

# 太陽エネルギー利用の真のメリットと 今後への期待

The true benefits of using solar energy and expectations for the future

前田章雄\*

## 1. はじめに

都市ガス業界では、カーボンニュートラル策のひとつとして、メタネーション技術による合成メタン「e-methane（イーメタン）」の導入にむけて取り組んでいる。

既存の天然ガスの主成分であるメタンと同じものを人工的に合成しようという試みだが、地下から掘り出す天然ガスとは大きく異なることがある。それは、水や二酸化炭素といった原料にエネルギーを加えて人工的に製造することである。そして、その加えるエネルギーには太陽エネルギーがもちいられる。言い換えれば、太陽エネルギーの形を変えたエネルギー源がイーメタンである。

ここでは、メタネーションの個別の技術ではなく、エネルギー全体からみたイーメタンや水素といった新たなエネルギー源の位置づけや欠点を取りあげてみたい。もちろん、「欠点があるからやめてしまえ」ではなく、「欠点を『乗り越えるべき課題』ととらえて克服する」ために議論するとともに、太陽エネルギーの利点を再認識することで、さらなる発展に期待したい。

## 2. メタネーションのご紹介

都市ガス導管で供給されることが多い天然ガスは、メタンが主成分である。メタン  $\text{CH}_4$  は燃やされると、空気中の酸素  $\text{O}_2$  と反応して二酸化炭素  $\text{CO}_2$  と水  $\text{H}_2\text{O}$  となる。

万一、空気中の酸素が不足すると、二酸化炭素になり切れず一酸化炭素  $\text{CO}$  が発生してしまうため、室内でストーブやファンヒータを利用される場合は定期的な換気をお願いしたい。

### 2.1 水素リッチな天然ガス

メタン  $\text{CH}_4$  は炭素原子1個に対して水素原子が4

個もある水素リッチなエネルギー源である。そのため、すでに商品化されている家庭用の燃料電池のエネルギー源としても、天然ガスがつかわれている。ただし、天然ガスから水素成分を取り出した後の炭素成分は大気へ放出しているため、燃料電池は省エネルギー設備ではあるが、脱炭素設備ではない。

つぎに、天然ガスのほかの成分でもあるエタン  $\text{C}_2\text{H}_6$  になると、Cが2個つながってC:Hが1:3となる。Cがさらに横につながったプロパン  $\text{C}_3\text{H}_8$ 、あるいはブタン  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  になると1:2.5になる。灯油はCが10個以上連なる分子の集合体のため、水素Hの割合はさらに小さくなる。

すなわち、石油系燃料である灯油から天然ガスに変えるだけで、低炭素になるわけだ。さらに、燃焼性がよい気体燃料であるため、大きな省エネも期待できる。しかし、天然ガスがいくら低炭素や省エネ性に優れているとはいえ、燃やせばいくぶんかの二酸化炭素を排出する。

そこで考え出されたのが、メタネーションである。細かな技術は省くが、水と二酸化炭素にエネルギーを与えて、なにやらごちゃごちゃすると人工的にメタンが作られる。本来は、地球内部の熱と圧力が生物系炭化水素物質に長期間与えられることで変成するのだが、それだけの時間を許容できないため、人為的にエネルギーを強制投入することになる。

ちなみに、製造時に与えるエネルギー源としてメタンを利用すれば、永久機関など存在しないのだから、どんどんエネルギーが減っていってしまう。そのため、与えるエネルギー源は太陽エネルギーなどの再生可能エネルギー（以下、再エネ）といった自然由来でなければならない。

\*大阪ガスネットワーク株式会社 エネルギー・文化研究所  
主席研究員

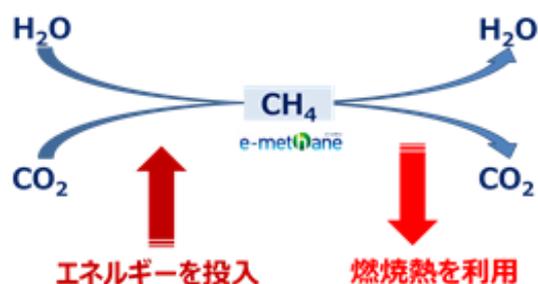


図1 メタネーションのイメージ (筆者作成)

## 2.2 メタネーションに対する疑問

ここで、ひとつの疑問が生じる。わざわざ再エネの電気をつかって大気中の二酸化炭素をメタンに変換せずとも、再エネで発電された電気をそのまま利用すればよいのではないか？

答えは、Yesである。しかし、太陽エネルギーには自然変動性があり、需要にあわせて供給量を調整できない欠点がある。しかも、電気は貯めることができないため、電気エネルギーで化学変化を起こさせておき、つかう際に逆の反応で電気として取り出す蓄電池が必須となる。だが、従来型蓄電池の大量普及には、鉱物資源の供給やコストといった課題があるとも言われている。

そこで考えられたのが、水素である。水に電気エネルギーを与えて水素と酸素に化学変化させておく。利用する際には、反対の化学反応をさせれば燃料電池として電気を取り出せる。また、水素はそのまま燃やして熱として利用することもできる。合成メタンも同じ考え方で製造される。つまり、水素や合成メタンは、太陽エネルギーの蓄電システムとして考え出されたものである。

ただし、いくら人工的につくったメタンとはいえ、燃やせば二酸化炭素は排出される。そのため、排出された大気中の二酸化炭素を集めて原料とし、もう一度メタンとしてリサイクルしなければならない。

ここで、次の疑問が生じる。わざわざ二酸化炭素を集めて再利用せずとも、水の電気分解で得られる水素を直接つかえばよいのではないか？

すなわち、図1「メタネーションのイメージ」の上半分だけの反応である。そうすれば、大気中の二酸化炭素を集める必要もなくなる。

答えは、一部 Yes であり、一部 No だ。エネルギー源とは、どのようなものでも万能ではない。水素にむいた利用用途もあれば、水素にむかない利用用途もあるのが現実だ。

結論を先に言えば、「不特定多数」の人々がすでに利用している「既存設備」への供給に対しては、

メタネーション技術を活用すべき分野が存在している。

## 3. 水素のメリットとその性質 (合成メタンとのつかい分け)

水素は、燃やしても水しか排出しないクリーンなエネルギー源である。しかし、水素が万能であるかのイメージでとらえることには、注意を要する。どのようなものにもメリットとデメリットは存在する。

水素がもつ性質を挙げると、おもに4つある。

- ① 軽い
- ② 薄い
- ③ 燃えやすい
- ④ 見えにくい

それぞれの性質について、詳しくみてみたい。

### 3.1 水素の性質① 軽い

水素は、世の中でもっとも小さい原子である。すなわち、世の中でもっとも軽い。軽いということは、万一漏洩しても拡散しやすいため、空気より重い気体よりは滞留する危険が少ないと言える。

一方で水素分子が小さいために、高压条件下で金属原子の隙間に入り込む金属ぜい性が起こり、金属材料の劣化を早めてしまうことが懸念される。

つまり、水素を貯蔵するタンクなどの素材で問題が生じる可能性がある。この課題は、材料開発などのイノベーションによって解決しなければならない。

### 3.2 水素の性質② 薄い

「薄い」という表現が適切かはともかく、単位体積当たりの発熱量が小さいことを表している。

都市ガスとして供給されている天然ガスの発熱量の多くは1Nm<sup>3</sup>当たり45MJ前後だが、水素の発熱量はその3分の1程度しかない。もちろん、このことが致命的な欠点とはならない。天然ガスと同じ発熱量を得ようと思えば、3倍の流量を流して燃やせばよいだけの話である。

ところが、既存の設備を流用する場合には、注意が必要となる。たとえば、地中に埋まっている都市ガス導管の中身を天然ガスから水素に変えようとしたならば、送ることができる熱量も3分の1となるため、たちまちエネルギー不足を引き起こしてしまう。送出圧力を高めて3倍の流速で送ることも考えられるが、その場合は漏洩の可能性が高まってしまう。厄介なのは、漏洩の危険がどの程度増すのか、事前に現場や現物で確認することもできず、誰がな

にもって判断するのか決めることすらできない問題でもあることだ。

このような「既存設備」の流用には、解決したくとも難しい課題が存在している。もちろん、水素専用の導管を新たに敷設するなど、設備を一新するのであれば、このような問題は生じない。

### 3.3 水素の性質③ 燃えやすい

水素は、燃焼速度が速い。天然ガスとは比較にならないほど、とてつもなく速い。

逆に言えば、天然ガスのメタンは燃えにくい。バーナ開発においても、メタンの保炎をどのように確保するかが技術者の力量となる。失火という現象は、バーナにとって致命的な欠陥ともいえる。もちろん、失火を検出してガスを自動遮断する火災検出システムが装備されている設備も多くあるが、そもそもの危険性を低減しておくことが求められる。

そのためバーナ開発者は、ノズルから噴出されるガスに旋回をかけて空気との混合性を高めるなどの努力をしているのが実態だ。逆に、天然ガスに少し水素が混じると、バーナ開発者は大喜びする。

しかし、混入する水素の割合が高くなってくると、状況は一変する。水素の燃焼速度が速すぎるのである。

たとえば、バーナ先端のノズルから天然ガスがある速度で噴出しているとすると、すると、天然ガスの燃焼速度とバランスした（少し離れた）地点で炎が形成される。これを水素に単純転換しただけだと、ノズルから噴出した瞬間に燃える。すると、高温の火炎にさらされたノズルが焼損し、すぐに変形する。正常燃焼が継続できなくなると未燃成分が放出されるため、とくに工業炉など密閉空間で燃焼させる設備の場合では致命的となる。

そのため、水素の燃焼には水素専用のバーナや装置の開発が必須となる。天然ガスなど既存の燃料で利用されている設備は、ほぼすべてを水素燃焼できるように今から新規に開発しなければならない。

「いまだ、そんなこともできていないのか？」とお叱りを受けるかもしれないが、水素が供給されるインフラなど、現状ではどこにもない。テストをするにも、高価な水素をボンベで購入するしか方法はない。設備メーカーとは、中小企業も多い裾野の広い業界である。こうした会社すべてが、水素をボンベで購入して開発に取り組んでいるわけではない。

また水素燃焼では、点火時と消火時にも注意を要する。噴出速度と燃焼速度が逆転した場合に、炎が

ノズルを逆流してガス管の中で燃える逆火現象が生じる。ノズル先端が開放状態のため安全上の問題は小さいと思われるが、パンっという大きな音が鳴る。「不特定多数」が利用する家庭用の厨房設備において、つかうたびに大きな音が出てしまうことをどのように考えるか、無視してよい問題ではない。

### 3.4 水素の性質④ 見えにくい

水素燃焼の最大の欠点として、炎が見えにくいことが挙げられる。

東京 2020 オリンピックの聖火では、大坂なおみさんが点火するとオレンジ色の眩い炎が立ち上がった。この聖火の燃料には、水素が採用されている。

ちなみに、水素の炎は無色に近く見えにくいことが特徴だ。炎の形状によっては、メラメラとした形で赤く色づくことはある。しかし、迫力ある炎を形成させた場合、炎がほとんど見えなくなる可能性もある。そこで聖火では、水素に金属粉を混入させて、炎色反応であるオレンジ色を演出した。

もちろん、「不特定多数」を対象とした都市ガス導管供給においては、金属粉の混入という対応をとることはできない。

こうした水素の炎に不向きな業態として、食品の製造工場や中華料理などの飲食店が挙げられる。食品工場にある大型の連続式焼き物機では、ベルトコンベアの上下にパイプバーナが設置されているケースが多くある。パイプバーナとは、その名の通りガスパイプに小さな穴を連続して開けただけのものである。

手動で着火させた種火でバーナに火をつけ、万一失火すれば手動でガスコックを閉める。同じような手動着火・目視監視の燃焼装置は、鋳物コンロとして飲食店の厨房でも多く利用されている。

こうした装置に自動点火装置や火災検出装置が常備されていないのには、理由がある。煮汁などが垂れて固着することが頻繁に起こるためだ。また、衛生上の理由から定期的な水洗いの作業もあるため、複雑な機構は避けらる。



鋳物コンロの例（大阪ガス HP）

こうした現場では、目視監視で安全確認をおこなっているわけであるが、見えにくい炎の場合はどのように対応すべきだろうか。もちろん、法律や条例によって安全装置の設置を義務づける方策もありうる。しかし、煮汁で固着した場合、修理に出す事業者がどれだけいるだろうか。多くのケースで、手動の着火装置を出してきて、手動点火するのではないだろうか。

もちろん、水素の炎が見えにくいからといって、水素をつかってはいけななどと乱暴なことを言うつもりはない。しかし、物理的に起こりうる事象は課題として把握したうえで、計画をすすめるべきである。

### 3.5 水素とイーメタンのつかい分け

まとめると、供給設備でも燃焼設備でも、水素をもちいるあらゆる装置は水素用として新たに開発し製作したものでなければ、追加で多くの対策を講じなければならない。

また、炎の見えにくさや逆火音などを考慮すると、一般家庭のいわゆる「不特定多数」を対象にする際は、それ相応の対策が必要になる。とくに安全に関しては、イノベーションや法規制を超えた、人間の行動や心理まで配慮すべき事象もあるだろう。

そういった意味において、「不特定多数」の人々が利用する「既存設備」に対しては、メタネーションによる合成メタン「e-methane」の活用が検討されているわけである。イーメタンであれば、既存の都市ガス導管を流用した供給が可能であり、消費者も既存の燃焼設備を更新したり改造したりすることなく、さらに言えば、「不特定多数」の消費者が気づかないうちに脱炭素を実現させることも可能になる。

エネルギー源を変更するという事は、たとえば火炎が製品品質に直接影響を及ぼす生産設備では、導入ハードルがさらに高くなる。そのため水素は、蒸気ボイラや発電装置などユーティリティ設備を手始めにすすめるなど、水素を利用しやすい環境下から先に検討すべきであろう。

そして、「不特定多数」を対象とした「既存設備」には、メタネーションの実現がもっとも近道となるかもしれない。

## 4. エネルギー利用の実像

水素と合成メタンのつかい分けについてみてきたが、そのどちらもが太陽エネルギーが形を変えたものである。カーボンニュートラルの実現には、私た

ちが利用するエネルギー源の多くは再エネあるいは原子力起源に置き換えていかなければならないのだが、その道のりは長い。

そこで、まずは現状のエネルギー事情を簡単に把握しておきたい。

(注：水素や合成メタンの製造には、再エネ電気を利用する以外の製造方法も検討されている)

### 4.1 現状の一次エネルギー構成

一次エネルギーとは、自然界から直接得られるエネルギー源のことで、化石燃料や原発用ウラン等、そして再エネのことを指す。電力はこれら一次エネルギーをもちいて発電して得られるものであるため、ここには含まれない。

日本の一次エネルギー構成でもっとも多く占めているのが、石油である。全エネルギーの4割弱だ。そして天然ガスと石炭がそれぞれ4分の1弱ずつあり、それら化石燃料の合計で全体の8割以上を占めている。原子力発電の割合は現状では小さいが、再稼働にむけて国を挙げてすすめている。そして、残りの10数パーセントが再エネとなっている。もちろん、これらの数値は、原発が動く・動かないでも大きく変わる。

つぎに、一次エネルギーがどういった用途に使われているかをみると、利用用途の半分が熱であり、残りの半分を電力と運輸が等分している。電力は4分の1しか占めておらず、熱と運輸は化石燃料の割合が極めて高い。これが現状のエネルギー事情である(図2参照)。

ちなみに、この一次エネルギーをすべて石油に熱量換算して一升瓶に詰めたと仮定しよう。すると、日本人(国籍は関係なく、日本国土に住んでいる人々)一人当たり、一日でいったい何本の一升瓶の石油相当エネルギーを消費しているだろうか？

答えは、6本である。お年寄りも赤ん坊も関係なく、平均した値である。たとえば5人家族では、毎

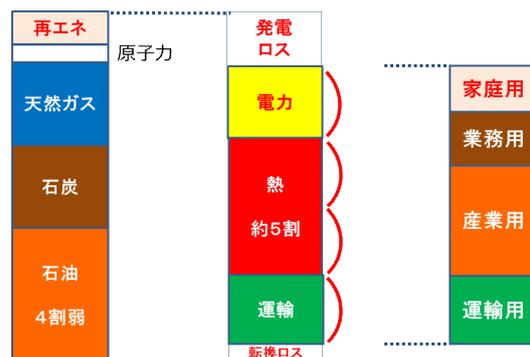


図2 一次エネルギー構成と利用用途 (筆者作成)

朝 30 本の一升瓶に詰めた石油をテーブルの上に並べ、翌朝までにすべてつかい切り、そうしてまた 30 本の一升瓶を用意する。これを 365 日、毎日繰り返しているわけだ。

もちろん、家庭内で利用されるエネルギーは、このうちの 15 パーセント程度である。しかし、日本という国土に住む人々が今と同じ GDP を稼ぎ、今と同じ生活水準を維持するために、大量のエネルギーをじゃぶじゃぶとつかっているのが現実だ。

#### 4.2 電化に関するひとつの考察

カーボンニュートラル社会の実現には、電化する化石燃料から電気への転換も一部で叫ばれている。もちろん、分野によっては電化にすすんでいくだろうし、電化をすすめていくべき分野もある。

しかし、電気がクリーンで再エネが利用できるからといって、「すべて電化すれば問題解決」というのは、いささか乱暴すぎる。

電化で分かりやすいのが、電気自動車だろう。ガソリンや軽油から電気への転換である。しかし、現状の電力が再エネや原発ですべてまかなわれているわけではない現状では、それらの普及拡大が電化のスピードに追いつかなければ、化石燃料による発電を増やすことになる。発電時の損失（ロス）を考慮すれば、二酸化炭素の排出が増加することも起こりうる。

化石燃料の発電においては、石炭や石油発電では大量の蒸気を沸かす際に大気へ熱が放散され、沸かした蒸気は蒸気タービンを回して発電されたあと、海水と熱交換して熱水に戻される。このように、燃焼エネルギーの多くが大気や海に放出される。天然ガス発電は、天然ガスを燃焼させた排気ガスの膨張力を利用してタービンを直接回転させるが、大気へ大量の熱を放散させていることに変わりはない。

発電方式によって効率はさまざまだが、日本全体で見れば、化石燃料由来の発電効率は 4 割台程度しかない。ざっくり言えば、海外から購入した貴重なエネルギーの半分をつかって海や大気を直接温めている、といっても過言ではない。

つまり、電化を急ぐあまり化石燃料による発電を増やしてしまうことは、短期的には、二酸化炭素の排出量を増加させることになる。

このように、カーボンニュートラルへの過渡期においては、その電気がなにかから生み出されているのかまで把握しながら、電化と脱炭素発電の普及拡大を同時進行させなければ、逆効果となってしまう。

#### 4.3 電気が不得意な分野

エネルギー源としての電気が不得意な分野がある。

電気とは、発電ロスを半分以上も出しながら一次エネルギーを加工して得られる、ある意味、高級なエネルギー源ともいえる。テレビやパソコンは、いくらガス管をつなごうが灯油を注入しようが、電気では動かせない。一方で、単純な加熱を電気でまかなうことは「もったいない」の一言に尽きるし、そもそも大容量の加熱にはむいていない。

製鉄業において、鉄スクラップの溶解には電気加熱が採用されている。鉄の熔解となれば高温かつ大容量の加熱となるため、大量の電力が必要となるが、それだけの供給に耐えうる電圧で電気が供給されており、日本では夜間しか操業していない。電力需要が少なくなる時間帯でのみ加熱することで、電力会社の需給バランスを改善するという理由で、特別な契約下での操業が許されている。

このように条件さえ整えば、電気で大容量の加熱をおこなうことは十分可能である。しかし、今から新たに電気加熱へ変更するには、インフラ敷設が困難になる可能性がある。

実感しやすい例として、家庭用の瞬間湯沸かし器を考えてみたい。

風呂やシャワーなどの給湯に利用される瞬間湯沸かし器は、その多くが天然ガス（都市ガス）や LP ガスが燃料として採用されている。あるいは、灯油による温水ボイラもあるだろう。

もしこれを電気加熱に変えたとしたら、どうなるか、簡単な計算をしてみたい。

カランひとつで約 12 リットルの水が出る。冬場に水温を 25℃ 上昇させると仮定すると、その能力は瞬間湯沸かし器の 12 号に相当する。これを電気エネルギーでまかなうと想定すると、加熱効率を 100% としても、単純計算で 20,950W の電力が必要となる。

電子レンジで 500W、ヘアドライヤーで 1,000W 程度である。そもそも、100V のブレーカーは通常 2,000W で遮断する。IH 調理器は 200V 供給だが、それでも 3,000W 以上は出せない設計だ。

ところが、カランひとつの給湯を電気加熱に変えるだけでも、2 万 W 以上の電力が必要となる。100V や 200V の供給では、到底追いつかない。しかし、今から高電圧の鉄塔や電線を新たに敷設することなど、物理的に不可能に近い地域は多くあるだろう。

現実には、お湯を沸かすだけであれば、お湯は貯めることができるため、夜間電力などを利用して時間をかけてゆっくりと加熱すればよい。しかし、製造業の加熱設備のように、今この瞬間に化石燃料と同じ熱量を欲するならば、高压電力のインフラ敷設が必須となる。

液体燃料やLPガスであれば、敷地内にタンクさえ設置すればタンクローリーで供給できる。天然ガスなど導管供給される気体燃料であれば、道路下に都市ガス導管が敷設できれば、必要な燃料の供給を受けることができる。一方で、今から鉄塔のような高電圧設備を建設するには、利用者だけでなく、周辺地域の状況まで考慮する必要がある。

このように、燃料には燃料特有のメリットとデメリットが共存しているため、すべての設備をある特定の燃料に置き換えれば解決、という一元的な発想は好ましい考え方ではない。

## 5. 太陽エネルギー利用の真のメリットと今後への期待

カーボンニュートラル社会の実現には再エネの普及、とりわけ太陽エネルギーを活用した電気の利用促進が必要不可欠である。

一方で、太陽エネルギーには自然変動性というデメリットがあるため、蓄電システムの同時普及が欠かせない。蓄電システムの方向性として、従来型の蓄電池だけでなく、水素や合成メタンも重要なアイテムとなる。

### 5.1 電化、水素、メタネーション

電化という方向性だけでは、対応しきれない分野が存在していることも事実だ。とくに大容量の加熱が必要となる熱分野においては、電力供給に物理的な制約が生じるケースもあるため、燃焼させるエネルギー源が必須となる。ここに太陽エネルギーが形を変えた水素や合成メタンを採用することで、電化のデメリットを回避することができる。

また、水素はその性質上、「不特定多数」の「既存設備」への供給を対象とするには、さらに多くの課題が表面化する。そのため、既存の都市ガス導管を活用するには、メタネーションによる合成メタン「e-methane（イーメタン）」の利活用が、結局は近道となるだろう。

### 5.2 太陽エネルギーの真価

エネルギー利用の現場においては、さまざまなエネルギー源のメリットとデメリットをうまくつかい分けした複合システムが現実解となる。そして、それら新しいエネルギー源の根幹をなしているのが、太陽エネルギーである。

ここで、図2「一次エネルギー構成と利用用途」のイメージ図を再確認していただきたい。

再エネによる発電を増やすということは、現状では、化石燃料による発電を削減することと同義である。化石燃料による発電には、元のエネルギーの半分以上の発電ロスが生じることを考えると、「再エネ発電とは、つかう電気エネルギーの2倍分の化石燃料を削減する」ことになる。

太陽エネルギーをそのまま電気として利用できるのであれば、化石燃料を2倍削減することができるという事実は、もっと声を大にして叫ぶべきであろう。

### 著者略歴



前田章雄（マエダ アキオ）

1991年4月大阪ガス(株)入社。産業用工業炉の販売を通じて、重油や電気から都市ガスへの燃料転換に携わる。2019年4月エネルギー・文化研究所へ異動（現在は大阪ガスネットワーク(株)傘下）。エネルギーを広くとらえた啓もう活動、およびエネルギーと産業や生活に係わる研究を推進。