

アンモニアを燃料として使う？

市村正也

はじめに

水素ガスに加え、アンモニアも火力発電の燃料として使われようとしている。たとえば、JERA(東京電力と中部電力の火力発電を担う合弁会社)は、2020年に発表された「ゼロエミッションロードマップ」の中で、直ちに石炭火力発電所においてアンモニアの混焼実証を進め、2030年までに本格運用を始めるとしている¹⁾。また、2021年11月に開かれた国連の第26回気候変動枠組条約締約国会議(COP26)で、岸田首相は水素とアンモニアを燃料として用い火力発電のゼロエミッション化を進めると演説した。

しかし、その有効性は化学熱力学の観点からは全く理解し難い。

1 なぜアンモニアか

アンモニア NH_3 (沸点 -33.4°C) は空気中でよく燃える。燃焼生成物は、理想的には水 H_2O と窒素 N_2 である。したがって、確かにアンモニアも水素 H_2 と同じように、二酸化炭素 CO_2 を放出しない燃料となりうる。



アンモニアが水素と並んで燃料の候補に上げられるのは、水素より優れた点があるからだが、それを説明するために、まず水素の欠点を2つ述べる²⁾。

一つ目は発火・爆発の危険性である。水素は空气中で4～75%の濃度範囲(燃焼範囲)で燃える。これに対し、たとえば都市ガス(メタン CH_4)の

それは5～15%と狭く、この濃度範囲でないと火がつかない。燃焼範囲にある水素の燃焼は爆発的である。福島第2原発事故では、水素爆発によって分厚いコンクリートの原子炉建屋が吹き飛んだ。

水素の2つ目の欠点は輸送・貯蔵の問題である。常温常圧で気体の物質であっても圧縮や冷却で液化できれば、体積が大きく減少するので、大量に輸送・貯蔵することができる。実際に天然ガスやプロパンは液化して輸送・貯蔵されている。しかし水素の沸点は非常に低く -256°C であり、液化と液体の貯蔵には大掛かりな冷却装置が必要になるので、体積の大きい高压の気体のまま貯蔵せざるを得ず、厳重な安全管理も必要とされる。

一方、アンモニアの燃焼範囲は16～27%で、水素より狭い。また、室温で10気圧以上に加圧すれば液化できる。したがって、アンモニアは水素に比べ、より安全であり輸送・貯蔵しやすいという利点を持つ。

2 アンモニアの製造法

アンモニアは肥料など、窒素化合物の原料として、1906年にハーバーとボッシュによって確立された合成法によって工業的に製造されている。高温(400～600 $^\circ\text{C}$)、高压(200～400気圧)の条件で、適当な触媒を用いると、平衡反応で水素と窒素からアンモニアが生成する。



この反応に必要な窒素は空気から得られるが、水素は天然資源としては存在しないので、化石燃料のメタンや石炭から製造されている。

3 エネルギー収支と二酸化炭素排出

アンモニアを燃料として用いる場合のエネルギー収支を、まず水素の場合と比較して考えてみよう。アンモニアの燃焼反応 (1) から得られる燃焼熱の大きさは、アンモニア 1 モルあたり 382 kJ/mol である。一方、水素は 286 kJ/mol であるので、アンモニアは水素より大きな燃焼エネルギーを得られる。しかし、反応式 (2) からわかるように、アンモニア 2 モルを製造するために水素 3 モルが必要であるので、結局水素を燃料にした時よりも、得られる熱は約 1 割減少する。

水素は化石燃料から製造されており、そのエネルギー効率は約 70% である²⁾。つまり、水素の製造工程において、化石燃料のエネルギーの 30% が失われている。したがって、原料の化石燃料を直接燃やした時に得られるエネルギーを 100 とすると、それより製造される水素のエネルギーは約 70 であり、さらにその水素から製造されるアンモニアのエネルギーは 1 割減の約 63 となる。

それに加え、ハーバーボッシュ法によるアンモニアの合成には高温高压が必要であり、その条件を作り出すために大きなエネルギーを使う。そのエネルギーを差し引いて考えれば、化石燃料をそのまま用いる場合に比べ、利用できるエネルギーは半分程度になってしまうだろう。言い換えると、アンモニアを燃やして化石燃料と同じだけの燃焼熱を得るためには、結局 2 倍の化石燃料が必要になる。

水素を化石燃料から作る過程で、化石燃料に含まれている炭素はすべて二酸化炭素として放出されるので、化石燃料からアンモニアを製造し燃料として使うと、化石燃料をそのまま使う場合に比べ、二酸化炭素放出量も 2 倍になってしまう。

4 それでもアンモニアに固執する理由

アンモニアも水素も化石燃料を原料とする限り、地球温暖化対策に反する結果を与えてしまう

ことが明らかなのに、なぜ政府をあげてこれらを火力発電の燃料にしようとするのであろうか。もし、どこかの国の安い化石燃料で造られたアンモニアや水素を輸入して使うなら、自分は二酸化炭素を放出したことにならないと考えているとすれば、最低の企みと言ってよいだろう。あるいは、アンモニアや水素の製造過程で発生する二酸化炭素を何処かの地中深く埋めてしまえると考えているとするならば、その未確立でコストの評価もできていない技術 CCS に安易な期待を寄せるもので、極めて無責任と言えよう。加えて、実際のアンモニアの燃焼時には、窒素酸化物 NO_x も生成する。 NO_x のうち、 NO_2 は有毒であり、 N_2O は強力な温室効果ガスである。

アンモニア製造に必要な水素を得るために、化石燃料でなく太陽光や風力などの再生可能エネルギーを利用することも可能である。この場合には確かに、製造過程で二酸化炭素は発生しない。しかし、再生可能エネルギー由来の電力で、アンモニア燃料を製造し、それを使って火力発電することに何のご利益があるのかは、小学生でも抱く疑問である。

アンモニア燃料の効用は、エネルギーの貯蔵・輸送の手段になりうるということだけである。確かに出力変動の激しい再生可能エネルギーを一時的に蓄えておく手段は重要である。しかし、その場合においても、火力発電は純然たる熱機関なので、熱力学の原理 (エントロピー増大則) によって熱機関の効率には上限があり、燃焼熱の精々 6 割程度しか電力として還ってこないことは知っておくべきである。

注および引用文献

- 1) JERA: ゼロエミッション 2050 日本版ロードマップ, https://www.jera.co.jp/information/20201013_539.
- 2) 水素エネルギー協会: 『トコトンやさしい水素の本』(日刊工業新聞, 2017)

(いちむら・まさや: 名古屋工業大学, 電子工学)