

# 化石燃料の大量消費と環境問題を解決するための エネルギーキャリア戦略 —水素社会の実現を目指して!—

大阪大学大学院工学研究科 機械工学専攻  
燃焼工学研究室 教授  
赤松 史光



私たちが利用しているエネルギーの約8割以上は、化石燃料を燃焼させることによって生み出されています<sup>(1)</sup>。しかし近年、化石燃料の大量消費により、地球温暖化などの地球規模の環境問題が起こっています。この問題を解決するために、太陽光、風力等の再生可能な自然エネルギーを用いて、化石燃料を代替する新しい燃料を生み出してエネルギーキャリアを構築するための研究開発が、大型国家プロジェクトとして推進されています<sup>(2)</sup>。

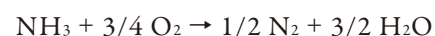
パリ協定の批准により、2030年度までに2013年度比で-26%の水準、2050年度までに-80%の水準を達成することが掲げられました。その後、2020年10月26日に、菅首相の所信表明演説にて、温室効果ガスの排出量を2050年までに実質ゼロにする目標が掲げられ、また、2021年4月22日に、菅首相が気候変動サミットにて、2030年度までの二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量の削減目標を、2013年度比で-46.0%に大きく割り増しすることが表明されました。

そのような中、化石燃料の代替燃料としてのエネルギーキャリアとして水素が注目を集めています。将来的には、地球上に大量に賦存する再生可能エネルギーである太陽光発電や風力発電によって安価に生み出された電気を用いて水を電気分解することにより、低コストで水素を大量生産することが可能であると考えられています。例えば、太陽光発電であれば、全世界のエネルギー需要は、アフリカのサハラ砂漠の1/3の面積に太陽光発電パネルを敷き詰めることで満たすことができます。また、風力発電の場合、全世界の潜在的風力量は電力量にして年間9兆6700億kWh(日本の年間使用電力量の8倍)のポテンシャルを持っています。もし世界中の風力を有効利用する技術を我が国が保有すれば、日本が世界屈指のエネルギー輸出国となることも夢ではありません。しかし、高圧送電線を用いた電気の輸送距離は数百km程度が限度であり、再生可能エネルギー起源の電気を全世界へ供給するためには、水素燃料をはじめとするエネルギーキャリアに関する技術とインフラを社会に実装する必要があります。

水素は燃焼しても二酸化炭素を排出しないために、化石燃料に混合して燃焼させれば、その分だけ二酸化炭素の排出量を削減することができ、地球温暖化防止に対して即効性があります。しかし、水素を大量に輸送・貯蔵するためには、-253℃の極低温にして液化するか、もしくは常温であれば700気圧の超高压ポンペに充填する必要があります。

水素のキャリア(分子内に多くの水素を含む物質)として、アンモニアが注目されています。アンモニアは約百年前に、空気中から分離された窒素と、炭化水素などから得られる水素によるアンモニア合成法(ハーバー・ボッシュ法)が開発されたことで大量工業生産が可能となり、全世界で1年間に約1億9千万トンが生産されており、その1割程度は既に海上輸送がされています。また、アンモニアは重量割合で17.8%の水素を含有しており、-33.4℃で液化し、常温でも8気圧程度の圧力で容易に液化することが可能であり、輸送・貯蔵に関する技術と社会インフラが既に確立されています。また、液体アンモニアの水素密度は121 kg-H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>であり、液体水素の水素密度70.8 kg-H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>よりも大きく、体積が重要となる輸送や貯蔵の際に利点があります。

アンモニアは、燃焼過程において二酸化炭素の排出を伴わないCO<sub>2</sub>フリーな燃料です。このことは、アンモニアの燃焼の際の化学反応式が、次式で表されることから理解できます。



しかし、アンモニアを燃料として使用する際には、燃焼性が低いことその他、燃料中の窒素由来の窒素酸化物であるFuel-NO<sub>x</sub>が多量に生成されることが懸念されていました。

大阪大学 燃焼工学研究室では、酸化剤として利用される空気中の酸素濃度を高める“酸素富化燃焼”によりアンモニアの低燃焼性を克服し、また、二段燃焼技術や燃焼装置内の排気ガスの再循環技術等によって、NO<sub>x</sub>排出濃度を環境基準以下とする燃焼を実現することに成功しています<sup>(3-8)</sup>。

シェールガスやシェールオイルをはじめとする非在来型の化石燃料の生産技術が確立され、数十年のオーダーでは、現在のように化石燃料が安価で安定的に供給されることが予測されています。しかし、我々人類がこの先数十億年の長きにわたって繁栄していくことを考えると、現時点での目先の利便性や利益を求めるだけではなく、エネルギーキャリア戦略に関連する技術開発への先行投資が求められています。

日本経済新聞のインタビュー記事で、サウジアラビア元石油相アハメド・ザキ・ヤマニ氏は、石油に代わって主役になるのは何ですか、という問いに対して、最も影響のあるのは水素エネルギーだと答えました。また、水素エネルギーへの転換はいつになりますか、という問いには、それは分からない。だが近い将来、転換は必ず来る。(中略)原油はまだまだ地下に眠っているし、コストをかけて新技術を使えば採掘できる。だが、時代は技術で変わる。石器時代は石がなくなったから終わったのではない。石器に代わる新しい技術が生まれたから終わった。石油も同じだ、と語りました。自国に化石資源がほとんどない日本が、水素社会が到来した後も工業国として生き残っているためには、水素やアンモニアといったエネルギーキャリアのバリューチェーンの構築を世界に先んじて成し遂げ、これらの非化石燃料の燃焼技術でも世界をリードすることが求められます。

2025年には大阪で関西万博が開催されます。1970年の大阪万博では“原子力の灯”が脚光を集めました。今回の関西万博では、世界に水素エネルギーの重要性をアピールして、カーボンフリーの水素・アンモニアの炎で輝く第2の“太陽の塔”が創造されることを期待しています。

現在、日工(株)様とは、アンモニアの直接燃焼利用に関する共同研究を実施させていただいております。今後の研究開発がますます進展され、カーボンフリーの燃焼技術が社会実装されますことを祈念して巻頭言とさせていただきます。

- 1) 令和2年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2021)、資源エネルギー庁、<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/>
- 2) 村木 茂, 水素社会に向けた取り組み, 科学技術振興機構, [https://scienceportal.jst.go.jp/columns/opinion/20150522\\_02.html](https://scienceportal.jst.go.jp/columns/opinion/20150522_02.html)
- 3) 大阪大学, 科学技術振興機構; “世界初!アンモニアと混焼する微粉炭の詳細燃焼挙動を明らかに～再生可能エネルギーの利用拡大につながる新たな知見～”, 科学技術振興機構, <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20161031/index.html>
- 4) 大陽日酸(株), 大阪大学, 科学技術振興機構; “工業炉分野で化石燃料の代替燃料, アンモニアの社会実装に一步近づくとNO<sub>x</sub>の発生量を抑制する「アンモニア燃焼技術」を開発”, 科学技術振興機構, <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20161031-2/index.html>
- 5) 大陽日酸(株), 日新製鋼(株), 大阪大学, 科学技術振興機構; “工業炉におけるCO<sub>2</sub>排出量削減に向けた, アンモニア燃焼利用技術を開発～連続亜鉛めっき鋼板製造工程における実証評価に目途～”, <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20170626/index.html>
- 6) Hiroyuki Takeishi, Jun Hayashi, Masashi Suzuki, Kimio Iino, Fumiteru Akamatsu, Measurement of Ammonia/N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> Laminar Burning Velocity Under Oxygen-enriched Air Condition, Proc. Grand Renewable Energy 2014, (2014.7.27).
- 7) Hiroyuki Takeishi, Jun Hayashi, Kimio Iino and Fumiteru Akamatsu, Combustion Characteristics of Ammonia/N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> Mixture in Oxygen-enriched Air Condition, INFUB2015, (2015.04.08).
- 8) Ryuichi Murai, Ryohei Omori, Ryuki Kano, Yuji Tada, Hidetaka Higashino, Noriaki Nakatsuka, Jun Hayashi, Fumiteru Akamatsu, Kimio Iino, Yasuyuki Yamamoto, The radiative characteristics of NH<sub>3</sub>/N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> non-premixed flame on a 10kW test furnace, Energy Procedia, Vol. 120, pp. 325-332 (2017).