出所) ETIP-WIND, Wind-Europe “Getting fit for 55 and set for 2050” (2021/6)

図-2 EUの産業別エネルギー電化可能率 (除く原料)

天然ガスに代わる気体熱源として水素あるいは水素と回収CO<sub>2</sub>を反応させてできる合成メタン(これをメタネーションという)がある。合成メタンは工場内排出CO<sub>2</sub>を回収して作るが、都市

ガス会社が気体燃料供給責任の下で製造して供給するかとなる。

化学品等の化石資源由来の材は、水素・バイオ由来の材に切り替わる。各種技術を駆使してメタノール、エタノール等を生成し、それを原料に合成樹脂(プラスチック)等が作られる。

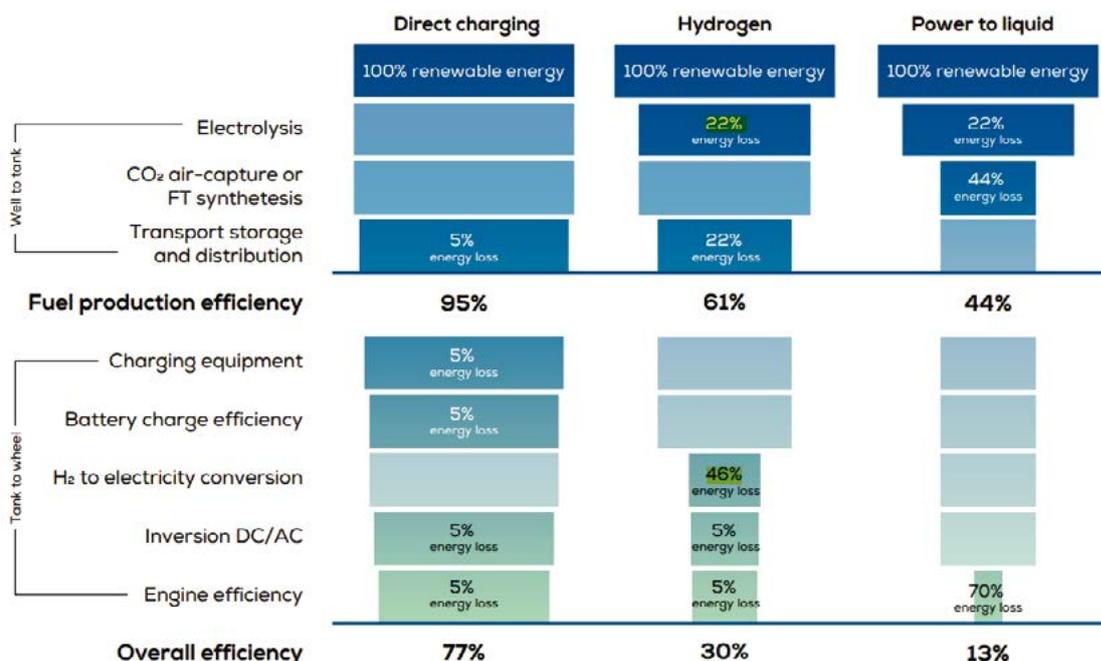
エネルギーとは別に生産工程で利用される水素も見逃さない。現在も石油精製の脱硫工程に、アンモニア(主として肥料用)やメタノール生成の原料として水素が大量に使用されている。また、製鉄工程で還元剤としてコークスが使われるが、これを水素に代える必要がある。

【運輸の脱炭素】

運輸部門も同様であるが、液体燃料の出番もある。電化しきれない商業車等の大型運輸手段は水素・水素由来の合成燃料やバイオ燃料にて脱炭素化される。BEV, FCV, 水素・E-Fuel等ゼロエミ燃料内燃機関とのエネルギー効率を比較すると、EU等の試算では77%, 30%, 13%となる(図-3)。

可能な限りBEVを利用し、BEVで難しい領域はFCV、それでも難しい領域はゼロエミ燃料ということになる。FCVは商用車、フェリー、鉄道辺りに適すると位置づけられている。船舶、航空機は主にゼロエミ液体燃料の出番となる。E-FuelのEはEcoではなく、Electricityであり、再エネで電気分解された水素とCO<sub>2</sub>を触媒を介してできる液体燃料のことである。

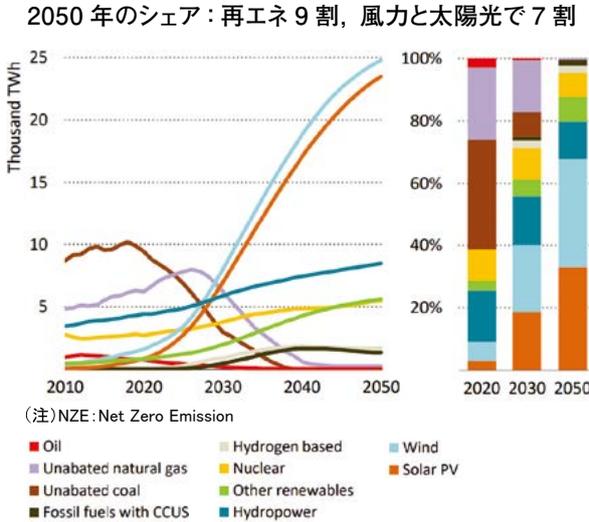
以上のように、CNに向けて膨大な水素需要が



(出所) ETIP-WIND, Wind-Europe “Getting fit for 55 and set for 2050” (2021/6)

図-3 BEV, FCV, E-Fuel車のエネルギー効率比較(再エネ電力利用)

生じるが、これは膨大な再エネ電力需要を生むことになる。再エネ電力はこれまでも急激なコスト低下をみているが、再エネと水素の拡大・コスト低下の好循環が期待される。国際エネルギー機関(IEA)は、2050年ネットゼロシナリオにて再エネ電力比率9割と試算している(図-4)。



(出所) IEA “Net Zero by 2050” (2021/5)

図-4 世界発電電力量の推移  
(電源種別, 2050NZE)

## 2. 水素を巡る議論

### 【グリーン水素かブルー水素か】

水素社会は確実に到来するが、その水素はどのように作られるのか。前述のように石油精製、アンモニアやメタノール生成を主に今でも相当量の需要があるが、殆ど化石資源由来の水素である。これのゼロカーボン化がまずは取り組まれることになる。

水素は色により語られる(カラーリング)。石炭由来はブラウン(ブラック)、天然ガス由来はグレイ、CCS(Carbon dioxide Capture and Storage)<sup>※1</sup>で脱炭素化するのがブルー、再エネ電気で水分解したのがグリーンである。ブルーとグリーンがゼロエミ水素と言われるが、グリーンが優先される。ブルーは、CO<sub>2</sub>回収効率が90~95%であり、化石燃料生産・流通の過程でのCO<sub>2</sub>発生やメタン漏出をカウントすると効率はさらに下がる。何よりも化石資源利用が続くことになる。

### 【2030年のコストはグリーン<ブルー】

問題はコストである。現状はブルーの方が低い。

脱炭素化を段階的に進めるためには、経過技術(ブリッジテクノロジー)としてブルーを利用し、グリーンのコストが低下するにつれて置き換えていくとの戦略が採られる。IEAのシナリオでもあり、特にEUは明確にその戦略を打ち出す。グリーンのコスト低下は、再エネ電力と水分解設備のコスト低下による。後者は設備利用率にも大きく依存する。再エネ電力は風力と太陽光の更なるコスト低下が見込まれるが、水分解設備もスケールメリットにより低下していくと見込まれている。

EUは2030年までに逆転するとみている。国際再生可能エネルギー機関(IRENA)、ブルームバーク、マッケンジー等が同様の見通しを示している。ブルーでは、ガス田を所有するメジャー等は設備やノウハウ・貯蔵場所を有している。北海は需要地にも近い。中近東・ロシアもガス田・インフラが整っている。グリーンでは、水力が豊富な北欧や洋上風力の適地である北海・バルト海は需要地にも近い。いずれにしても、ブルーはEUでもブリッジテクノロジーに位置付けられるが、投資判断を間違えるとストラandedアセット(座礁資産)化する。

### 【地政学大変動/再エネ資源国はCN時代の中東】

以上のように、CN実現のためには膨大な水素需要が生じる。EUは、2050年には最終エネルギー需要の24%はグリーン水素になるとしている(電力消費の25%)。エネルギー需要地(先進国)の内部調達では到底間に合わず輸入が不可欠になる。EUの水素戦略では、水分解設備容量は2024年までに6GW、2030年までに域内に40GW、域外に40GW設置する。EUに近く再エネが豊富に賦存する地域は低コスト生産が期待できる。輸入先としては水力の北欧、太陽光のアフリカ(北サハラ)そして太陽光の中東を想定している。EUは、国際協力体制の構築を重視する。途上国・産資源国に再エネ開発や水素製造の技術を提供する。太陽光ではチリ、メキシコ等も期待でき、輸送コスト次第では供給基地になりうる。

アジアで注目されるのは豪州である。LNG等化石資源に係るインフラが整備されており、太陽光・風力の再エネ資源が豊富である。日本に比較的近く日本工場が集積している東南アジアも要注目である。地政学上の重要地域は化石資源国から再エネ資源国に移行し、再エネ資源国との関係強化が重要になる。水素の輸送コスト如何では、再エネ資源地に産業が立地することは現実的な選択肢となる。日本については、後述する。

※1 CCS(Carbon dioxide Capture and Storage): 「二酸化炭素回収・貯留」技術のこと

### 3. カーボンニュートラルを巡る日本の動き

#### 【CN 宣言の背景に内外の圧力】

菅政権は、2020年10月に2050年カーボンニュートラルを宣言し、2021年4月に中間目標である2030年46%削減をコミットした。周到に準備したというよりも、世界の情勢や「外圧」に押された感は否めない。COP（Conference of the Parties）<sup>※2</sup>の場で化石賞の常連になり、安倍元総理が国連演説を拒否された衝撃は大きかったと言われる。これまでと異なるのは、産業界（全てではないが）を含め概ね評価されたことである。経済のグローバル化でCNコミットや再エネ調達が事業継続の重要な要素になるとの認識が進み、むしろ大量で低コストの再エネ調達が可能となるようなエネルギー政策への要望が出されてきていた。

2021年6～8月にグリーン成長戦略、発電コスト検証、エネルギー基本計画（エネ基）素案等が相次ぎ公表されたが、日本でも主役は再エネ、水素となる。再エネは「最大限の導入、最優先電源」と表現され、発電コストは2030年断面予想では太陽光・陸上風力が既存電源よりも低い水準となった。2030年の電源構成（電力量）は再エネ36～38%、原子力20～22%、LNG20%、石炭19%、水素・アンモニア1%、石油等2%とされた（図-5）。原子力は新增設のコミットはなく、現実には高くとも10%程度と考えられるが、これを埋めるのは再エネしかない。海外から排出権を購入するしかないとの見方もあるが、先進国でそれが許されるのかという問題がある。

#### 【危い既存システムへの配慮】

一方で、既存システム（電力設備）への配慮がある。2030年原子力2割程度もそうであるが、2050年の「叩き台試算」では再エネ50～60%、原子力/化石CCUS30～40%、アンモニア/水素10%である（図-5）。前述のように、保守的と言われるIEAでも再エネ9割である（図-4）。

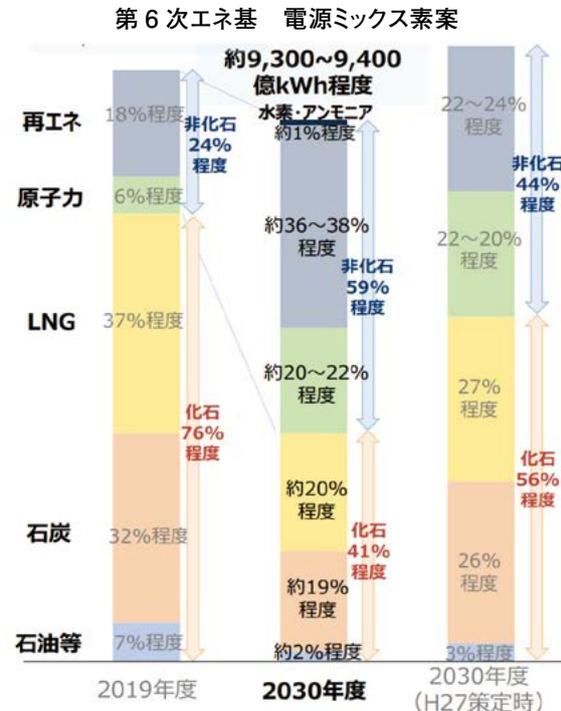
以下は筆者の考えである。ゼロエミ火力を目指すようであるが、課題が多い。前述のように、CCUSはブルー水素であるが、グリーン水素が望ましくコスト面でも2030年ごろに下回る可能性が高い。アンモニアの毒性や吸熱反応というハードルは低くない。何よりも、水素単独を含め既存火力発電で、混焼を含み、燃やすだけである。前述のように、CNにおいては、膨大な水素を必要とするが、再エネを開発しコストをかけて作った水素は大事に利用すべきであり、代替手段がある

※2 COP（Conference of the Parties）：「気候変動枠組条約」の加盟国が、地球温暖化を防ぐための枠組みを議論する国際会議

2050年の電源構成（参考値）

電源種	シェア (%)
再エネ	50～60
原子力/化石 CCUS	30～40
水素/アンモニア	10

（出所）基本政策分科会（2020/12/21）



（出所）エネルギー基本計画（素案）の概要（2021/7/21）

図-5 2030年、2050年電源構成の見通し（日本）

電力への利用は最も低い優先度となる。百歩譲ってもブリッジテクノロジーであり2050年で描くべき絵ではない。水分解で作られ、輸送し、それをまたエネルギー効率の低い（3～4割）方式で電気に戻すのは合理的ではない。既存設備やインフラを利用できるメリットが強調されるが、持続性に課題があり、スタンデッド化する可能性が高い。グリーン水素はIEAやEU等の考え方でもあり、日本の方針で投資が生じるのか疑問である。

#### 【国内空洞化の懸念も】

加えて、国内空洞化の懸念もある。前述のようにアジア地域では、豪州が最大の水素適地と考えられる。太陽光等の再エネ資源は豊富で、化石資源輸出立国であり、輸送インフラは整備されている。J-Power、川崎重工等は当地の安価な褐炭を利用したCCS付き水素を液化して日本に輸送する実証事業を進めている。運搬船を含め液化水素のサプライチェーンを構築する試みであり、政府も多額の助成を行っている。最近では、グリーン水素に焦点を当て、複数の輸送手段を含むアライアンスが多く発表されている。遠距離に位置する豪州の

課題は輸送コストである。経済合理性から産業ごと豪州に移転する可能性、国内空洞化する懸念がある。輸送技術も宝の持ち腐れになりかねない。

日本企業が多く立地する東南アジアにて豪州産水素を使うか、東南アジアでグリーン水素（ブリッジでブルー）を作るのか。筆者は、膨大な国内洋上風力資源を活用する方向に国力を傾注すべきと考えている。浮体式技術で先行し、ガスネットワークが未整備の中では、需要地近くまで電気で輸送して水分解装置で水素を作るといふ姿を描いている。

#### 【岐路にある日本の水素競争力】

なお、EUと日本の水素の競争力について敷衍する。確かに日本は水素で先行した。それは、FCVとエネファームという燃料電池の技術開発が先導した。一方、EUは温室効果ガス削減、省エネ・再エネ主導、それに基づき国内（域内）自給率向上、産業競争力との戦略が導かれている。水素戦略の背景には環境・エネルギー政策がある。総合的な戦略の下に再エネ大国となり次いで水素大国を目指す。既にグリーン水素の大規模実証事業が域内に目白押しで、海外とのパートナーシップ構築や投資が活発になりつつある。

米国はどうか。再エネは、資源が豊富で価格機能で自然に普及してきたが、バイデン政権になりパリ協定に復帰し2035年までの電力脱炭素化が目標に掲げられた。石油・ガスのネットワークも充実しており、輸送手段も整備されている。中国は、風力・太陽光共に断トツの生産量を誇り、世界を牽引しており、コストは低い。EV、蓄電池も牽引しており、燃料電池をはじめ水素への関心は高い。水分解についても大規模投資でコストダウンが進む可能性がある。EUの中国への水素関連技術協力は、太陽光の轍を踏まないとの思いがあり消極的との指摘もある。独自の技術開発となる可能性がある。

## 4. カーボンニュートラルにおいて注目すべき業界・企業の動向

日本でも14分類に及ぶグリーン成長戦略が取り纏められたが、主役は洋上風力を主とする再エネ、水素、CO<sub>2</sub>回収、蓄電池で、これに関わる産業・企業が注目される。本節では、CN技術で注目される企業としてトヨタグループ、化学工業に焦点を当てて紹介する。

#### 【トヨタグループのCN取り組み】

まずトヨタグループをみてみる。再エネではジェイテクトが洋上風力への参入を考えている。

グループでも機械関連に強みがあるが、電動化時代の中で、エンジン回りの事業は厳しくなっていく。一方で、風力発電は部品点数1.5～2万点を数え、多くを回転式機械部品により構成されている。課題は自動車に比べてサイズが大きく、常時の自然変動や25～30年稼働し続ける耐性も求められる。また、かねてよりトヨタが風力発電事業に参入するとの話（噂？）を聞くが、モノづくりのチャンピオンとして、自動車業界の将来のためにも関わりを期待したい。

デンソーはグリーン水素の生成、CO<sub>2</sub>の回収、それらを合わせた合成燃料・素材の生成に取り組み。大気からCO<sub>2</sub>を回収・分離する機器を活用するが、動力は太陽光発電を利用する。化石燃料のCCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）<sup>\*3</sup>とは異なり大気からの回収は純粋にCNと見做される。回収されたCO<sub>2</sub>は炭素と酸素に分離され、炭素はカーボンナノチューブ等の素材に転換する。また、工場で発生したCO<sub>2</sub>を水素と反応させて合成メタンをつくる（メタネーション）取り組みが官民協議会にて始まっているが、同社は日鉄、東京ガス等と並んで主要メンバーとなっている。2025年に実証を開始し2030年の事業化を目指す。

#### 【化学品脱炭素化の動き】

積水化学は、米国ベンチャーのランザテック社が開発した微生物を使いバイオマスからエタノール（を原料とするプラスチック）を作る事業を進める。ランザテック社は、COとH<sub>2</sub>を取り込みエタノールに代える性質をもつ微生物を発見し、これが各種バイオマスに利用されている。積水化学は、一般ごみを焼却する代わりに低酸素状態で熱を加えて（蒸し焼きで）ガス化し、CO<sub>2</sub>を出さずにCOとH<sub>2</sub>に改質する技術を有し、実証事業も行っている。全国に存在するごみ焼却設備に適用するとまとまった量のCNプラスチックが生成されることになる。エタノールから様々な合成樹脂を作ることができるが、積水化学は2025年の事業化を目指している。

旭化成はグリーン水素からアンモニアを作り化学品の原料とすることを目指す。同社は福島県浪江町の世界最大級の10MW水分解装置の実証運転を行っている。日揮と共同で水素を原料とするアンモニアの製造装置を建設し、2024年度にも生産される予定である。生産されたアンモニアはJERA火力発電の脱硝に利用しつつ化学品の原料化を目指している。

\*3 CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage): 回収・分離・貯留したCO<sub>2</sub>を有効利用する技術

## 5. 豊田合成のCNへの取り組みと担うべき役割

### 【豊田合成が実施すべき取り組み】

CN実現に向けて、豊田合成（以下、TG）は全社を上げて取り組んでいるところである。以下、筆者の考えを含めて整理する。まずは自社工場・事業所の脱炭素化（Scope1, Scope2）となるが、基本は省エネ、電力の再エネ化と電力化比率（電化）の向上、そして熱の脱炭素化ということになる。電化は一般に効率性向上を伴うので先行する。電化が難しい工程は熱の脱炭素を図ることになる。TGは、かねてより2050年CNにコミットし、2030年度CO<sub>2</sub>削減50%・再エネ比率50%実現を公表し、着実に成果を上げてきている。しかし目標に近づくとつれてハードルが級数的に高くなることが予想され、所謂プロセスイノベーションからプロダクトイノベーションへの移行なしには達成は難しくなる。従来の発想に捕らわれない革新的な工法や製品は競争力の源泉でもある。ピンチをチャンスに変える強い意志が求められる。

CNは、サプライチェーン全体においての実現も不可欠である（Scope3）。TGは、プラスチック・ゴム等の高分子材料を扱う大規模加工メーカーであり、基本的に化石資源由来の材料を使用している。これの脱炭素が求められるが実現は容易でなく、時間を要する。素材メーカーの技術開発に期待するとともに主要ユーザーとしての情報提供・開発協力が不可欠なろう。また、リサイクル等3R<sup>\*4</sup>の徹底も低炭素材料確保や易解体の面でも重要になる。3R技術は商品化としても期待できる。

CNでは、本論で見てきたように再エネ（特に風力、太陽光）、水素および関連インフラが主役になる。もちろん自動車業界も例外ではあり得ず、むしろ遅れている大きな分野として、CASE・MaaSとともに、激変の波に晒される。既存製品に留まるとパイが小さくなり、電動車関連や再エネ・水素関連のこれから伸びていく分野（グリーン成長分野）に積極的に進出しなければならない。軽量化技術による代替需要取り込み、付加価値を付けた電池パック、e-Rubberやパワー半導体による省エネ製品開発、プラスチックギアで風力に参入、水素タンク（貯蔵設備）の様々な用途への適用等である。

電力、熱、材、物質の脱炭素化は一義的にそれぞれの供給事業者が責任を持つが、待っていると時間を要する等むしろ高コストになる場合も想定

される。事情に精通し小回りの利く現場で対応する方が、少なくとも過渡的には、効率がいい場合もある。前述のようにセンサーはメタネーションや脱炭素素材開発に取り組むが、格好の事例である。化学品の脱炭素技術はハードルが高いが故にチャンスでもあり、この新分野の市場は大きい。

### 【TGが担うべき役割と期待】

以上のような（激動の）環境が予想される中、アンテナを高く張って、「再エネの普及やコスト低下」、「水素や水素副産物（合成物）の普及」、「グリーン水素の対ブルー水素コスト競争力」、「エネルギー・産業・運輸等の脱炭素のスケジュール」等の情報収集を行う。情報収集を担う専門の組織を設置するあるいは人材を育成することも重要である。そして、最適なCNの手順を常に検証し、迅速かつ柔軟な判断を行っていくことが肝要となる。

話は大きくなるが、グリーン水素に係る生産コストや輸送コストの見通し如何では、再エネ資源が豊富な地域に生産拠点が移転する可能性がある。豪州、東南アジア、インド辺りは候補地であろう。国内空洞化を防ぐためには領海内洋上風力の大規模開発を政策的に誘導する必要も出てこよう。リーディング産業として自動車業界もこれに関与すべきではなからうか（開発でも、買取でも）。

最後に、高分子メーカーであるTGは、電力・熱の脱炭素化と共に、ゴム・樹脂の脱炭素化を自ら積極的に推進しなければならない。国内外で先進的な技術があれば積極的に活用したり、CVCでパートナーシップを結んだりして、革新的な技術や製品開発をスピーディに進めることで、今後の事業成長につなげ、社会にも貢献することができる。TGは、グローバルに46の製造拠点を持つ、また高分子の材料開発から設計・生技・製造まで一貫して行う企業である。アンテナを高く張り柔軟に対応できる条件は整っている。

著 者



山家公雄

\*4 3R: Reduce (リデュース), Reuse (リユース), Recycle (リサイクル) の3つのRの総称