

# 随想

## エネルギーの大転換期に思うこと ～カーボンニュートラルで生き残る技術は～

野田俊治\*



地球温暖化を背景として、2050年カーボンニュートラルを目指した活動が世界的に活発化している。また、ロシアのウクライナ侵攻に起因する世界的なエネルギー価格の高騰は、化石エネルギー依存からの脱却を加速させるものと思われる。代替エネルギーとして、利用拡大が進んでいる。太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギーの中でも、太陽光、風力は、不安定故に、安定な火力、原子力への依存は避けられない状況である。昨年、欧州連合（EU）の欧州委員会は、天然ガスおよび原子力発電のグリーン認定を行った。二酸化炭素削減量は、最新の天然ガスコンバインド火力発電では、石炭火力の約1/2以下である。さらなる削減を図るため、燃焼で二酸化炭素を発生させない水素やアンモニアの混合燃焼ガスタービンの開発が進められている。また、製鉄所での二酸化炭素排出削減のため、鉄鉱石の還元剤としてコークスに替わり、水素を使う水素還元製鉄の開発や、発生した二酸化炭素を集めて地中に埋めるCCUS技術の開発も進められている。

今年3月、EUは、2035年以降の内燃機関（エンジン）車の販売を禁止するという方針を変更し、温暖化ガス排出をゼロとみなす合成燃料の利用に限り、2035年以降もエンジン車の新車販売を容認した。これにより、カーボンニュートラルに向けた自動車技術は、EV化一択から選択肢が増えることになる。合成燃料は、水素と二酸化炭素を反応させて、合成粗油（合成原油）を製造し、これを精製してできた、ガソリンやジェット燃料を言い、製造過程においてカーボンリサイクルが可能である。特に、再エネで製造した水素を使ったものをe-fuelと言う。この他にメタネーション反応によって製造したメタンガスも合成燃料である。液体の合成燃料は、現在のリチウムイオン電池や、水素ガスに比べてエネルギー密度が高いため、電動化が難しいとされている大型の航空機、商用車や船舶に、現在のエンジン機構を変更することなく使用が可能であり、従来のインフラも活用できることが最大のメリットである。このように、将来のエネルギーとして、水素が鍵になることは間違いなく、政府のグリーン成長戦略の中心でもある。

水素利用に関しては、地球温暖化問題が大きくクローズアップされる以前から、夢のエネルギーとして核融合が注目されてきた。核融合燃料（重水素+三重水素）1gから核融合によって得られるエネルギーは、水素1gが酸素と燃焼して得られるエネルギーの約200万倍で、石油に換算すると約8トン分のエネルギーに相当する。また、ウランの核分裂で発生するエネルギーの約4倍に相当するという。さらに、核融合発電では、核分裂と異なり、核のゴミと言われる高レベル放射性廃棄物は発生せず、連鎖反応を利用しないため、暴走の危険がなく安全性に優れており、その意味で

\*大同特殊鋼(株) 技監

も、夢のエネルギーである。これまで、実用化までいつも後30年と言いつけられた核融合、その実現を目指す動きが本格化してきた。既に、核融合反応に必要なとされる1億℃は達成されており、短時間の核融合反応は実現されている。国際プロジェクト「国際熱核融合実験炉（ITER）」だけでなく、既にスタートアップなどの企業による研究開発も活発化している。現在、仏国に建設中のITERでは、ドーナツ状に配置した超電導磁場によって水素プラズマを閉じ込め、核融合を起こさせるトカマク方式を採用している。実際に発電は行わないが、50万kWの熱出力を計画し、2025年の運転を目指している。入力エネルギーの10倍以上の出力が得られる状態を400秒程度維持するとともに、次の段階の核融合発電に必要な技術の実証を行うことを目標としている。その後、各国がこの成果を活かし、独自に発電が可能な核融合発電炉である原型炉での発電実証を経て、2050年以降に商業炉の実用化へと進む予定とされている。しかし、米国や英国は原型炉の発電実証を早める計画を打ち出した。日本政府も今年4月に、発電の早期実用化を目指し、正式に核融合戦略を決定している。

筆者が会社に入社して既に40年以上が経過した。入社した最初のころに、プラズマによる超電導材料溶解技術や、結晶制御鑄造技術開発に従事したあと、学生時代に携わった耐熱材料の開発に長年従事し、最後の10年は、電動化に必要な磁石の開発にも係わった。主な耐熱材料としては、Fe基・Ni基超合金、耐熱Ti合金、金属間化合物TiAl、分野は自動車、航空機、発電、民生品と多岐にわたるが、開発から実用化までには、例外があるが、自動車では約5～10年、航空機や発電プラントでは約10～20年以上の開発期間が必要であった。この間、必ずといって遭遇してきたのが、「技術の壁」と「コストの壁」である。これらを越えることで初めて実用化が叶った。そして、様々な国家プロジェクトにも参画し、長期開発では、開発を支える資金や、特に実用化できるパートナーの存在が極めて重要であることを痛感した。このため、現在の社会実装を前提とした国家プロジェクトの進め方には意義がある。

先に述べた水素の製造法には、天然ガスの改質、バイオマスの改質、水の電気分解、製油所や製鉄所からの副生成物など、いくつかのものが提案されている。また、二酸化炭素の貯蔵には、吸収、吸着、ケミカループ、膜ガス分離、ガスハイドレートなどの様々な技術を使用して、空気中から直接、または産業用ソース（発電所の煙道ガスなど）から回収することが提案されている。水素は金属材料を脆化させるため、水素利用においては、耐水素性の高い材料が必要となる。また各種反応によって、水素や二酸化炭素を精製する場合には、反応を促進する各種触媒も必要である。

核融合反応は、重水素と三重水素のプラズマを1億℃に加熱することで起こり、発生エネルギーは生成したヘリウム原子核と中性子の運動エネルギーである。この中性子が、超電導磁場コイルの内側で、閉じ込められた水素プラズマと接するドーナツ状のブランケットと呼ばれる内壁に衝突、減速し、運動エネルギーが熱エネルギーに変換され、この熱を取り出して発電するのが、核融合発電である。ブランケット材料は、内部冷却されるが、高エネルギーの中性子によって、加熱され、脆化やスエリング（体積膨張）などの照射損傷を受けるため、低放射化材料が必要とされる。一方、発生したヘリウムは、磁場の中に閉じ込められ、プラズマの追加熱に使われるとともに、過剰なヘリウムは、ダイバータと言われる装置で磁場中から取り出される。この装置が最も高温にさらされ、超高温の耐熱材料が必要になる場所である。また、プラズマを閉じ込める磁場を発生させる超電導コイルは、液体ヘリウム（-269℃）によって冷却が必要なため、より高温で使用可能な超電導材料が望まれる。

このように、現在、将来のエネルギーを支える、水素の生成、利用技術が多岐にわたり、各企業、各公的機関のコア技術をベースに開発競争が激化していく中で、先に述べた、2つの壁を越えられた技術のみが将来生き残り、成長していくものと思われる。そして必ず、そこには材料技術が重要な役割を果たすことになる。

カーボンニュートラルに向けて進む社会において、どのような技術が生き残り、夢のエネルギーと言われた核融合がどのように実用化されていくのか、見守っていききたい。

(April 18, 2023)