

水素エネルギーはクリーンエネルギーか？

水素そのものは自然界に単体で存在するものではなく、炭化水素やアルコールの分解、水の電気分解などによって生成する「二次エネルギー」だ。従って、水素を何からどの程度の効率で作るのかによって水素自体のクリーンさが決まってくる。例えば、太陽光や風力発電の電気を使って海水を電気分解した場合、製造段階でほとんど二酸化炭素を発生しないが、火力発電の電気を使った場合、発電の段階で50～60%のロスがあり、さらにその燃料種に応じた二酸化炭素が排出されることになる。

一方、水素を使用する段階では当然のことながら二酸化炭素だけでなくSOxもNOxも発生しないし、さらに燃料電池は従来の熱機関に比べて非常に高効率なので消費されるエネルギー量も小さくてすむ。

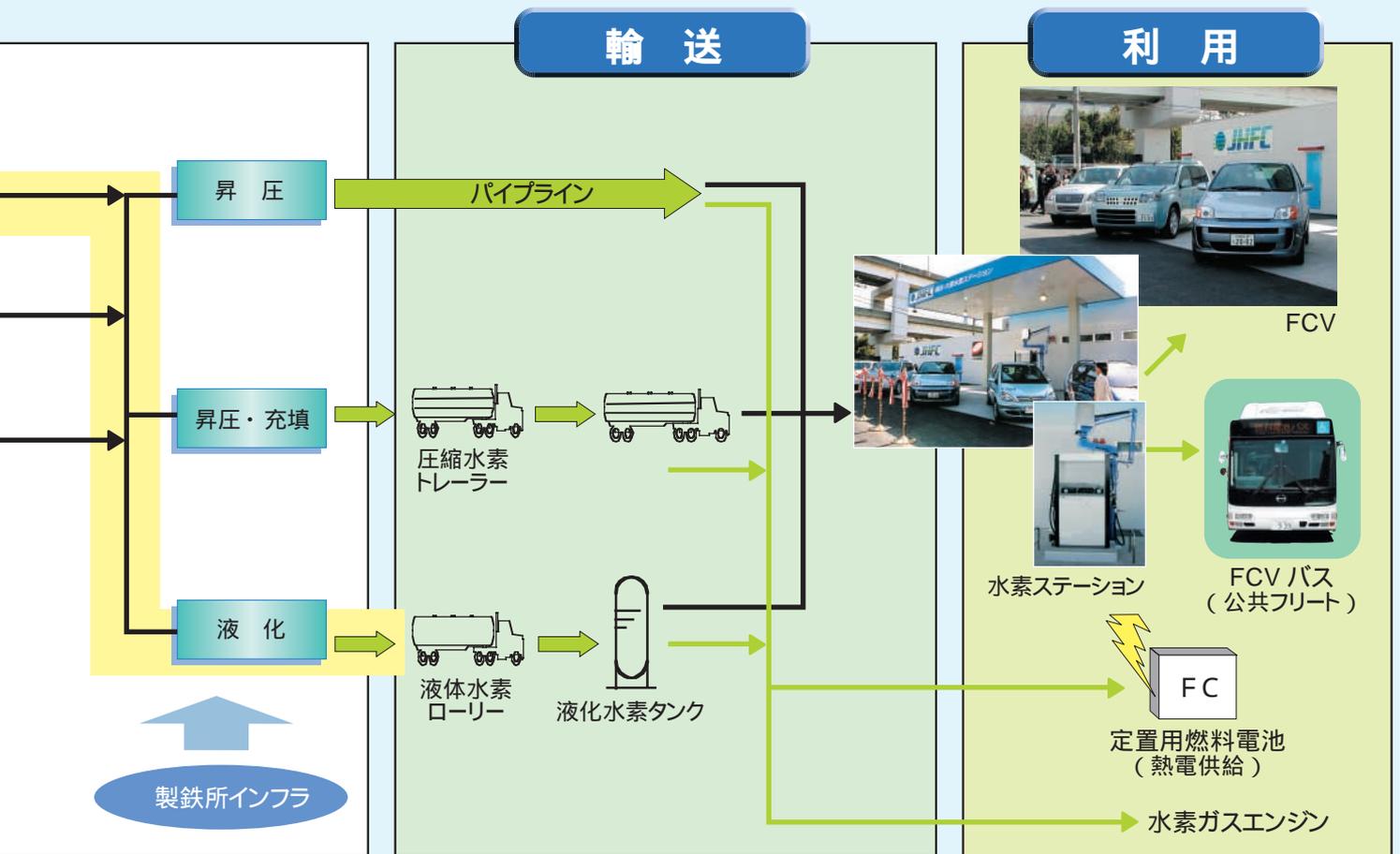
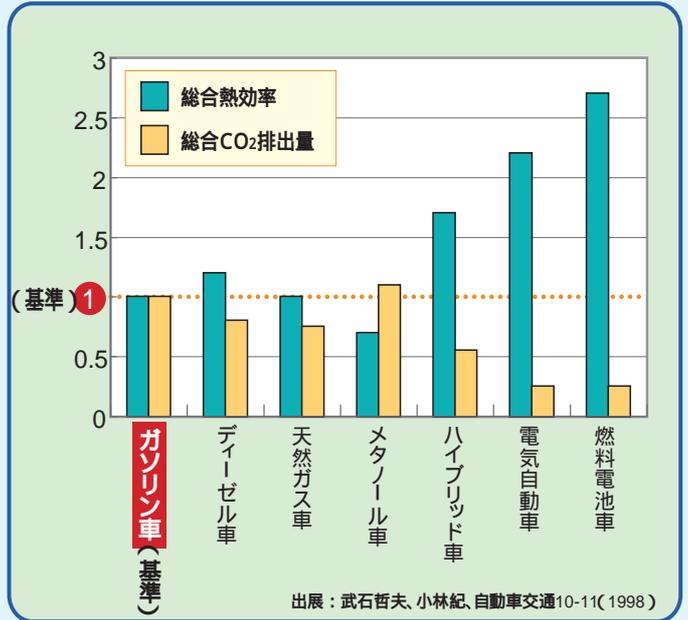
図1は、従来のガソリン車の総合効率を1とした場合の各種エネルギー利用設備の比較である。ガソリンに比べて水素は、製造に多くのエネルギーを要するが、ガソリンエンジンの効率（約15%）に比べて燃料電池の効率（約47%）が高いため、総合効率は燃料電池車の方が高い。（炭酸ガス排出量は、全電源平均の排出量を使用して試算）

製鉄プロセスの水素供給ポテンシャル

製鉄プロセスではコークス炉ガス（COG）、高炉ガス（BFG）、転炉ガス（LDG）が発生する。特に石炭の乾留ガ

スであるCOGには55%を超える水素が含まれており、その総量は約80億Nm³にのぼる。また、COGにはメタン（CH₄）も約30%含まれており、これを廃熱を使って水素に改質する研究が始まっている。これらの製鉄副生ガスを用いた水素の供給ポテンシャルは、来るべき水素社会の実現に向けた供給源として大きく期待されている。

図1 各種自動車の総合効率と総合CO₂排出量比較



「水素社会」の実現に向け、 新日鉄のポテンシャルに期待します。

ゲスト 東京工業大学教授

岡崎 健氏



長期的かつグローバルに
スケールの大きいシナリオ
を描くことが大切です。

まず、地球温暖化防止というテーマについての考えをお聞かせいただけますでしょうか？

私は内閣府総合科学技術会議温暖化対策技術プロジェクトチームの一員として、温室効果ガス削減対策技術に関する研究開発戦略の調査検討をしてきました。その中で特に感じたことは、地球環境保全や脱・化石燃料資源（石油、石炭等）を検討する場合、ローカルクリーン（地域レベルの環境保全）とグローバルクリーン（地球規模の環境保全）の違いをきちんと認識した上で取り組まなければならないということです。例えば、窒素酸化物（NO_x）や硫黄酸化物（SO_x）は局所的な汚染の問題ですが、炭酸ガス（CO₂）の増加は局所的には何の影響もないけれども地球全体の温室効果が高まるというグローバルな問題です。さらにグローバルクリーンの観点から、地球温暖化防止のためにCO₂の抑制を考える場合、「量的寄与」が最も重要と考えられます。例えば、画期的な技術開発によって、あるプロセスのエネルギー利用効率が倍になり、排出される炭酸ガスの量が半分になったとしても、そのプロセスが世界中に一定規模普及されるものでなければ地球環境問題には貢献できません。

プロフィール おかざき けん

1973年、東京工業大学工学部機械物理工学科卒業、1978年、同大学院理工学研究科博士課程修了、工学博士。豊橋技術科学大学助教授を経て、1992年より東京工業大学教授（現在、大学院理工学研究科機械制御システム専攻）。この間、東京大学、東北大学など多数の大学の非常勤講師、九州大学客員教授などを歴任。内閣府総合科学技術会議温暖化対策プロジェクト専門委員、NEDO水素エネルギー技術審議会委員、経済産業省産業構造審議会臨時委員など学外委員も多く務める。日本伝熱学会学術賞、日本機械学会賞（論文賞）など受賞多数。

したがってエネルギー利用効率の向上という技術革新の度合いと、その技術の普及の度合いを掛け合わせた面積、すなわち「量的寄与」を、ある程度のタイムスケジュールのなかでどのようにちりばめていくかが重要だと思えます。

エネルギーシステムを高度化するために、エネルギーの質が問われています。

先生が指摘されている「水素をキャリアとしたエネルギーシステムの高度化」とはどういうことでしょうか。

エネルギーを有効に利用するためには、エネルギーの質に着目することが重要です。そのとき水素は低質エネルギーを高質化再利用可能な形態にもっていくためのキャリア（媒体）として使用できるのです。エネルギーの質とは、物質の持つエネルギーのうち、「有効仕事」に利用できるエネルギーの割合（エクセルギー

率）のことで、熱力学の世界ではエクセルギー（E）をエンタルピー（H）で割った値で表されます。ジェームス・ワットやカルノーの時代にはなかった概念です。私たちが例えば化石燃料を使う場合、まず燃料を燃焼して熱エネルギーに転換しますが、燃焼というプロセスを経ることで、持っているエネルギーの質の高さがガクンと下がってしまうのです。炭化水素系の燃料は持っている「発熱量（H）」に対し、理論上90～95%の「有効仕事（E）」の発生が可能です。しかし、それを燃焼して2,000 で利用した場合で70%、1,000 で56%、100 なら11%にまで下がってしまいます。実際の熱機関にはさらにいろいろな効率を低下させる要因がありますので、現実の熱効率はさらに低いものになります。一方水素のエクセルギー率は83%ぐらいですので、プロセス廃熱などの低い温度の熱エネルギーを使って水素を作ることができれば、エネルギーの質を大きく引き上げることができます。この水素を燃料電池で直接電気に変換すれば、相当効率

のよい使い方ができますし、また仮に断熱燃焼した場合の火災の温度は2,000 を優に超えますので、これも効率の高い利用が可能となります。

そうすると仕事のできない廃熱エネルギーを仕事のできる水素エネルギーに変えてしまうことも可能なのでしょうか。

その通りです。水素は炭化水素やアルコールの改質、水の電気分解などにより作られる二次エネルギーです。したがって、いかに効率よくエネルギーを水素に変えることができるか、いかに質の低いエネルギーを使って転換できるかが重要ですから、廃熱が利用できれば理想的ですね。例えば、メタンを水素に改質するには800 以上の熱源でないと反応しませんが、メタノールは理論上は100 以下の温度レベルで反応、改質ができます。メタノールを水素に変えるとエネルギーの量が増えますが、その増えた分は100 の熱源から来たものです。製鉄所の場合、これまでに相当な省エネルギーの努力をされ、熱として利用できる廃熱はそのほとんどが回収されていると

総合科学技術会議

(<http://www8.cao.go.jp/cstp/>)

内閣総理大臣および内閣を補佐する「知恵の場」として、我が国全体の科学技術を俯瞰（ふかん）し、各省より一段高い立場から、総合的・基本的な科学技術政策の企画立案および総合調整を行うことを目的とし、平成13年1月、「重要政策に関する会議」のひとつとして内閣府に設置された。

温暖化対策技術プロジェクトチーム

(http://www8.cao.go.jp/cstp/output/iken030421_3.pdf)

総合科学技術会議の重点分野推進戦略専門調査会のプロジェクトチームとして平成14年8月に発足。報告書「地球温暖化対策技術研究開発の推進について」は平成15年4月に総合科学技術会議（議長：小泉首相）に報告され、今後の日本の研究開発方針となった。

ワット (James Watt 1736～1819)

近代蒸気機関の開発で知られるイギリスの機械技術者。仕事率の単位(W=J/s)にその名を残す。

カルノー (Sadi Carnot 1796～1832)

熱力学第二の法則で知られるフランスの物理学者。カルノーサイクル(2つの等温変化と2つの断熱変化で構成される理論的熱サイクル)で有名。

断熱燃焼

系外への熱損失を伴わない燃焼。この場合の火災温度(断熱火災温度)は、燃料の持つ化学反応熱、空燃比(空気と燃料の混合比)から理論的に算出できる。

炭化水素

炭素と水素が結びついた可燃性の物質で、イソブタンやプロパンなどがある。ボンベ式のガスコンロ燃料にも使われている。大気中に放出された場合、数週間から数カ月で消滅する。オゾン層を破壊せず、温室効果も微少で無視できる程度。入手も容易で、代替フロンよりも安価などの利点がある。

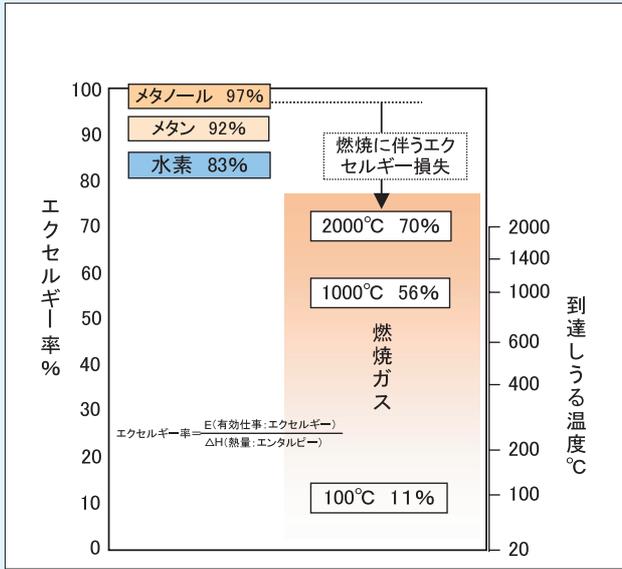
メタン=CH₄

もっとも単純な炭化水素。1個の炭素原子と4個の水素原子から構成される。常温では空気よりも軽い無色無臭の気体で、可燃性。天然ガス中に存在するほか、石油の熱分解でも生成する。

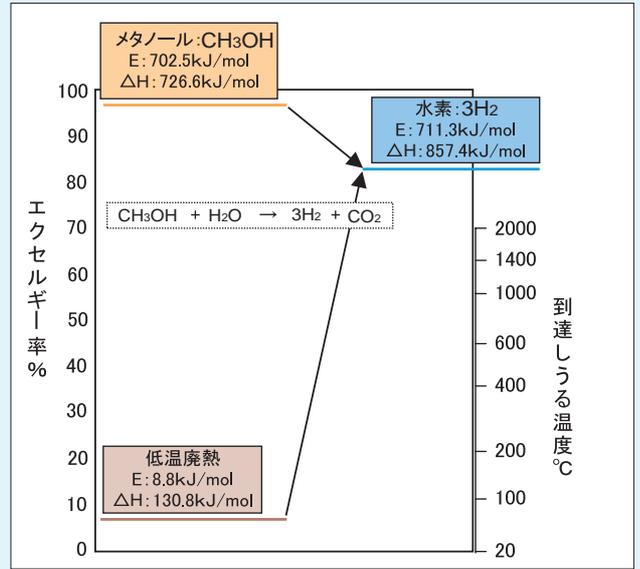
メタノール(メチルアルコール)=CH₃OH

アルコールの中でもっとも単純なもの。水素と一酸化炭素から合成される。かつて木材の乾留によって製造され、木精(もくせい)と呼ばれた。

各種エネルギーのエクセルギー率



水素をキャリアとしたエネルギーの高質化



と思いますが、一方で質の低い廃熱はまだ大量にあるのではないかと思います。このような低質廃熱は、熱エネルギーとしては、先ほど申し上げたエクセルギー率の観点からも利用することは難しいと思います。しかしこの低質エネルギーを利用して水素を作ることができれば、その水素を製鉄所の内外でとても高度に利用することができます。まさに「水素をキャリアとしたエネルギーシステムの高度化」の形態のひとつといえます。将来、そのようなプロセスが確立すれば、量的な問題も解決され、真の水素エネルギー社会が実現するものと考えています。

今後の水素エネルギーの導入と利用についてのビジョンを教えてください。

燃料電池実用化戦略研究会の報告によると、2010年には「燃料電池自動車」が約5万台と「定地用燃料電池（自家発電）」が約210万キロワッ

ト、2020年にはそれぞれ500万台と1,000万キロワットになるという導入目標の期待値が示されています。このシナリオに基づき、「水素燃料電池実証プロジェクト」(= JHFC: Japan Hydrogen & Fuel Cell Development Project)で、平成2002年度から首都圏に8カ所の水素供給ステーションが建設され、この中には私が座長を務めた改質型では、メタノール、都市ガス、LPG、ガソリン、ナフサ、さらには水電解、それから新日鉄が実行主体となっているコークス炉ガス(COG)からの分離など、将来の水素供給源候補として期待されているプロセスが網羅されています。このように、将来の水素社会実現に向けたインフラの整備は着々と進められつつあります。

しかし太陽光や風力など再生可能エネルギーによる水の電気分解に移行するまでの当面の間、水素供給源は化石燃料に頼らざるを得ず、水素

製造に伴って炭酸ガスも排出されます。地球温暖化問題を考えた場合、水素製造に伴う炭酸ガスを同時に回収して、海洋や地中への貯留もセツトで考える必要があると思います。

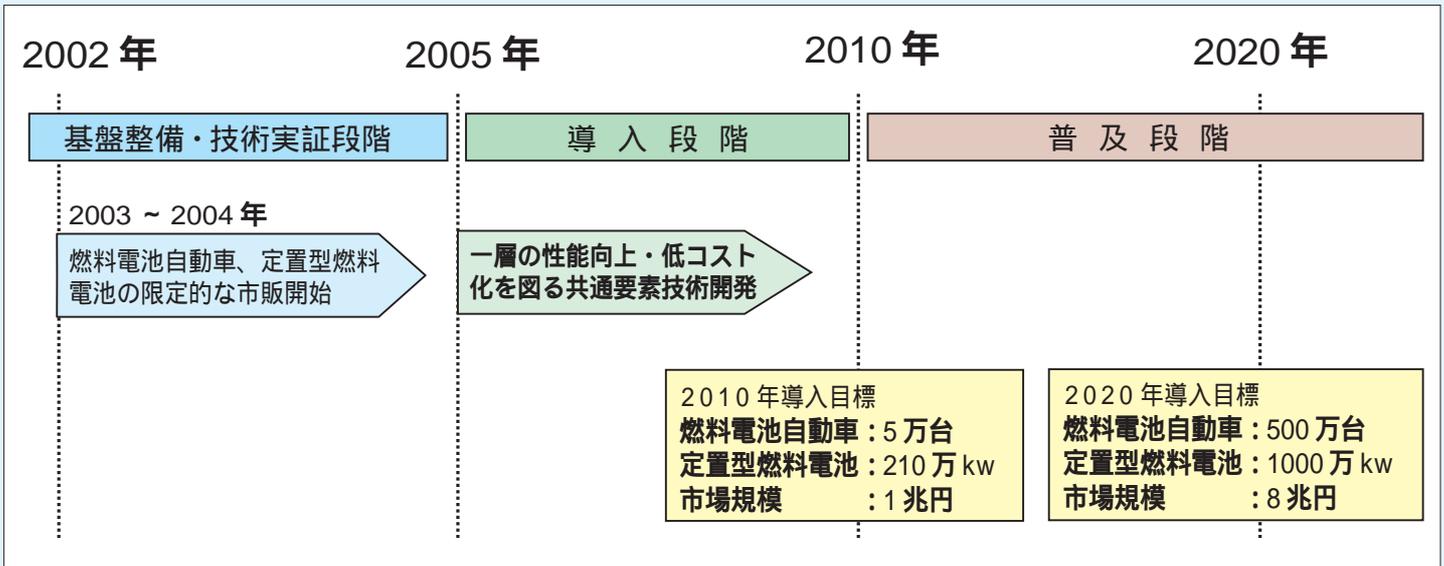


水素・燃料電池実証プロジェクト

(= JHFC: Japan Hydrogen & Fuel Cell Development Project)
(<http://www.jhfc.jp/>)

世界初の異なる燃料・製造方式による種々の水素供給ステーションと大規模な燃料電池自動車の公道での実証走行を組み合わせて、総合効率などを評価することを目的として2002年度から開始したプロジェクト。

国の燃料電池・水素エネルギー導入シナリオ



他の産業では
できないことも、
製鉄所の中だけで
できてしまいます。

今後、新日鉄には何を期待されますか？

鉄鋼業のエネルギー有効利用に関するポテンシャルは非常に大きいと思います。省エネルギーについて言えば、もうすでにやれることはやり尽くしたと言って良いでしょう。新日鉄のこれまでの省エネルギーの取り組みのお話を聞くと、正直「ここまでやっていたのか」と驚かされます。また、製鉄所はエネルギー問題解決の要素を全て含んでいる産業だということも強く感じました。エネルギーの視点からすると、製鉄所では、副生ガスの有効活用、鉄鋼インフラを使った自家発電、廃熱回収による発電や蒸気の製造、鉄も溶かす超高温から超電導も可能な超低温まで、あらゆるイベントを見ることができます。単にエネルギーのポテンシャルだけでなく、その活用範囲が

らレポートリーにいたるまで、他の産業では単体でできない事も、鉄鋼業では本気になれば製鉄所の中だけでできてしまうのではないのでしょうか。また、COGの顕熱（コークス炉ガスが発生した時に持っている熱エネルギー）を利用して、COGの水素濃度をさらに高めて、燃料電池用の水素を増産する研究の話をお聞きしましたが、まさに水素をキャリアとしたエネルギーの高度利用のインフラそのものといっていると思います。

これから私たちや私たちの子供たちが体験することになる「水素社会」の実現にも、新日鉄の持ついろいろなポテンシャルが活用される可能性は非常に高いと思いますし、期待しています。

神様からの贈りものである化石燃料を節約し、地球環境を守っていくために、国民それぞれがどれだけ貢献できるかが重要だと思います。その中で新日鉄の皆さんには、ぜひ新しいコンセプトに挑戦し、日本さらには世界のリーダーシップを取ってほしいと思います。

新しい切り口で柔軟に発想しながら、地球環境問題に取り組んでいきたいと思ひます。

代表取締役副社長 平尾 隆



岡崎先生とは温暖化対策技術プロジェクトチームで一緒でしたが、エネルギーの質のお話や、水素を単なるエネルギー源としてでなく、質の低いエネルギーを高いものへ持ち上げるためのキャリア（媒体）機能で見るといふ話は、これまでエネルギーの量的発想しか頭になかった私たちには驚きでした。また時間軸の考え方にしても、長いトレンドで打つべき手を打つことの大切さを知り、刺激になりました。

先生に指摘をいただいたとおり、鉄鋼業には活動の場がたくさんあるのは喜ばしいことです。その場をあるものにするためには、切り拓く情熱が必要であり、また遂行する責任も重いと感ひしています。現在の状況と取るべき道を正しく見極め、新しい切り口で柔軟に発想しながら、地球環境問題に取り組んでいきたいと思ひます。