

縮小社会通信 第9号

2021年5月22日

目次

縮小は福音！（一日3時間労働でやっていける）	並木宏徳	1
水素社会について	大築康生	9
素人の食料自給試案	松久寛	28

一般社団法人縮小社会研究会

縮小は福音！ (1日3時間労働でやっていける)

並木宏徳

縮小社会研究会では、自らの生存基盤である地球環境を破壊して資源を消費しつづける人類が、資源枯渇過程で獲得競争を激化させ人類の滅亡に至る危険を回避するために資源消費を抑制するべきであると主張してきた。しかし大量生産・大量消費に慣れた人々に、資源消費を抑制する運動になかなか賛同していただけない。縮小社会研究会も一定のファン層から増える気配が無いのは残念なことである。

資源消費を抑制して破局を回避する方策として最も有効な方策は人口減少であるが、人口減少は悪であるという考え方をする人は多い。GDPを減少させ、経済的な競争力や軍事的不安定を齎す等々というのである。

幸い日本では既に人口は減少し始めている。この傾向を維持、促進するためにも縮小社会研究会は人口減少により素晴らしい社会が実現できることを主唱すべきであろう。人口減少によって、あるいは人口減少の過程において達成可能と考えられる三つの目標を提案したが、今回は第一の目標について少し掘り下げて考えてみた。

第一の目標 労働時間の短縮

人口減少過程では労働時間はどうなるのだろうか？

中世にペストが猖獗を極めて人口が大幅に減少したことがあった。ヨーロッパでは土地を耕す農民が減ってしまったので、領主は高い賃金を支払わないと耕作してくれる人を集められなくなり生活に困窮した（といっても多くの召使やコックを雇っての贅沢な生活ができなくなっただけだが）と伝えられている。経済は需給のバランスによって成立しているのであるから、人口が減少すれば賃金が上昇するのは当然である。当然ではあるが、なぜ「賃金を上げる」ことを第一の目標に設定しなかったのか？

全ての労働者が一斉に労働時間を減らしてくれれば人口減少と相まって更に大幅な賃金上昇が実現できることは理解しやすいだろう。が、一部の労働者だけが労働時間を減らしても賃金上昇分が相殺されてしまったらその人達だけは収入が増えないことになってしまう。

経営者は当然に労働時間短縮に反対し、賃金を上げてもっと働いてくれというだろう。人口が減少して賃金は上昇するかもしれないが、労働時間の減少は望めず、却って人口減少による労働力不足を補うために長時間労働を強いられ住

みにくい社会になると考える人も居るかもしれない。それなのに労働時間の短縮を第一目標に設定するのは何故か？

工業化社会に移行時、生産性が大幅に向上したのに労働時間がなぜ短縮しなかったのか？

現在人類の大多数の生活において金銭的対価を得るための労働時間が一日 8 時間、あるいはそれ以上のままで減らないのは、分業化と地下資源の利用が可能となって生産性が飛躍的に上がった時代の社会的対応に遠因がある。多くの個体が生活するのにギリギリの水準にまで個体数を増やしてしまった、厳しい環境で生きていくためにやむを得ず長時間労働を強いられた不幸な農耕社会から、豊かになる筈だった工業化社会へ移行する時に対応を間違ったというべきであろう。

生産性が大幅に向上し生産能力が飛躍的に増大した時、人類は豊富に供給されるようになった食料・物資で賄える限界にまで個体数を増大させ続けてしまった。マルサスが指摘するように、算術関数的にしか増加しない食料・物資生産を指数関数的に増加する人口が上回ったために豊かな余裕のある生活に転じることができなかつた主原因であることは間違いないだろう。しかし人類が構成する社会は、悪いことに増えた個体数に相当する雇用を創出しなければ社会の安定を維持できない構造であった。そのために物欲を刺激し消費量を増大させ需要を創出しなければならなくなってしまった。1,800 年頃に人類の一人当たり物質消費量が狩猟採集社会と同水準にまで回復したと言われているが、人類は雇用を創出するための努力を続けた。旅行需要を生み、ファッションを生み、大量の物資・エネルギーを消費する車や電気製品を生み出し続け、産業の拡大を続けなければならなかつた。20 世紀半ばを過ぎて、先進国ではサービス産業の比率が大となったので、物質的な消費量が頭打ちになって環境破壊速度はいくらか和らいだが、大量の物資・エネルギーを消費する社会形態が世界中に拡散し、遅れて消費社会に移行しつつある国々の環境破壊が急速に進行し、地球全体では深刻な環境破壊が未だ進行しつつある。

そしてこれが人類にとって最も不幸なことであつたかもしれないが、生産能力の飛躍的増大の主因である分業化により、従来は生存のための労働、コミュニティ維持のための労働、社会維持のための労働（形態的には金銭的対価を得るための労働）が危ういバランスをとっていたのだが、それが大きく崩れてしまった。

美しい織物を紡いで娘に着せる喜びを味わうために働くという行為は、誰が身に付けるか判らない織物を大量に作り続けなければならぬ賃労働となり、

長時間勤務を強いられて女工哀史に変わってしまった。家族に、あるいはコミュニティの隣人達に美味しい料理を作って振舞うことは喜びである筈が、レストランで従業員がお客に料理を出す行為も賃労働となってしまった。家族を風雨から、厳しい気候から守りたいという願いは、長時間労働と劣悪な環境の建設現場で働く大量の建設労働者を生み出してしまった。

農耕社会から工業化社会への発展は、アダム・スミスが指摘しているように分業化によって生産能力を飛躍的に増大させ、その結果として個体数の増大というメリット（生き物にとってはメリットだと考えられている）を齎したが、それだけに止まらず賃金労働の比率を増大させて人の幸福感を奪ってしまい、深刻な環境破壊をもたらしたマイナスの方が大きかったと言えるのではないかと思われる。

産業革命から 200 年を経過して、技術革新の速度は更に加速された。著名な経済学者ジョン・メイナード・ケインズは 1,930 年に「先進諸国の生活水準は 100 年後には 4~8 倍程度になっているはずで、1 日に 3 時間も働けば生活に必要なものを得ることができるようになるだろう」と予言している。技術革新実現のスピードを考えると 1 日に 3 時間労働は当然であると考えられるのにそうならないのは大問題であり、人類がしでかした大失策であるという意識を持つべきである。

人類にとってバランスの良い労働時間は何時間だろうか？

生存・生殖のための活動が殆どである他の動物と違って、ホモ・サピエンスの活動は社会的活動の比率が高く、活動形態も複雑である。活動形態を分類すると、生存（生活）・生殖のための活動、コミュニティの活動（近所付き合い・他人との交流）、金銭的対価を得るための活動（社会維持のための活動）の 3 種類に大別できると考えても良いだろう。そして三番目の活動を労働と呼ぶことに反対意見は少ないと思われるので、これだけを労働と呼ぶことにする。

人類は 100 万年の歴史の中で 90 年以上に亘って狩猟採集生活をしていたと考えられている。狩猟採集生活をする人達を観察した学者は、労働時間は一日あたり 8 時間もなく、環境にもよるが 3 時間程度であることが多いと報告している。

どうも現在一般的な一日 8 時間程の労働時間は長すぎる。金銭的対価を得るための労働が一日 8 時間、あるいはそれ以上となっている社会はホモ・サピエンスにとってあまり居心地の良い社会ではないように思われる。これを減らすことによって、ストレスから解放されてホモ・サピエンスの自然な生き方をすることができるのではないだろうか、と考えられる。

コスト化労働時間

人の睡眠時間は8時間程度であるから、活動可能な時間は $24-8=16$ 時間。労働時間が3時間だと $16-3=13$ 時間。労働時間短縮が実現できた未来の社会で、人類は残りの時間をどのように過ごすのだろうか。

ゴリラの研究で知られる京都大学総長であった山極壽一氏は、著名な人類学者の尾本恵市氏との対談の中で次のような話をしている。

『人間には本来、もっと生き生きとした時間があったはずですが、それは他人とともに過ごし、お互いに歩み寄れる時間だったわけですが、現代の文明社会はそれをコストにしてしまった。自分の時間は自分で測れますが、他人が入ってくるとそういうわけにはいかず、コストになってしまう。そこでは、他人と過ごす時間をプラスと捉える思考方法が必要だと思います。狩猟採集民はそういう時間の概念を持っているわけですが、我々はそれをみんなコストにしてしまった。我々はもう一度彼らを見習い、他者とともにいる時間を価値づけなければいけない。

そのよい例はお母さんと赤ちゃんです。お母さんは赤ちゃんのためにいつも身構えてなくてははいけません、その一方で赤ちゃんという時間も楽しいわけですよ。でもそれをコストとして捉え、「私には赤ちゃんがいるから自分の時間を使えない」と思ってしまったら損ですよ。そこではやはり、赤ちゃんと一緒にいることをプラスと捉える思考方法が必要です。子育てに限らず、これはいろんな場面に出てくることですよね。』

現代でもコスト化していない時間を生活の中で確保していると思われる生活をしている人達も大勢いる。専業主婦や定年退職して悠々自適といわれる生活をしている人達が、地元自治会などのコミュニティでお祭りの相談に集まっている場面などに出くわすと、社会的活動の中でコスト化していない時間を楽しんでいるのではないかと思う。里山や鎮守の森の保護活動や、一村一品の特産品を創る運動をしている人達もその仲間かもしれない。災害地の復旧ボランティア、低開発諸国に援助に出かける人達も同類だろう。スポーツマンはプレイ中にコスト化した労働時間におけるよりも激しい肉体的苦痛を味わうのがむしろ普通であるが、それを苦痛と考えている人はいない。芸術家と呼ばれる人達も概ねこの分類に入るのではないだろうか。既に生き方のお手本を示している人は周囲に大勢いる。しかし残念ながら労働時間をコスト化しない生き方が出来るのはごく一部の人のみである。

では、考えなくてはならないのはどういうことかということ、多くの人がコスト化してしまった労働時間、金銭的対価を得るための労働時間を3時間にまで減

らしても維持できる社会を構築し、維持する方法を考えることである。生産が分業化して、労働がコスト化してしまつた社会から、人間としての生存を維持するために、生存基盤であるコミュニティのために多くの時間を使う、コスト化していない時間をたっぷり持つことができる社会となるだろう。もっともそれは全ての人の金銭的対価を得るための労働時間が 3 時間になるということでは無論ない。人々の生活形態はより多様となり、全ての生活時間を高度で創造的な労働（活動と呼ぶ方が妥当だろうが）に振り向ける個体が存在する一方で、孤独な狩猟採集民となり生存のための活動に全てを捧げる個体もいるという社会になるのではないだろうか。

高い生産性の社会への産業構造の転換

労働時間が減少すれば、生活の重心が会社や勤務先から、家庭やコミュニティに移行することが可能となるだろう。働き方改革でテレワークも可能となって、生活のために費やす時間が増大する利点を多くの人を実感するようになってきているし、業種にもよるが、経営者の中にも社員を長時間会社に拘束していた場合より生産性が上がり、売上・利益が増えたりしてメリットを実感するようなケースも報告されている。労働時間を短縮しても生産性を上げることによって経営効率を上げることが可能な技術革新がベースにある。それを主導するエリートを養成し活躍できる環境を構築することが社会の義務であり経営者の仕事である。

日本全体で短時間労働化が進むと総労働時間が減少し、労働者数の減少と同じ効果を経済に齎し単位時間当たり賃金は増加する。企業経営の立場から見れば、従業員の労働時間を一日 3 時間に減らしても売上高を維持し、付加価値を確保して労働分配率も変えないという企業形態に転じる必要がある。IT 技術をはじめとする様々な技術の進歩により労働力が減少しても企業活動を維持できる環境は整いつつある。

逆に現状のままで情報化社会になると大量の失業が発生して社会不安を煽り、暴動が起こることを心配する学識者もいる。短時間労働化は雇用減少を防ぎ、社会の安定を保つ効果も期待される。

もっとも賃金上昇とのバランスが取れない労働集約型産業では当然利益がなくなってしまう。高賃金になるから生産性の低い人手を要するサービス業は縮小するだろう。高賃金を支払うことが出来ない低付加価値企業は退場せざるを得なくなるだろう。人手に依存したレストランなどのサービス業や労働集約型の中小企業の多くは廃業に追い込まれることになるが、それは生産性の高い社会を実現するためには避けられないことである。そういう対応に成功した企業

は単位時間当たり高賃金を支払っても企業収益を伸ばすことすら可能であろう。産業構造の転換が起こるだろうが、それを妨げる政策を許すと社会経済は低迷し、労働時間短縮も実現が難しくなる。弱者保護は行政政策の根幹であるべきだが、産業政策における弱者保護は最小限に止めるべきである。中小企業対策と呼ばれる一見弱者保護に見える政策は、突き詰めれば悲劇の再生産に過ぎないという見方もある。

情報化社会における経済成長

経済学者のヨーゼフ・アロイス・シュンペーターが説いたように経済成長はイノベーションの創出により実現されるということを疑う人はもはや少数派となった。イノベーションは少数のエリートにより推進される。世界企業がイノベーションをリードし続け、成長し続けるという構図は変わらないだろう。大多数を占める一般市民とは異なるエリートを生み出すのは社会にとって最優先の重要な仕事であるべきである。

高成長企業を牽引している人達、エリートと呼ばれる人達は労働時間を3時間にしたいと考えるのだろうか？ 高級官僚として国家を経営し、国家の浮沈を支配するような重要な役割を果たしている人達は労働時間を3時間にしたいと考えるのだろうか？ マズローの欲求5段階説(最近では6段階)の上部段階の欲求を満たして、あるいは満たすために活躍していると考えられるそうした人達は何時間働いていても幸せである可能性が高い。そうした人達にとって、労働は苦役ではない。そうした少数の人達が、時間給に縛られた一般の労働者と違う環境で社会を先導することによって、企業競争力を高め、国家に繁栄を齎し、更に社会に創造的進化を促していくことだろう。当然、そうした人達は労働時間当たりの報酬を受け取る労働者とは違い労働時間の束縛とは無関係である。ジョブに応じた高額な金銭的対価を受取り、富裕層を構成するだろう。社会を変革し指導することができるレベルの指導者層を養成する、国家はそうした人を多く輩出することが勝利への道であることを理解して、様々な施策を講じなければならない。最近日本でも新しいビジネスを生み出すインキュベーションセンターを作って新産業創出に取り組む自治体が増えた。画一的教育により個性に乏しい労働者を生み出すことを優先する平等化教育から、個性を生かす教育へと方針転換しなければならない。

結果平等は悪平等であり、機会平等を基本とした社会に変えていかなければならない。真面目に働く、均質化した労働者層を構築することが国家を勝利へ導く道であった時代の終焉である。

格差拡大は社会悪か？

ここで注意しなければならない事が二点ある。

一つは機会平等社会においては個人能力差により当然に経済的格差は発生する。経済的格差が発生しても一般の人達が幸福感を持って生活できるような社会を実現できる政策を推進しなければならない。経済的格差は人の生き方や考え方、能力と運によって発生するものであるが、それが人の価値を決定するものであってはならないし、当然のことであるが経済的格差によって日常生活に困窮するようなことは決してあってはならない。

全ての人々がベーシックインカム (BI) を保証されて十分豊かな生活水準を維持可能であり、一般の人達は一日 3 時間のコスト労働だけで、更に高度で文化的な社会生活を楽しむ経済的余裕ができる、そういう社会を構築しなければならないのは当然のことである。日本国憲法で「健康で文化的な最低限度の生活を営む権利を有する。国は、すべての生活部面について、社会福祉、社会保障及び公衆衛生の向上及び増進に努めなければならない。」とあるが、「最低限度」という文言は無用である社会を構築しなければならない。

もうひとつは相続により富裕層の生活をエンジョイするような個人を存在させない社会を構築しなければならない。英国ではサッチャー政権が、過去の植民地支配により蓄積した富によりそうした個人を温存させてきた国を変えようと努力したのはよく知られている通りである。日本でも、相続税は100%とする、低金利と恒常的なインフレーションの組み合わせにより世襲により資産運用で暮らす富裕層を作らないという政策をとるべきであろう。

労働時間を減らして、より良い社会を実現

多くの人達にとってコスト化労働時間となってしまう社会維持のための労働（形態的には金銭的対価を得るための労働）時間を3時間にまで減らす試みを縮小社会研究会の第一の目標と設定した。そんな事になれば経済は衰退し現在のような生活水準はとても維持できないと考える人もいるかもしれない。遊び人ばかりになって流行るのはパチンコ店と飲み屋だけだと思うかもしれない。しかし人類は90万年以上もの間、自由に生活を楽しんきたのである。それだから文明も発達しなかったのだ。最近の一万年の進歩はそういう生活と決別したから達成できたと考える人もいるかもしれない。しかし、技術者がこの一万年の間に達成した成果を正確に評価すれば、日常生活を維持するために必要な労働時間は僅かですむということは明らかである。江戸時代に農民一人が生産できる主食の米は高々十人分程度であったのに、現在の米国の農民は一人当たり5千人分の小麦を生産している。

ジョン・スタインペックの「怒りの葡萄」には米国穀倉地帯の農場で機械化

のために追い出された一家が厳しいキャラバン生活をしながらカリフォルニアへ移住していく姿が描かれている。資本主義の残酷さがリアルに表現された名作であるが、このような犠牲の結果、米国では農業の生産性が向上し、農業従事者は人口の僅か1.5%もないのに食料自給どころか世界の穀倉として食料不足の国々を飢えから救済していることは否めない。人口の過半が農業に従事しているといわれているのに、かろうじて食料自給しているだけのインドと対比すれば、どちらが良いか議論の余地はない。日本は平野が少なく、昔から一人当たりの農地が少なく農業生産性が低かった。加えて第二次大戦後の農地解放の結果、農業生産に従事する人達は恐ろしく生産性の低い状態のまま留め置かれ、兼業で辛うじて生計を立てている。社会をどのような形に構築するか、善意やイデオロギーで間違った選択をすると、不幸の再生産サイクルを温存することがあることは留意すべきであろう。

人口減少を維持し、労働力減少による賃金上昇を物質的消費に振り向けずに労働時間減少を志向する社会、縮小社会研究会の目指す社会はそういう社会ではないのだろうか。労働時間短縮を第一の目標として提案する所以である。

繰り返しになるが、そうした社会で経済を更に発展させることも可能である。労働時間を減少しながら、更に高度に文化的な社会を構築することも可能である。そのためにはイノベーションを創出する人材育成が必須であり、その結果格差は生まれる。多様な生き方を選択できる社会では経済的格差と人の幸せとは必ずしも一致しない、少ない労働時間、バランスのとれた生活時間を楽しむことができる幸せな労働者が構成主体となるのが格差社会である、そういう社会を構成する第一歩が労働時間短縮である。格差が社会に幸せを齎す、格差がイノベーションを推進し経済社会を発展させて高度な生産性を実現できる、そういう社会は労働時間短縮により実現できるのではないだろうか。多くの人達にご賛同いただいて、社会を変革しなければならないだろう。縮小社会研究会での議論に期待するところである。

水素社会について

大築康生

0. はじめに

現在、国を挙げて水素社会実現に向けてプロジェクトが進められている。本稿では、現在話題となっている水素社会プロジェクトと水素の利用状況について概説する。

まず、そのプロジェクトの目標と現状を紹介する。

次に、水素の基本的性質とその製造、運搬・保管、利用法を紹介する。最後に経済性や実現性などについての課題を示して、水素社会を考える上での基礎的な情報提供とする。

1. 水素社会プロジェクト

(1) プロジェクトの経緯

水素社会プロジェクトは経済産業省(以下経産省)のエネルギー基本計画に位置付けられた。2014年の第4次基本計画では「水素社会実現に向けたロードマップの策定と産学官協議会の推進」が記載され、2017年には「水素をカーボンフリーなエネルギーの新たな選択」が提示された。

その後2018年には第5次エネルギー基本計画で「水素を再生可能エネルギーと並ぶ新たなエネルギーの選択肢」と規定され、「水素の調達・供給コストを従来エネルギー水準まで低減」が目標(水素熱量等価換算により現在100円/Nm³を‘30に30円/Nm³、将来20円/Nm³)とされた。

これは、水素を単なる「ひとつのエネルギー源」から、石化エネルギーの枯渇を見据えて、その代替エネルギーとしての水素を国家として重要視するようにシフトしてきたものと見られる。

このプロジェクト推進の中核となり、戦略ロードマップを作製したのが経産省の「水素・燃料電池戦略協議会」であり、産官学から多くのメンバーが参画している。2019年時点でのメンバーは座長に東工大の柏木教授、官側は経産省、国交省、文科省、NEDO、福岡県など、学は九大、山梨大など、産は岩谷産業、トヨタ、パナソニック、川崎重工、三菱重工、東京ガス、日本政策投資銀行、電気事業連合会、水素エネルギー協会など多くの企業・業界団体からなっている。

(2) 基本戦略

その戦略を図.1に示す。項目は「供給」、「水素量」、「発電」、「モビリティ」、「FC活用」に分けて現状、2030年、将来の目指すべき姿の各時点での目標を示している。

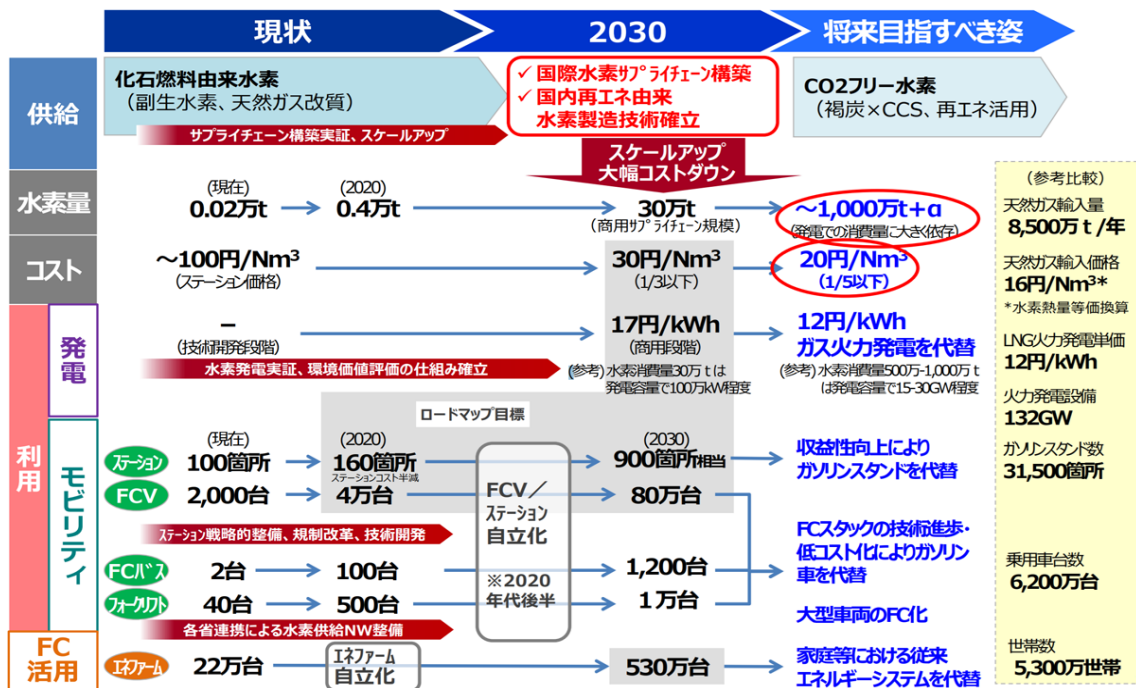
供給は、現状は副生水素や天然ガス改質などの従来技術に対して、2030年には国際サプライチェーンを構築し、再生エネルギー由来の製造法を確立する。そして将来はCO₂の製造体制を確立する目標としている。

水素量は、現状の 200~4000ton を 2030 年には 30 万 ton、将来は 1,000 万 ton まで拡大する目標としている。

発電は、研究開発段階の現状に対して、2030 年には 17 円/kWh、将来は 12 円/kWh までコストを下げる目標としている。

モビリティは、現状は微小数の水素ステーション(ST)や水素燃料電池自動車(FCV)を、2030 年には ST を 900 箇所、FCV を 80 万台レベルに実現し、将来はそれぞれガソリンから代替するのが目標である。

図.1 基本戦略のシナリオ



出典:水素社会実現に向けた経済産業省の取組 2020年2月

(3) プロジェクトの具体策と現状

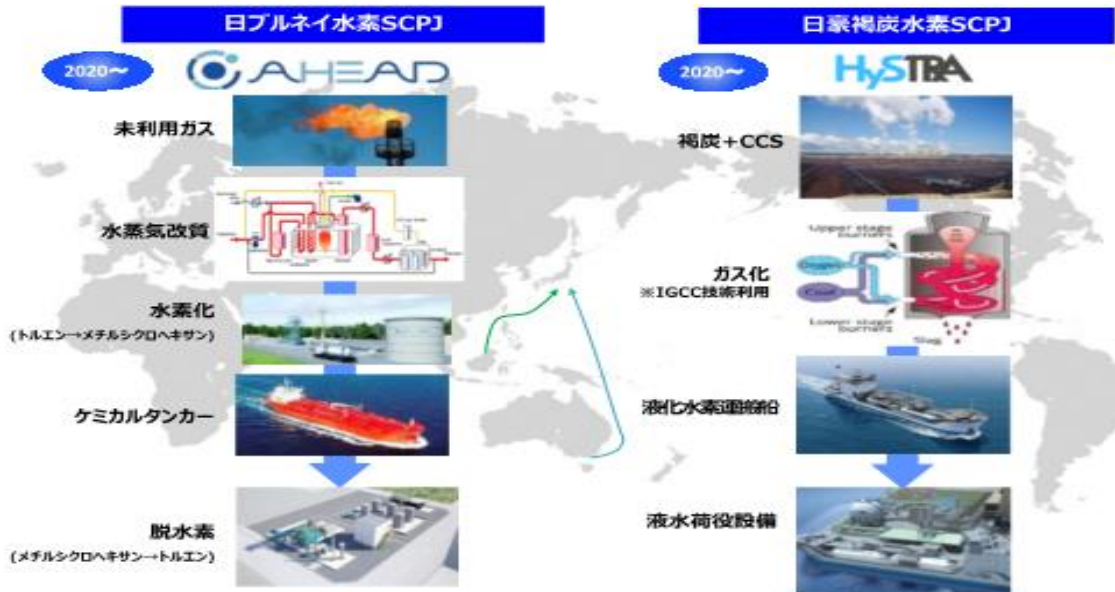
① 国際水素サプライチェーンの構築

これは図.2に示すように外国から水素を輸入するシステムの構築で、ブルネイからは天然ガス由来の水素を化学物質として輸入する方式と、オーストラリアからは褐炭由来の水素を抽出・液化して輸入する2方式が進められている。

ブルネイからの計画は、現地で天然ガスから水素を抽出するとともにメチルシクロヘキサン(MCH)に合成してケミカルタンカーで輸送する。日本では MCH から水素を分離する作業を行う構想である。進捗状況を図.3 に示す。

オーストラリアからの計画は、現地で褐炭から水素を分離した後に液化して体積を下げ、液体水素専用の運搬船で輸送する。日本では水素を液体から気化する作業を行うものである。進捗状況を図.4 に示す。

図.2 サプライチェーンのコンセプト



出典:水素社会実現に向けた経済産業省の取組 2020年2月

日

図.3 日ブルネイ水素プロジェクトの進捗状況

- 2019年11月にブルネイの水素化プラントの開所式典を開催。現在、当該プラントにおけるMCH(メチルシクロヘキサン、トルエンに水素が結合。)の合成や、船舶への積込、海上輸送等の実証をブルネイ国内で開始している。
- 今後、川崎の脱水素プラントの竣工・稼働を経て、ブルネイからの水素輸送(MCH輸送)及びMCHからの水素分離の実証を開始する予定。

完成した水素化プラント (ブルネイ)	水素サプライチェーン
<p>MCH反応塔</p> <p>水素製造装置</p> <p>MCHタンク</p> <p>トルエンタンク</p>	<p>①水素化 (MCH合成)</p> <p>未利用ガス→水素</p> <p>・19年11月 ブルネイ水素化プラント 竣工</p> <p>②水素輸送 (MCH輸送)</p> <p>※ 既存のケミカルタンカーを利用</p> <p>③脱水素 (水素分離)</p> <p>川崎脱水素プラント 外観</p>
<p>・19年11月に開所。水素化プラントで変換されたMCHは、海上輸送により日本に送られ、川崎に建造中の脱水素プラントにおいて、再び水素とトルエンに変換される。</p>	<p>・川崎脱水素プラント 外観 9</p>

出典:水素社会実現に向けた経済産業省の取組 2020年2月

図.4 日豪水素プロジェクトの進捗状況

- 2019年12月11日に**液化水素運搬船「すいそ ふろんていあ」の命名・進水式**を開催。
- 今後、褐炭ガス化炉(豪州)、神戸水素基地が竣工し、秋頃には「すいそ ふろんていあ」が完成する予定。
- 「すいそ ふろんていあ」は、**21年冬～春頃に世界初の液化水素の大規模海上輸送による褐炭水素を日本に輸送する予定。**

進水式の様子	水素サプライチェーン
<p>2019年12月11日 川崎重工 神戸工場 ・経産省 中野政務官、在日豪州大使、豪連邦政府 フィンケル主席科学官 他が出席 ・一般参加者を含め約4000人規模の式典</p> 	<p>①水素製造 (褐炭ガス化) + CCS </p> <p>②水素輸送 (液化水素船) </p> <p>③水素荷揚 (荷役基地) </p>

出典:水素社会実現に向けた経済産業省の取組 2020年2月

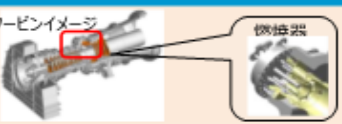
② 水素発電に関する技術開発・実証

500MW 級の水素燃焼ガスタービン発電システムを開発する。図.5 に示すが、従来のガスタービンベースに水素を混ぜて燃焼させる混焼タイプと、水素だけを燃焼させる専焼タイプとがあり、現状は 1MW 級の専焼タイプが実現している。また、1MW 級の地域における熱電供給コージェネシステムの開発で、神戸市のポートアイランドで実証に入っている。

図.5水素発電に関する技術開発の進捗状況

● 将来の発電分野での水素利用を見据え、①大規模火力発電級（500MW級）②地域における熱電供給のコージェネ発電（1MW級）のそれぞれの分野で水素の燃焼特性に応じた燃焼器の技術開発に取り組んでいる。

①大規模火力発電級（500MW級）のR&Dの流れ




既存大規模火力発電所における水素混焼を可能とするための技術開発を実施し、**2018年に水素混焼率20%を達成した。**

出典：神戸市経済開発局、500MW級水素燃料燃焼器開発


2020年より、水素**専焼**発電の技術開発を実施予定。将来的には、オランダがマグナム発電所にて計画している**世界初となる大型水素専焼発電の商用運転への展開**を目指す。

→日蘭で水素発電の実現に向けた協力覚書を締結



日蘭MOC締結 (2019.9)

②地域における熱電供給のコージェネ発電(1MW級)のR&Dの流れ




神戸市のポートアイランドに整備された水素発電施設（水素CGS）

水素を天然ガスに0～100%まで自在に混焼可能な技術を開発し、**2018年4月には水素専焼(水素100%)による市街地への熱電供給を世界で初めて達成した。**

出典：M

エネルギー供給能力
 電力：約1,100kw
 熱：約2,800kw



街区への供給イメージ

水素CGSにて、高効率な水素**専焼**発電の技術開発を実施中。

出典:水素社会実現に向けた経済産業省の取組 2020年2月

③ 地域の再生エネルギーの最大活用

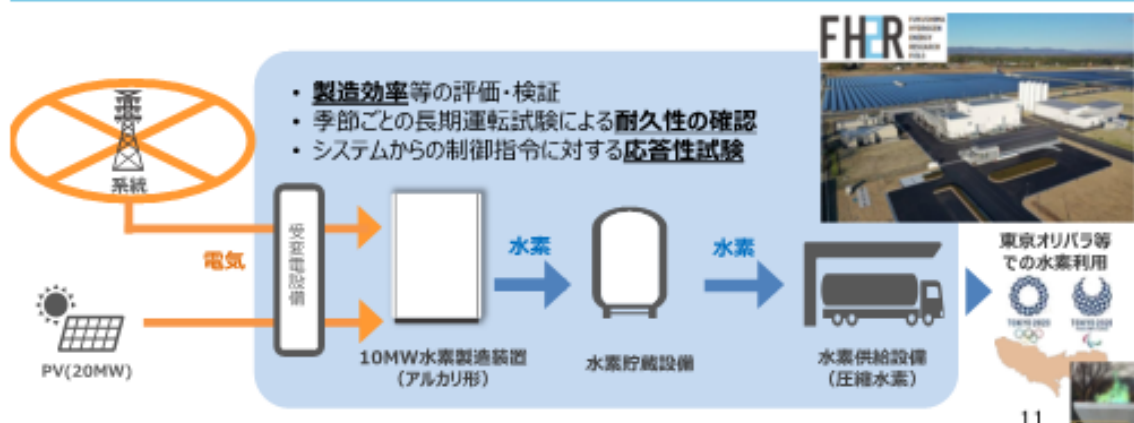
風力や太陽光による再生可能エネルギー発電は一定の出力維持が困難であるため、余裕電力で水素を製造・貯蔵し、電力定価の時に貯蔵の水素で発電し補完をするシステムの開発・実証を行う。図.6 に示すように、福島県で実証システムを構築中である。

図.6 地位の再生エネルギーの活用進捗状況

地域の再エネを最大限活用する取組（Power to Gas）

- **再エネの大量導入は調整力確保とともに余剰の活用策が必要。水素利用のポテンシャルは大。**
- 特に蓄電池では対応の難しい「**季節を超えるような長周期の変動**」に対しては、有効。
- 福島県浪江町の「福島水素エネルギー研究フィールド」では、太陽光発電(20MW)で水を電気分解して水素を製造(年間約200トン)。
- 将来的な水電解技術の商用化の実現に向けて、製造効率の評価、耐久性の確認等の技術実証を行う。
- 3月より水素の製造・出荷に着手し、**3月7日には開所式**を開催。

福島県浪江町での大規模水素製造実証プロジェクト



出典:水素社会実現に向けた経済産業省の取組 2020年2月

④ 水素ステーション(HS)およびFCVの普及

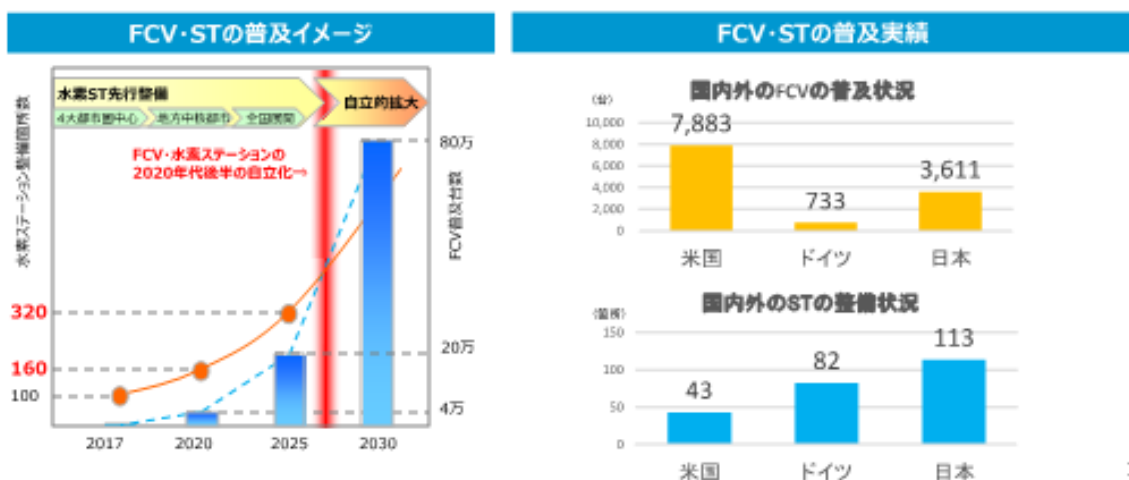
HSとFCVの普及は2020年度までにFCVは4万台、STは160か所の普及を目指す。目標に対し、実態はFCVの普及は1000台レベルと言われている。

水素を十分に活用するには、技術開発だけでは不足で、規制改革も重要になり、モビリティ以外のアプリへの展開も進めることとしている。図.7に目標と進捗状況を示す。

図.7 水素ステーション(ST)と燃料電池車(FCV)の普及目標と進捗状況

水素ST及びFCVの普及目標、現在の実績

- **モビリティにおける水素利用の中核はFCV・水素ステーションの普及。** FCVは2020年までに4万台の普及を、水素ステーションは2020年度までに160箇所の整備を目指す。
- FCV・水素ステーションの2020年代後半の自立化に向けては、FCVの量産化 及び 安定収益の裏付けのあるステーション整備（自立的なビジネス展開）が必須。そのため、**規制改革、技術開発、ステーションの戦略的整備**を三位一体で推進。
- 燃料電池技術の横展開、及び水素ステーションインフラの有効活用（稼働率向上）の観点からは、**他のアプリケーションへの展開を合わせて進めていくことが重要。**



出典:水素社会実現に向けた経済産業省の取組 2020年2月

2. 水素の基本特性

水素の基本特性を以下に示す。

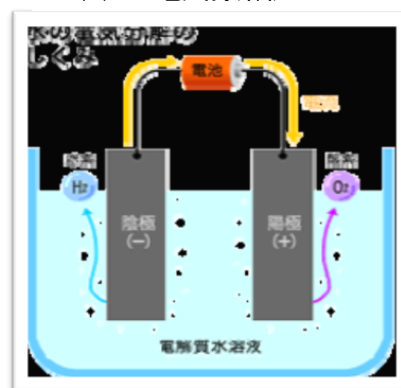
- 水素は原子番号1の非常に軽い元素で、通常2個で構成する分子の形(H₂)で存在する。
- 質量は、標準状態(0℃、0.1MP)で89g/Nm³。
- 融点は-259.2℃と大変低く、液体では体積は気体の1/800。
- 特徴としては引火しやすく、密閉空間では強烈な爆発を起こすこと、分子が小さいため漏れやすいこと、金属をもろくする(水素脆性)などがある。

3. 水素の製造法

(1) 電気分解法

- 電気エネルギーで水を酸素と水素に分解する方式で、図.8に示すように、小学校か中学校の理科実験で行われるものである。
- この電気の元が再生エネルギーであれば、CO₂フリーと言うことになる。
- 1 Nm³の製造に3.6kWhのエネルギーが理論上必要

図.8 電気分解法



だが、実際には 5～6kWh 程度は必要と言われている。

・本方式の課題は、効率の向上、大規模化、再生エネルギーで製造する場合の負荷変動対策等が挙げられる。効率化の面では「アルカリ水分解法」などの研究が進められている。

(2) 水蒸気改質法

・化石燃料等の主成分であるメタンと水蒸気を 900～1000℃の高温環境下で触媒を使用して反応させる方式である。

・メタンと水から水素と一酸化炭素(CO)が発生し、その一酸化炭素と水から水素と二酸化炭素(CO₂)が生成される。



・この方式は水素と共に CO₂が発生するので、その処理が必要となる。処理としては、CCS (Carbon Capture and Storage)と呼ばれる二酸化炭素回収・貯留技術で通常は地中に CO₂を埋め込むことが想定されている。

(3) 熱分解法

これは 1000℃近くの高温で、水を水素と酸素に分解する方式である。

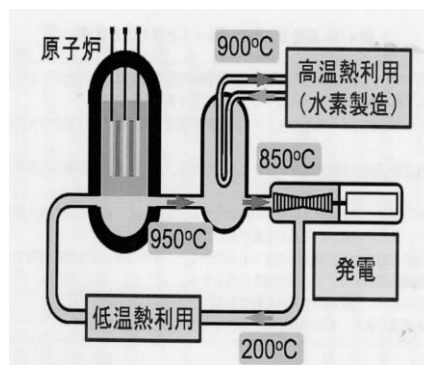
① 高温ガス炉方式

・ヘリウムを原子炉の冷却材として高温で運用する原子炉の熱を利用する方式で図.9 に示す。

図.9 高温ガス炉方式

・ヘリウムが不活性であること、減速材がグラファイト(黒鉛)であることなどから、高温ガス原子炉は安全性が高いと言われている。

・原子炉を出た 950℃の液体ヘリウムは第一弾の冷却機で 850℃に落とされる。ヘリウムを冷却する水は 900℃に昇温されて水素と酸素に分解される。850℃のヘリウムはタービンで発電し 200℃まで冷やされる。その後第 2 次の冷却機で暖房などの低温熱利用をしてさらに温度を下げ原子炉に戻るシステムである。



出典:岩波ブックレット 931

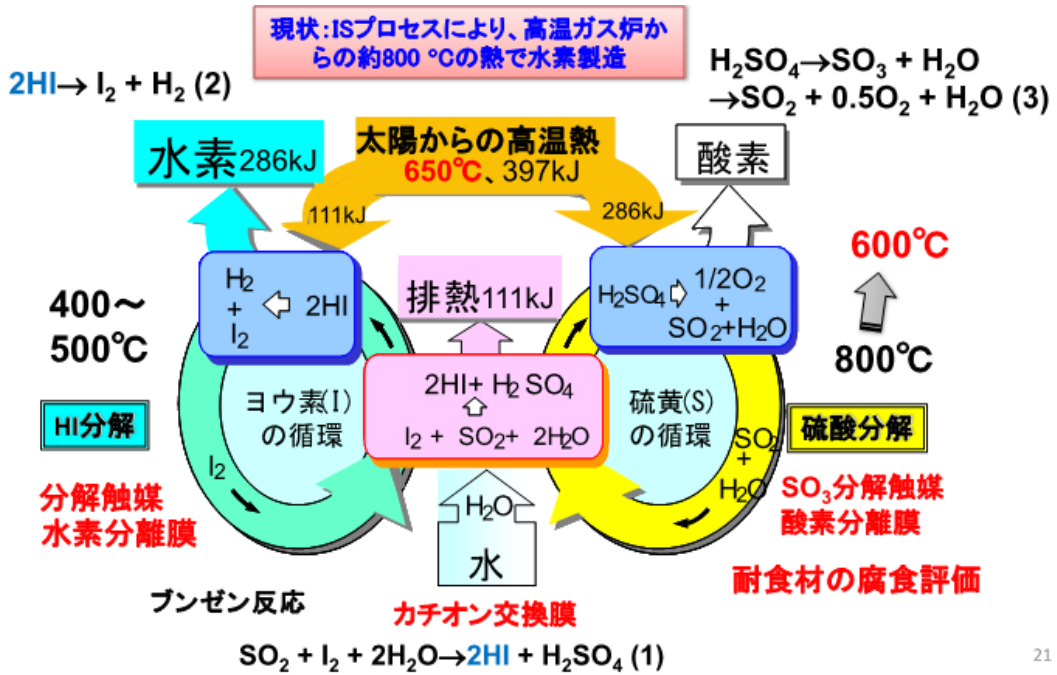
・発電と、水素発生と、低温熱利用とトータルとして高い熱効率を得る構想である。

・一方、大型化が困難で現在実現しているのは 30 万 kW 級までであることや、原子炉の共通課題としての使用済み燃料の処分問題があり、この方式の実現性には課題が残されている。

② IS システム

・この方式は水を高温で直接分解するのではなく、ヨウ素(I)サイクルと硫黄(S)サイクルとに分けて、各々水素と酸素に分離しようというものである。

図.10 ISシステム



21

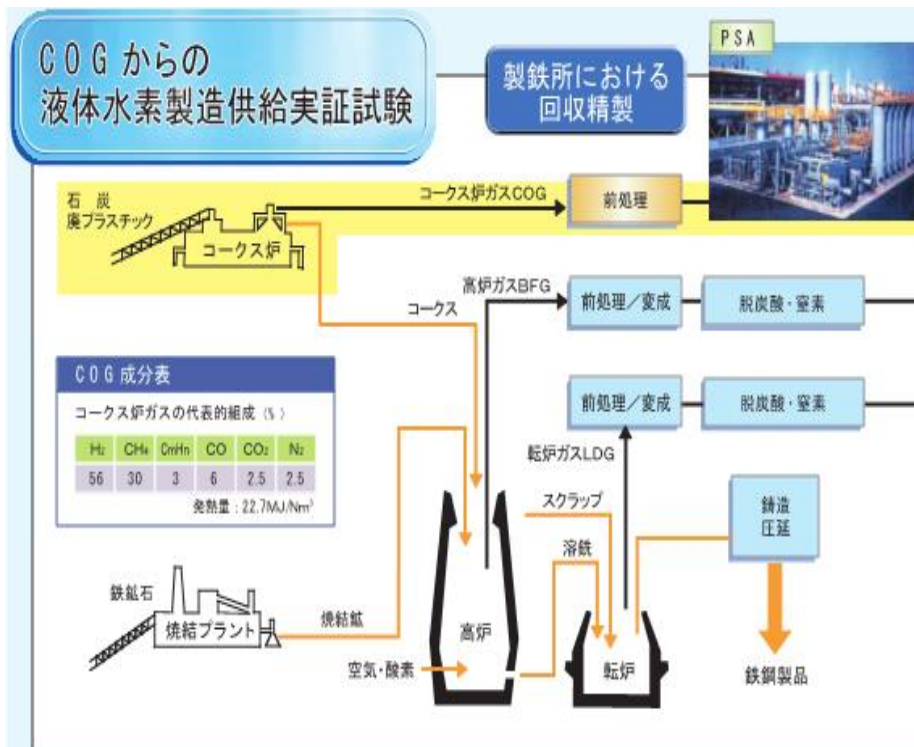
出典:水素社会の実現に向けた方向性/様々な水素製造方法の比較検討(東京農工大 2014)

- ・上記方式よりもやや低い(650°C)環境で行うので、高温ガス炉を使用せずに済み、太陽熱などの利用が考えられる。
- ・ヨウ素(I₂)と二酸化硫黄(SO₂)と水(H₂O)を原料としたサイクルである。ヨウ素サイクルでは、高温状態でヨウ化水素(HI)を生成した後に水素を分離して、ヨウ素は回収される。
- ・硫黄サイクルでは、高温状態で二酸化硫黄と水から硫酸(H₂SO₄)が生成され、その後に酸素(O₂)と二酸化硫黄と水に分解され、酸素を分離して残った二酸化硫黄と水が回収される。
- ・理論上は無駄な生成物がなく良さそうであるが、技術的には研究段階である。

(4) 副生水素

- ・苛性ソーダ(NaOH)やコークス製造の過程で副産物としてできる水素製造法がある。
- ・図.11に示す例は製鉄所でのコークス炉ガスからの水素製造法である。
- ・鉄鉱石から溶鉄を作るには石炭からコークスを作って燃焼させる必要があるが、コークスの製造過程でコークス炉ガス(COG)が発生する。COGの組成中52%程度が水素ガスであるので、分離・精製することで純度を高めた水素ガスが得られる。この方式で副産物として生成されるCO₂は約1kg/Nm³になる。
- ・本方式は広く実用されており、製造コストも低いですが、製造された水素はその大部分を所内で消化される。このため、本格的な水素需要には対応できないと考えられる。

図.11 副生水素方式(製鉄所の例)



出典: NIPPON STEEL MONTHLY 2004.1-2

4. 水素の保管・輸送法

(1) 保管法

① 気体方式:

- ・体積効率を上げるため、20～70MPa に圧縮して保管する方式。
- ・圧縮自体は既存の技術だが、課題としては圧力容器の軽量化、ガス漏れ対策、脆性対策等が挙げられる。

② 液化方式

- ・融点以下に冷却して 800 分の 1 に体積圧縮する方式。
- ・小容積化という点で大きな利点を持ちますが、課題としては -250℃クラスまでの冷却技術、耐圧容器の小型化・軽量化、低温脆性、断熱技術、気化ガスの処理等が挙げられる。

③ 水素吸着方式

- ・水素吸着性物質に吸着して保管する方式で、多くの合金が開発されている。
- ・常温・常圧的な保存のできる点が大きな利点である。
- ・一方、課題としては吸着効率、吸着材のコストや重量等が挙げられる。

④ 化合物方式

- ・MCH など水素を含む化合物に生成して保管し、使用時に水素を分離する方式。
- ・本方式も常温・常圧的保存のできる点が大きな特長である。
- ・課題としては、水素を他の物質と化合させる時と、使用時に分離する処理設備が必要になるのが主な点である。

(2) 輸送法

製造された水素を利用する場所へ輸送する方式は、図.12 に示すように、高压ガス、液体水素、有機ハイドライド、パイプラインの4方式が構想されている。パイプライン方式は従来のガスの配送方式と同様なので、他の3方式について以下述べる。

図.12 水素の輸送方式

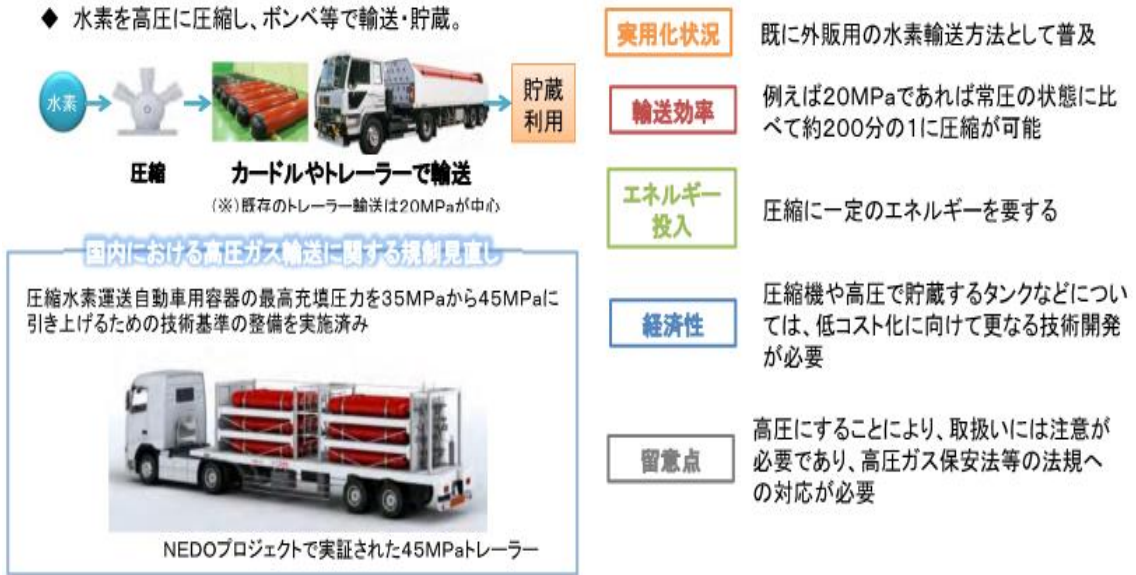


出典:水素の製造、輸送・貯蔵について (資源・エネ庁 2014年)

① 高压ガス方式(図.13)

- ・水素を 20MPa 程度に圧縮して搬送する方式で、既に実用化されている。現在、45MPa までの高压化が実証されており、体積を 1/450 まで圧縮している。
- ・圧縮することによるエネルギーを必要とするが、化学プロセスの装置等は必要としない比較的シンプルなシステムである。
- ・課題としては、システムの低コスト化の他に、高压への安全対策、高压ガス関連の法規への対応などが挙げられる。

図.13 高压ガスによる水素の輸送

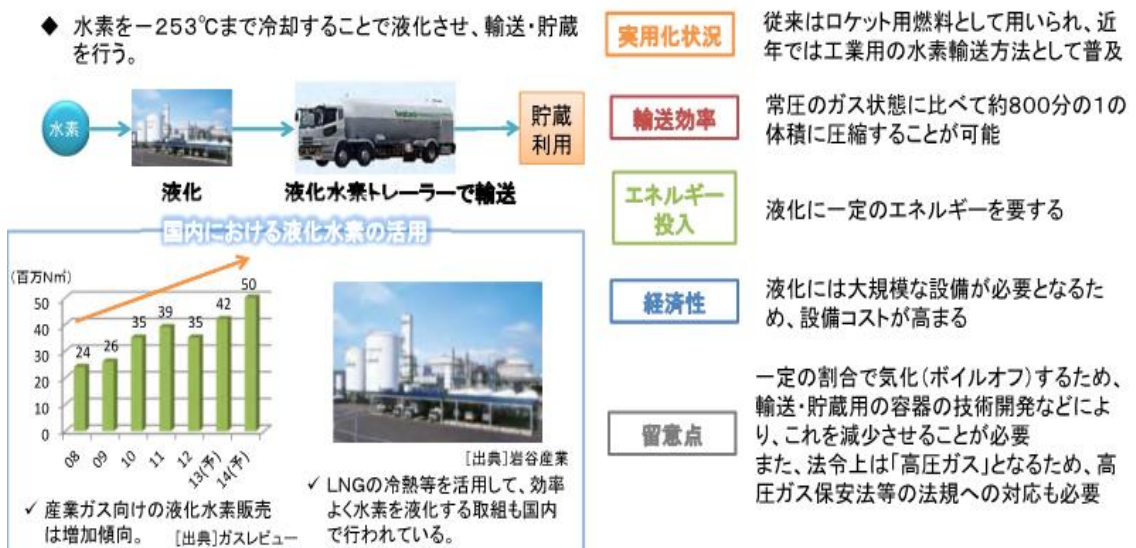


出典: 資源エネルギー庁燃料電池推進室 平成 26 年 4 月

② 液化水素方式(図.14)

- 水素を超低温で液化し、輸送する方式で、ロケット燃料の搬送で実用化されている。
 - 常圧の状態に比べて体積が 1/800 になるのが最大の利点である。
 - 液化にエネルギーを必要とすること、搬送先で気化させるシステムの費用が必要になる。
- また法令上は「高压ガス」の扱いとなるのでその対応などが課題になる。

図.14 液化水素による輸送方式

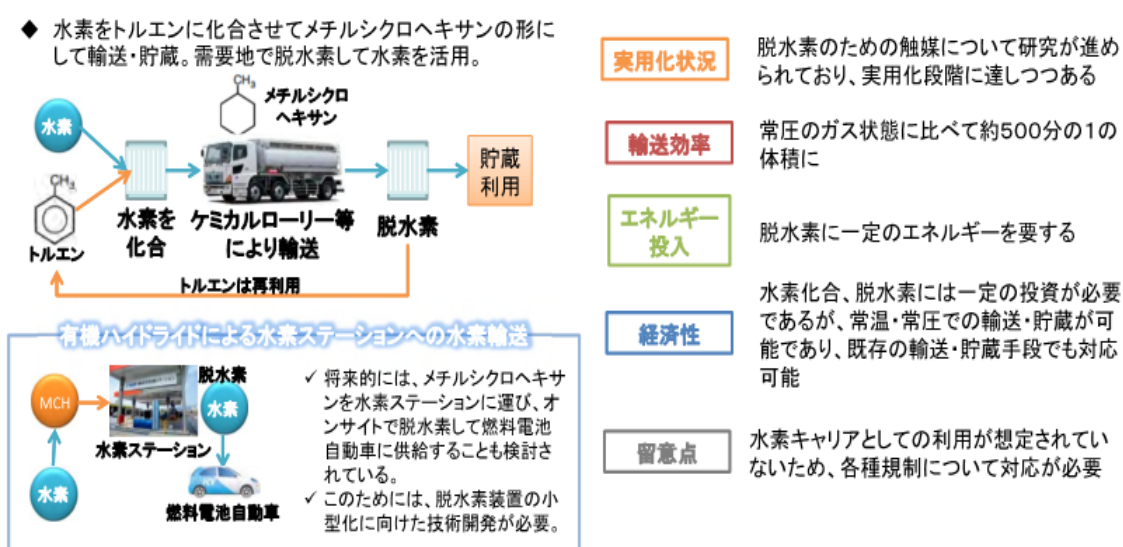


出典: 資源エネルギー庁燃料電池推進室 平成 26 年 4 月

③ 有機ハイドライド方式(図.15)

- ・水素をトルエンと化合してメチシクロヘキサン(MCH)の形で搬送するシステムで、常圧の気体に比べて体積が 1/500 になる。
- ・体積の縮小の上に、常温・常圧で輸送できることから既存のケミカルロータリーを使用できるという大きな利点がある。
- ・水素の化合と搬送先での水素分離のシステムが必要になるのが経済的課題であり、また水素キャリアとして規制が未定のため、今後の規制に対する対応が必要になる。

図.15 有機ハイドライドによる輸送方式



出典:資源エネルギー庁燃料電池推進室 平成 26 年4月

* 水素貯蔵合金について

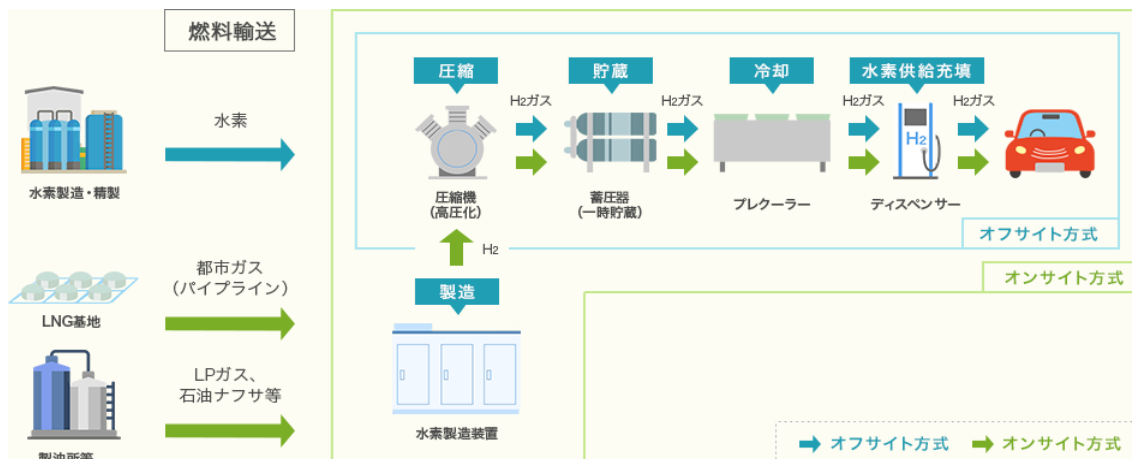
- ・搬送には通常使用されないが、貯蔵の形態として水素を貯蔵する機能を持つ合金を使用する場合がある。
- ・材料はチタン(Ti)、マンガン(Mn)、ニッケル(Ni)等の遷移元素。希土類、ジルコニウム(Zr)等。バナジウム(V)、マグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)等の合金など多数。
- ・有効水素吸蔵量(合金に対する重量パーセント)は Mg 系で約 3、V 系で 1.8~3.0、その他で 1.0~1.7 となる。
- ・本方式の利点は高い充填率(有効吸蔵量が 1~3 重量%)や作動温度が低い(Mg 系の 250~350℃を除き、一般に 0~100℃)、水素の放出時の反応が温和で事故の可能性が低いなどが挙げられる。
- ・課題としては、バナジウム、Mg 系以外は大重量(ガソリン 19L 相当の水素 5kg を吸着する合金の重量は 200~600kg)であること。また、吸蔵と放出の過程での熱反応、水素脆化、合金材料の高価格などが挙げられる。

(3) 水素ステーション(図.16)

気体または液体水素を貯蔵・調圧してディスペンサーを通して FCV や FC バスに供給するシステムである。

水素社会では将来ガソリンスタンドに代わることを目標にしているが、水素の取扱いは温度、圧力とも安全性の確保の点でコスト高になる。

図. 16 水素ステーション(HS)の構成



出典: [充電スポット/水素ステーション | クリーンエネルギー自動車 AtoZ \(cev-pc.or.jp\)](http://www.atoz.jp/)

5. 水素の最終利用形態

(1) 燃料電池(表.1)

・使用する電解質によりアルカリ型(AFC)、固体高分子型(PEFC)、リン酸型(PAFC)、溶融炭酸塩型(MCFC)、個体酸化物型(SOFC)などに分類される。

・AFCは純水素を燃料として発電効率が70%と高く、宇宙開発など特殊用途に使われる。

・PEFCは作動温度が120℃以下と低く、小型で家庭用や車載用に使用される。

・他の方式もそれぞれ特徴があり、大規模事業用、非常用などに広く応用されている。

種類	アルカリ型(AFC)	固体高分子型(PEFC)	リン酸型(PAFC)	溶融炭酸塩型(MCFC)	個体酸化物型(SOFC)
電解質	水酸化カリウム水溶液	陽イオン交換膜	リン酸	リチウム・カリウム炭酸塩	セラミック
作動温度	50~150℃	80~120℃	190~200℃	600~700℃	600~1000℃
使用可能燃料	純水素	都市ガス、LPガス、石油、メタノール、石炭ガス、純水素など			
主な用途	宇宙など特殊用途	小型家庭用、車載用、携帯・可搬用	産業・業務用、事業用、非常電源用	産業・業務用、事業用、非常電源用	小型家庭用、可搬用、事業用
発電効率	70%	33~44%	39~46%	44~66%	44~72%

表.1 各種燃料電池方式の比較

出典: 日本電機工業会

(2) 民生分野(図.17)

- ・民生分野で「エネファーム」の呼び名で実用化されているシステムであり、都市ガスなどを改質して水素を製造し、燃料電池として作用させ、発生した電気と熱を使用する。
- ・電気は自家消化と売電、熱は温水製造と、両方利用するメリットがあり、太陽光発電などより高能率と言われている。価格は 200 万円以上だが補助金(燃料電池の形式によって異なる)があり、家庭用に普及が始まっている。
- ・課題としては、短寿命(約 10 年)や保守費用の必要などが挙げられる。

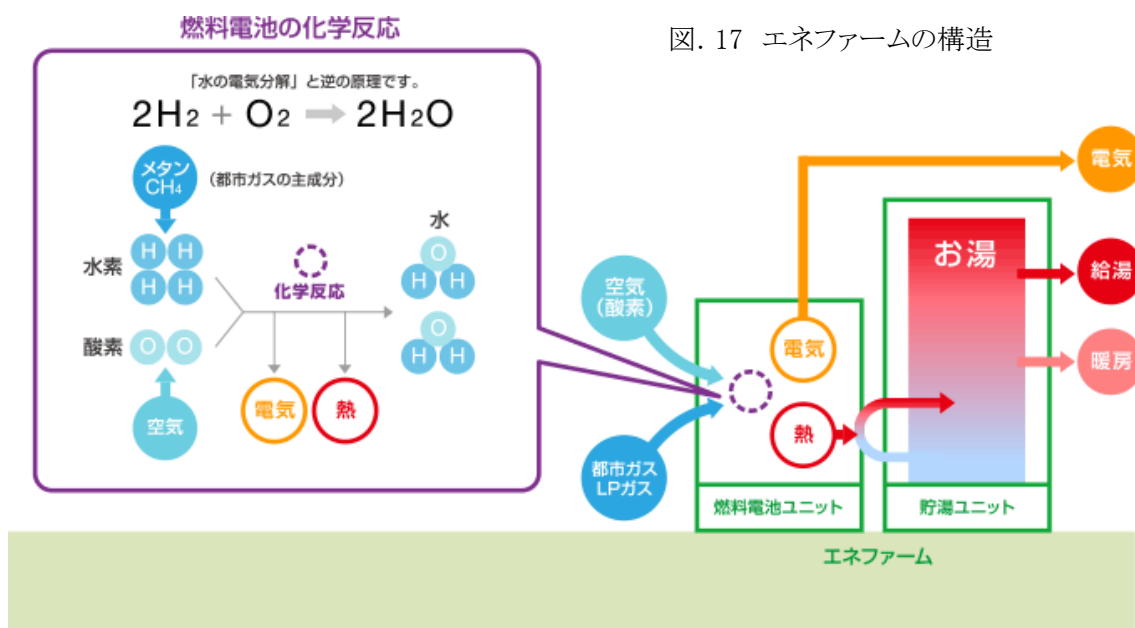


図. 17 エネファームの構造

※暖房使用時など、付属のガス給湯器でお湯をつくることもあります。

出典：(社)日本ガス協会 HP

(3) 発電分野:ガスタービン

- ・水素のみでの燃焼(専焼)型と従来燃料に混ぜる混焼型があり、現在、神戸で混焼および 1MW 級の専焼タービンの実績がある。
- ・水素燃焼でタービンの特長は、燃焼の高温・高圧化による熱効率の向上である。
- ・課題としては、燃焼器やタービンの耐熱性や NO₂ 対策、水素燃焼時の逆火対策等が挙げられる。
- ・また、石炭をガス化して燃焼させタービンを回して発電するとともに、単に燃焼で終了するのではなく、排熱でボイラーを回して発電する高効率のコンバインドサイクルも開発されている(IGCC:石炭ガス化複合発電)。

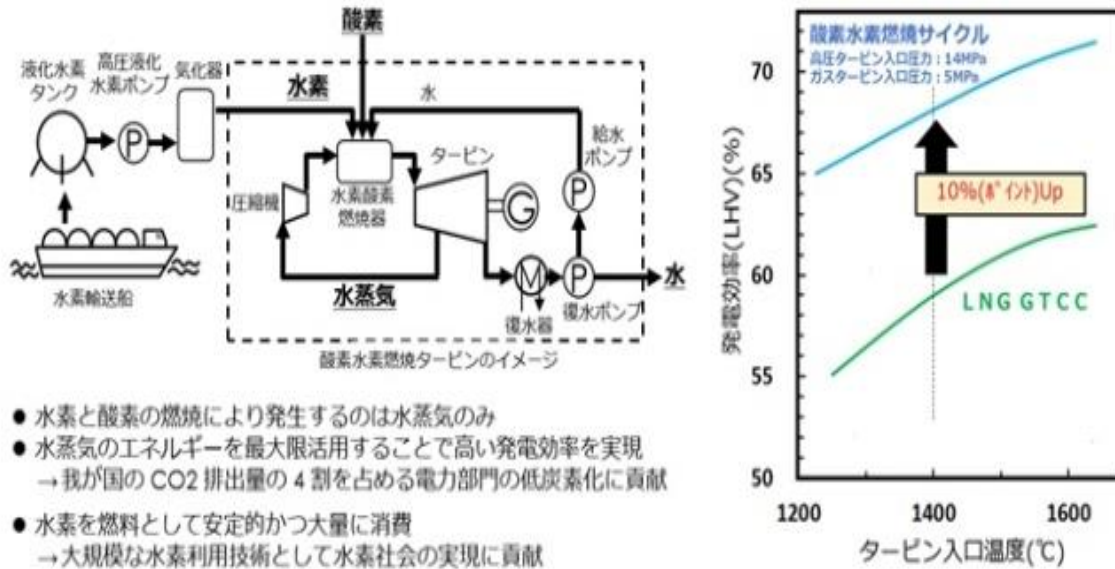
① 水素専焼型(図.18)

- ・水素と酸素の燃焼により、発生するのは水蒸気だけのシステムで、高い発電効率で、日本

の CO₂ の発生の 4 割を占める電力部門の脱炭素化に大きな貢献が可能になる。

・なお、混焼型は水素と他の燃料を混合して燃焼室に投入するか、別個に投入する方式である。

図. 18 専焼型水素タービンの構成と発電効率の向上



- 水素と酸素の燃焼により発生するのは水蒸気のみ
- 水蒸気のエネルギーを最大限活用することで高い発電効率を実現
→我が国の CO₂ 排出量の 4 割を占める電力部門の低炭素化に貢献
- 水素を燃料として安定的かつ大量に消費
→大規模な水素利用技術として水素社会の実現に貢献

出典: 結言の後に表記

② IGCC (Integrated Coal Gasification Combined Cycle)

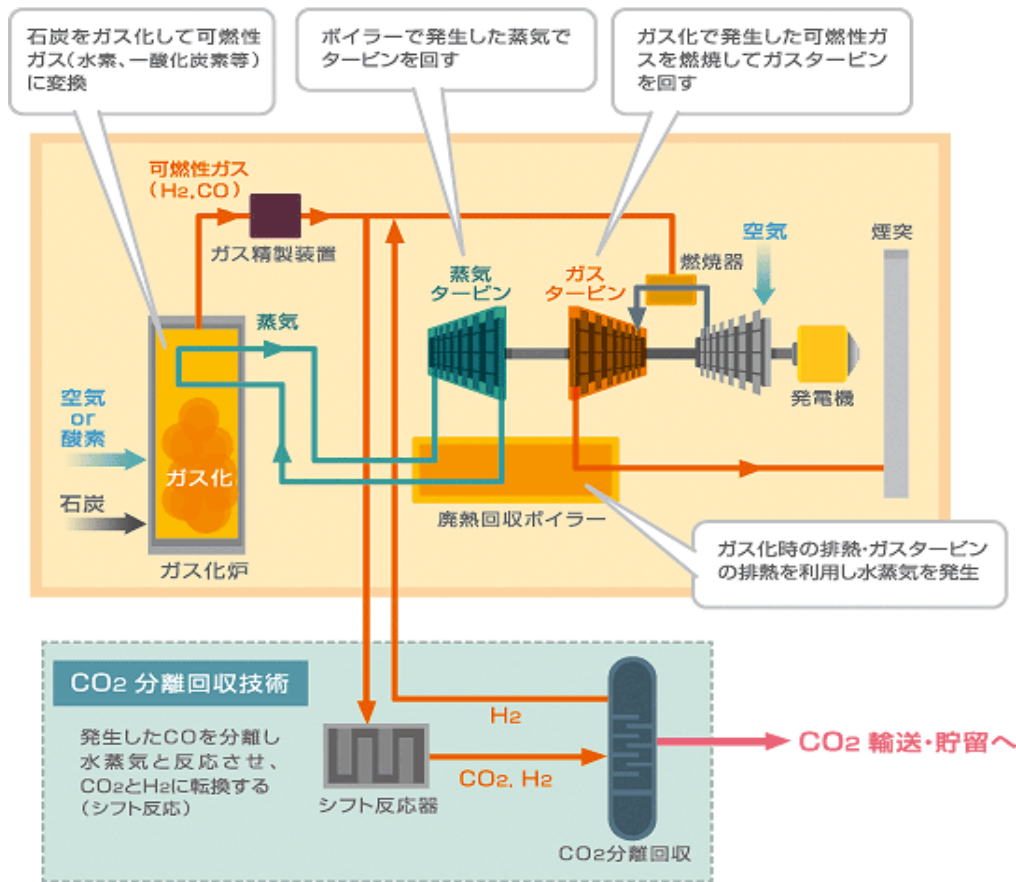
・石炭ガス化混合発電の意で、石炭を燃やして直接ボイラーを動かすのではなく、ガス化炉で可燃ガス化して、ガスタービンを使って発電する方式である。

・同時に、ガスタービンの排熱を利用してボイラーを動かし、蒸気タービンでも発電するコンバインドサイクルを活用することで、さらに効率を上げる。また、CO₂ を燃焼前に分離回収することにより、さらに CO₂ 排出量を削減できる。

・実証実験機が、福島県いわき市の勿来(なこそ)発電所で稼働中で、商用化段階でのエネルギー効率は 48～50%程度が見込まれている。

・IGCC の構造を図.19に示す。

図.19 IGCC の構造



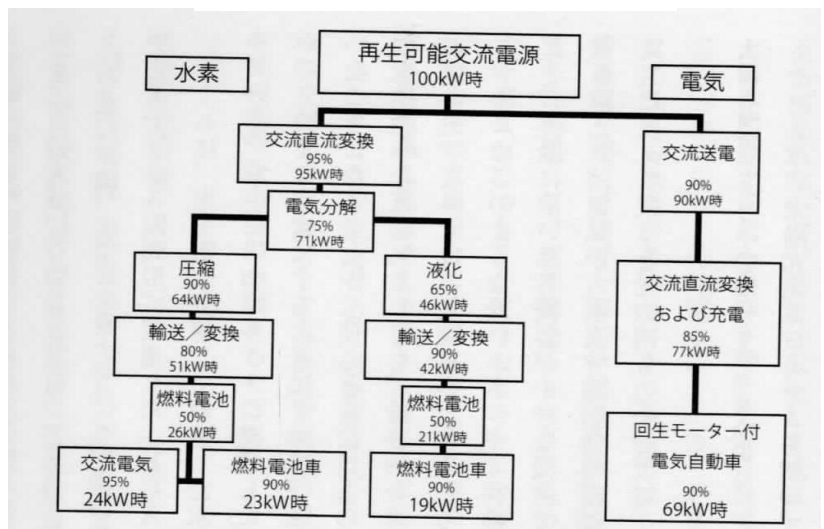
出典:TECH MAP 第 183 回 進化する石炭火力発電 ~環境にやさしい IGCC, IGFC~ | テクの雑学 | TDK Techno Magazine

6. 経済性・実用性

・石油や石炭はそのまま燃焼してエネルギーが取り出せる「1次エネルギー」であるが、水素は何らかの加工をして得られる「2次エネルギー」(製造方法によっては3次エネルギー)という本質的な弱点がある。

・さらに、利用法による変換効率のロスが発生する。例えば、図.20 に示すように、交流電源から充電して走行する電気自動車の効率は約 70%になる

図.20 水素利用時の効率



出典 : Ulf Bossel 2005

が、いったん水素に変換して燃料電池車が走行する場合は、中の変換効率が影響して約 20% になってしまう。

(1) FCV(燃料電池自動車)の効率と経済性

- FCV の価格は現在約 700 万円で国産の高級車並み(補助は最大 225 万円)である。
- HS(水素ステーション)の設置費は約 5 億円で現在のガソリンスタンドの約 6~8 倍であるが、EV 向けの給電ステーションは急速充電でも約 1 千万円で設置可能である。
- EV の短所である充電時間と航続距離以外は FCV のメリットは少ないと思われる。路線バスやフォークリフトのような移動経路や領域が確定しているものは、電池交換方式で充電時間の短所を解決することにより、EV の方がコスト的に優れていると評価される。
- また、エンジン車と同等の航続距離を持つ FCV のタンク容量を計算すると、単位重量当たりの発熱量から、水素はガソリンの 1/3 の重量で済むことになる。これを比重から容積に直すと、水素は液化した場合でも 4.7 倍の容量が必要となり、実際には断熱材などを考えると、より大きなタンクを必要とするであろう。

* 上記の試算内容

同じ熱量を発生するタンク容量(熱発生から動力伝達までの効率を等しいと仮定)

①発熱量からの比較:ガソリン 47.3MJ/kg、水素 141.8MJ/kg

⇒ $47.3/141.8 \approx 1/3$ の重量で良い。

②容量換算:ガソリン比重 0.75 から 1.33L/kg。

水素比重から $0.089\text{kg}/\text{Nm}^3 \Rightarrow 11236\text{L}/\text{kg}$ (気体)⇒ $14\text{L}/\text{kg}$ (液体)

③必要容量: $14/3 \approx 4.7$ 倍の容量が必要

(2) 水素製造コスト

•本プロジェクトの目標は 30 円/ Nm^3 である。大量の自家製造・消費の場合は約 10 円/ Nm^3 、容器で外販の場合は 100~200 円/ Nm^3 が可能との指摘もあり、一般に、副生水素は安いと言われるが、自己消費が大半であり、大量消費の時代に対応できる製造方式で

水素源	水素コスト (円/ Nm^3)	コスト前提 *1
苛性ソーダ電解副生水素	20	電解工場の未処理卸売り価格
コークス炉ガス(水素含有率57%)	16~21	今回試算ベース PSAにより精製し、99.99%水素とする。
液体水素コシテ輸入(Montreal~Vancouver経由)	93	40ftコシテ3本/月輸入 液体水素2.7ton/本 現地液水価格30円/ Nm^3
天然ガス水蒸気改質	23.8	稼働率:90% 天然ガス価格:26円/ Nm^3
ナフサ水蒸気改質	19.9	稼働率:91.3% ナフサ価格:30円/ Nm^3
メタノール水蒸気改質	30.2	稼働率:91.3% メタノール価格:30円/ Nm^3
プロパン水蒸気改質	29.8	稼働率:91.3% プロパン価格:30円/ Nm^3
石炭部分酸化	36.3	稼働率:90% テキサコ法 石炭価格:7000円/ton

*1:規模は液水25ton/日(≈11,600 Nm^3 /h)規模と設定。

表.2 コスト比較例 1

はありえない。

・複数のコスト計算例があるが、相当のばらつきがある。表.2、3 に 2 例のコスト計算を示す。各々、計算の前提条件

など明確でないものが多く、開発中の技術による希望的な数値の表記もあるようで、参考程度に考えた方がよさそうと思われる。

・因みに国の目標値 30 円/Nm³は、同じ走行距離を得るガソリン 1L 分の容積相当では、 $0.75/3=0.25\text{kg}\Rightarrow 250\text{g}/(89\text{g}/\text{Nm}^3)=2.81\text{Nm}^3\Rightarrow 84$ 円 となり、ガソリン 1L の値段と競争できると言える。

・数字だけを見ると目標コストが実現するかにも見える、ランニングコスト以外の諸経費が含まれていないものもあり、副製品の処理費用なども含めると表以上の価格になるものと思われる。

出典：NEDO WE-NET 第 II 期研究開発タスク 1「システム評価に対する調査・研究」平成 12 年度成果報告書

		製造コスト (円/Nm ³)	備考
副生水素	苛性ソーダ	20	・各種資料からの引用であり、詳細は不明
	鉄鋼	24~32	・各種資料から12~20円/Nm ³ ・「水素社会における水素供給者のビジネスモデルと石油産業の位置付けに関する調査報告書」、石油産業活性化センター、平成15年)では16.3円/Nm ³ であるが、最新のエネルギー価格に基づく28.1円/Nm ³ となり、上記の価格に比べ12円の上昇
	石油化学	20	・各種資料からの引用であり、詳細は不明。
目的生産 (既存設備)	石油精製	23~37	・各種資料から10~24円/Nm ³ ・「水素社会における水素供給者のビジネスモデルと石油産業の位置付けに関する調査報告書」、石油産業活性化センター、平成15年)では11.1円/Nm ³ であるが、最新のエネルギー価格に基づく23.7円/Nm ³ となり、上記の価格に比べ13円の上昇。
	アンモニア	N.A.	
目的生産 (新規設備)	化石燃料等改質	31~58 (※)ランニングのみ	・改質器の設備費等は含まない。 ・改質効率を70%と想定。 ・都市ガス(工業・商業用)1.7円/MJ、A重油1.4円/MJ、LPG2.9円/MJ、ナフサ1.8円/MJ ・PSA用電力は0.33kWh/Nm ³ -H ₂ 。2012年の電力平均単価16.5円/kWh
	水電解	84(系統電力) 76~136 (風力~太陽光)	・電解装置の設備費等は含まない。 ・電解効率を70%と想定。 ・系統電力は2012年の伝よく平均単価16.5円/kWh ・調達価格算定委員会資料に基づき、風力発電は30万円/kWh、太陽光は10kW以上を29万円/kWh、10kW未満を38.5万円/kWhとし、コスト等検証委員会の手法により発電単価をそれぞれ14.9円/kWh、23.6円/kWh、26.8円/kWh ・発電サイトでの電解を想定していることから、送電コストは含まない。

(※)過去の各種調査より抜粋しており、必ずしも同じ前提にしたがって計算されたものではない。
また、電力料金、化石燃料価格等の上昇等に伴い、現在、コストが高くなっているものもあると想定される

出典：水素・燃料電池戦略協議会資料

16

表.3 コスト比較例 2

出典：水素・燃料電池戦略協議会資料

7. 結言

- 1) 水素への期待:化石燃料の枯渇・地球温暖化防止に対するエネルギー源としての水素は、資源として豊富なことやクリーン性からその候補になりうると思われる。
- 2) 水素利用への課題:水素本体はクリーンでも、以下のような課題がある。
 - ・製造時に CO₂をはじめとする副生産物が発生する場合はその処理が必要になる。
 - ・貯蔵・運搬では超低温、高圧、漏れやすさなどに対する技術開発および安全対策が必要

で、研究レベルの段階にあるものが多い。

・水素は本質的に 2 次エネルギーであるほかに、製造・貯蔵・搬送・利用の各段階において化石燃料系よりコスト高になる可能性が高い。

3) 水素利用の方針

・今後はクリーンなエネルギー源が強く求められることになりが、水素はクリーンだからといって、高コストゆえに適用領域・対象が制限される。水素に適した使い方を探っていくべきである。

・クリーン性を強調した水素製造： 製造は副生成物を出さない方式にする（ソーラー発電など再生エネルギーを使用した電気分解法、高温水蒸気分解法など）で生成する。ただし、高温状態を作るのに原子炉を利用するのは放射性廃棄物や廃炉などトータルとしてのリスクコストを考慮してやめるべきと考える。

・クリーン性の高い利用法： 風力発電等の再生エネルギー発電の短所は一定の出力の維持が困難であることである。出力の余裕時の電力で水素を製造・貯蔵し、出力低下時に水素発電をして平準化する方式は開発の価値があるであろう。

・従来方式の効率化の利用法： エネファームや水素混焼タービン、IGCC などは水素のみの方式ではないが、システムの効率を上げると共に、生成 CO₂ の削減にも有効である。このような利用法はベストではなくともベターであり、いろいろ工夫されるべきである。

・適用を検討すべき利用法： 水素利用の主目的の一つとして FCV があるが、最大の特長である EV に対して航続距離の優位が挙げられる。しかし前述したとおり、コストや安全性から一般の乗用車に使う必然性は低いと思われる（水素で走らせるのにこだわるのであれば、効率からは燃料電池ではなく、水素燃焼エンジン方式がましかもしれない）。クリーンエネルギーといえども安全性、経済性とのバランスをとった利用法を検討すべきと考える。

以上

* 図.18 の出展：

<https://www.bing.com/images/search?q=%e6%b0%b4%e7%b4%a0+%e7%87%83%e7%84%bc+%e3%82%bf%e3%83%bc%e3%83%93%e3%83%b3+bing+images&qpvrt=%e6%b0%b4%e7%b4%a0%e7%87%83%e7%84%bc%e3%82%bf%e3%83%bc%e3%83%93%e3%83%b3%e3%80%80bing.com%2fimages&form=IGRE&first=1&tsc=ImageBasicHover>

素人の食料自給試案

松久寛

はじめに

日本の食料自給率（カロリーベース）は38%（2019年）である。いつでも必要な食料が輸入できれば問題はないともいえる。しかし、2020年のコロナ禍で、一部の国に穀物輸出禁止の動きがあった。これから、気候変動などで世界的な凶作が起こらないとも限らない。自然災害や戦争も発生する。すると、生産が低下し、価格の高騰と輸出制限がかかる。また、戦争で海運が止まる可能性もある。

日本のように国土が狭く人口の多い国にとっては、食料自給は無理だと諦めている人が大半である。しかし、日本のみならずどこの国にとっても食料自給は最大の安全保障である。現に先進国は自給しているか、輸入が止まってもなんとかやっていける自給率を確保している。そこで、日本の食料自給プランを議論のたたき台として提案してみる。なお、人口の減少も重要な要素であるので、10年後の人口を想定したプランである。ただし、現在の農業は農業機械、化学肥料、農薬など化石燃料に依存したものである。化石燃料が高騰や枯渇すれば、農業の姿自体が変化するが、ここでは、化石燃料は現在と同じようにあるものとする。

1. 食料自給率

日本の自給率は、1939年86%⁽¹⁾、1946年88%⁽¹⁾、1960年79%⁽²⁾、1965年73%⁽²⁾、2010年39%⁽²⁾、2019年38%⁽²⁾で、この10年ほどは40%を切った状態である。なお、江戸時代は鎖国をしていたので100%であり、化石燃料を使わない場合の自給は江戸末期の人口3300万人が限界ともいえる。明治以降は台湾、朝鮮、満州などからの輸入（移入）があり、本土の自給率としては80-90%⁽¹⁾である。戦後すぐにはおおいに困窮し、空地のみならず、図1に示すように国会議事堂前の広場までイモ畑にした。

注：(1) 出展：全国農業共済協会防風林（2019年8月3週号）「戦前戦後の食料自給率」

注：(2) 出典：農林水産省



図1 戦後の国会議事堂前のイモ畑

出典：毎日新聞 写真特集 戦時下の「食」（2008年8月掲載）

<https://mainichi.jp/graphs/20161129/hpj/00m/040/>

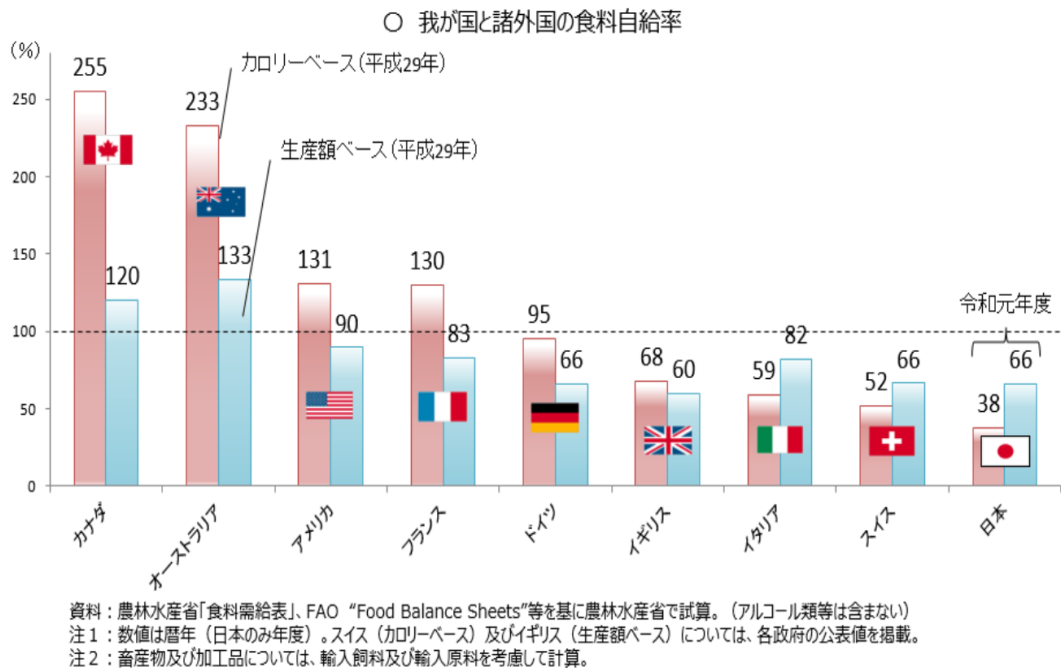


図2 世界の食料自給率

出典：世界の食料自給率、農林水産省 https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/013.html

海外の自給率を図2に示す。カナダ、オーストラリア、アメリカ、フランスはカロリーベースで100%を超えている。また、ドイツは95%、イギリスは68%で、これらの国は工夫次第で自給は可能になるであろう。しかし、日本は38%で、自給には程遠い。

戦後、いわゆるグリーン革命で世界の穀物生産は図3に示すように数倍になった。これは、高収量品種の導入や化学肥料の大量投入による。なお、高収量品種は害虫などに弱いので、多くの農薬を必要とする場合が多い。また、機械化によって、人手が削減された。これらは、いずれも化石燃料から成り立っている。

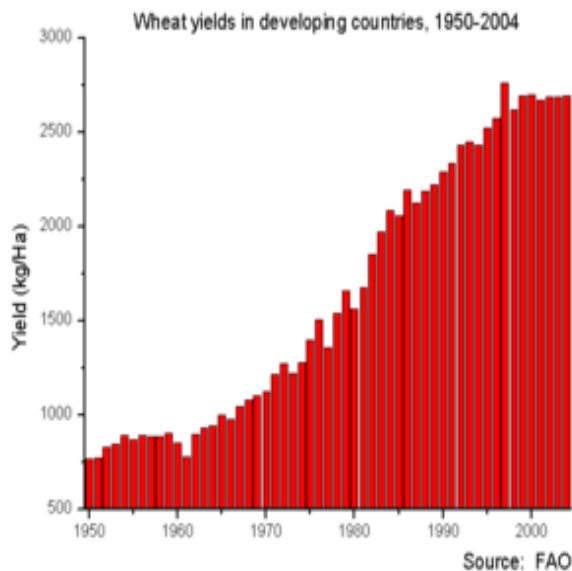


図3 発展途上国の小麦の単位面積あたり収量

出典：緑の革命 - Wikipedia

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%B7%91%E3%81%AE%E9%9D%A9%E5%91%BD>

日本においても、図4に示すように水稻の単収（面積当たりの収穫量）は増加してきた。明治初期には200 kg/反（一反は約1000m²、0.1ヘクタール）であったのが、戦前には300kg/反を超えるようになり、現在は500kg/反を超えている。これは、灌漑、品種改良、農薬、化学肥料によるものである。また、作付面積は、太平洋戦争の時を除き1930年ごろまでは増加していた。これは、開墾による農地面積の増加と稲の品種改良による寒冷地での栽培が可能になったことによる。しかし、1970年以降は米離れなどで減少している。その結果、収穫量は1400万トンから800万トンに減少している。

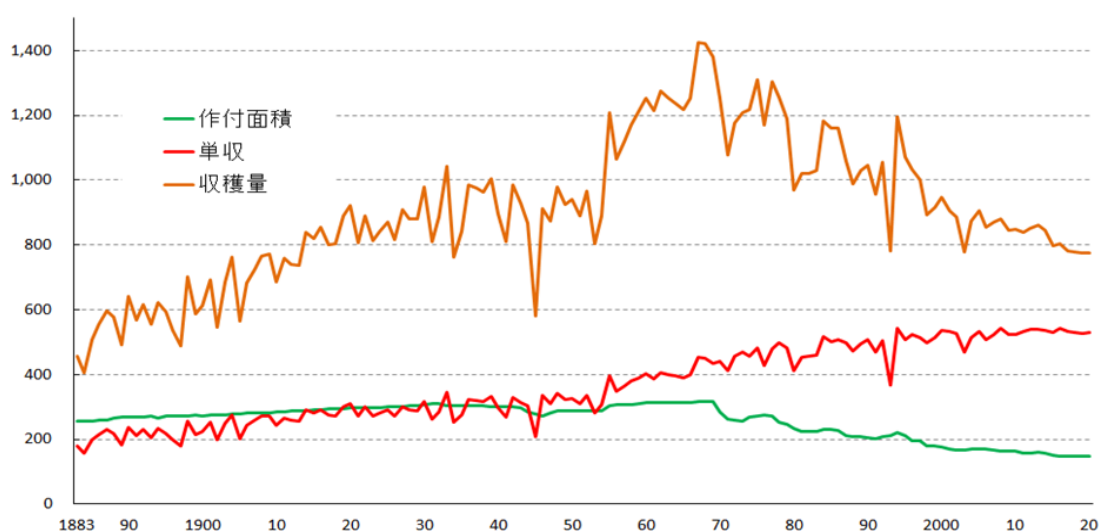


図4 水稻の収穫量、単収、作付け面積の推移

出典： 中田哲也、ウェブサイト「フード・マイレージ資料室」主宰 <https://food-mileage.jp/>
 基礎資料： 農林水産省「作物統計」

3. 食料自給試算

現在38%の自給率を100%にすることは、ほとんど不可能である。しかし、現在のコロナウィルスのワクチンをみても、世界的にひっ迫すれば、輸入に頼ることはできない。そこで、無理を承知で10年後の自給案を提示してみる。

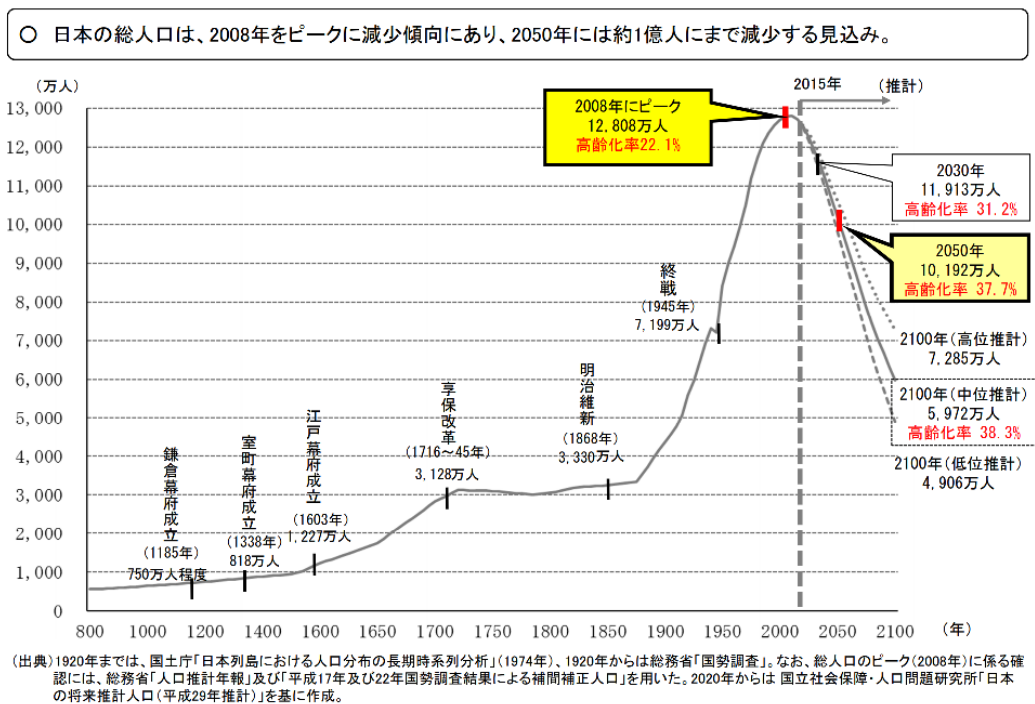
まず、食料自給を考えるにあたっては、人口を考える必要がある。図5に国土交通省の人口予測を示す。人口は減少し続けており、2100年には6000万人になると予想されている。今の食料生産が維持されるとすると、79%の自給率になる。しかし、これから79年間も待っておられないし、それまでにいろいろなことが起こるであろう。よって、たとえば、10年後に自給という目標をもって改革をしていく必要がある。

2031年には、図5より現在の92%の11,800万人になると推定される。すると、自給するには、食料生産量を今の2.49倍にせねばならない。すなわち149%

を積み増す必要がある。そこで、可能な策を列挙し、149%増を試みる。具体案を下に記す。

- ①食品ロス削減 +37.5%
- ②耕作放棄地の利用 +9.6%
- ③空地・庭・ゴルフ場での耕作 +10%
- ④二毛作 +34%、
- ⑤単位面積当たりの収量の多い米に変換 +12.5%、
- ⑥芋の増産 +20%、
- ⑦肉食の削減 +25.4%、

計+149%、これで10年後の2031年には自給率は100%となる。つぎに、各項目の詳細を述べる。



2

図5. 日本の人口推移

出典：国土交通省、「国土の長期展望」中間とりまとめ、参考資料 図1-1

<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001365995.pdf>

3.1 食品ロスの削減

日本の食品廃棄物の発生状況を図6に示す。ここで、食用仕向量は8088万トン、廃棄量は2759万トンで、食しているのは5329万トンである。なお、この表は2016年のものであり、2017年には、廃棄物が2550万トン、食品ロス量が612万トンになり、廃棄量は減少しているが、分母となる食用仕向量が不明のために、

ここでは2016年を使用して論じる。食品廃棄物2759万トンは仕向量8088万トンの34.1%である。また、売れ残りや食べ残しの食品ロス量643万トンは仕向量の8.0%である。食品廃棄物は工夫次第で食用に回すことができる。さらに、農家での廃棄もある。そこで、それらを加えて2000万トンを食用にまわすと7329万トンになり、現在の食用の5329万トンから42.9%増になる。

また、別の視点からみると、一人あたりの供給熱量は2443kcal(2019年版、農林水産省、食料自給率及び食料自給力の検証)、摂取カロリー1903kcal(2019年版、厚生労働省、国民健康・栄養調査結果の概要)であるが、この差の28%が食品廃棄量または食品ロスと考えられる。

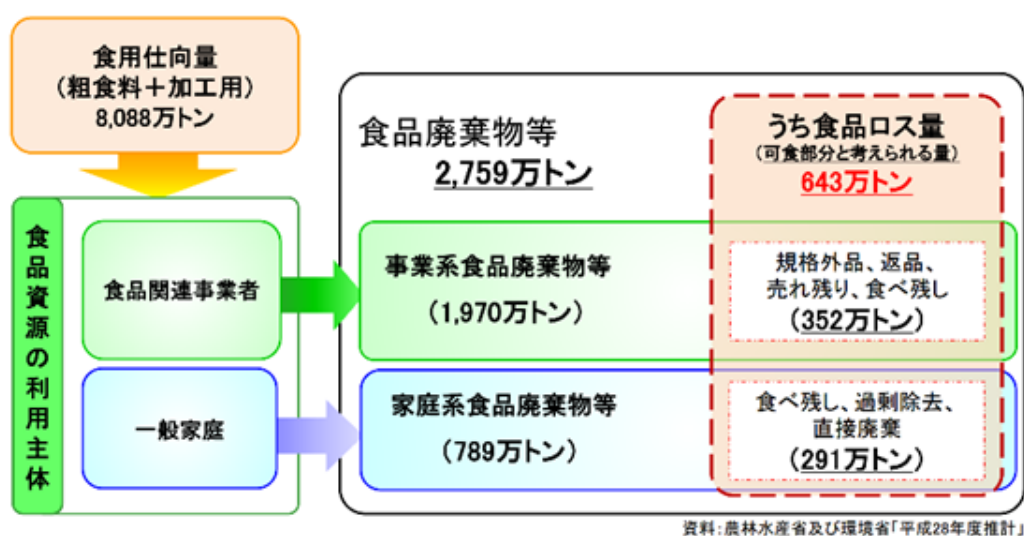


図6 食品廃棄物の発生状況

出典: 消費者庁 https://www.env.go.jp/recycle/H28_flow.pdf

3.2 耕作放棄地の利用

1960年以降の農業就業人口と農地面積の推移を図7に示す。



図7 農業就業人口と農地面積の推移

出典: 農林中金 Agriweb(アグリウェブ)、<https://www.agriweb.jp/knowledge/1229.html>

2019年における我が国の農地面積は439.7万haで、ピーク時（1961年）の608.6万haから58年間で169万ha減少した。農地面積の減少要因は、非農業用途（宅地等、工場用地、道路鉄道用地等）への転用と耕作放棄（荒廃農地）が大部分を占めてきたが、2013年以降は耕作放棄（荒廃農地）が最大の要因となっている。荒廃農地（調査員が状態を見て判断、客観ベース）の面積は、2015年には28万4千ha、耕作放棄地（農家等の意思で判断、主観ベース）の面積は、同年には42万3千haである。また、荒廃農地面積のうち再生利用可能なものが12万4千ha(43.7%)、再生利用が困難と見込まれるものが16万ha(56.3%)である。（以上、農林中金 AgriweB(アグリウェブ)

<https://www.agriweb.jp/knowledge/1229.html> より)

農地の一部は再生利用が困難とのことだが、必要になれば耕作放棄地のすべてが再生利用は可能である。すると、農地面積を9.6%増やすことができる。

3.3 空地・庭・ゴルフ場での耕作

戦後すぐの食料難のときには、国会議事堂前広場をはじめ、空地、庭などが畑にされた。また、ゴルフ場の総面積は27万haであり、農地面積の6.1%である。これらをすべて利用すると農地面積を10%ぐらい増やすことが可能である。

3.4 二毛作

耕地面積と耕地利用率の推移を図8に示す。1960年（昭和35年）の耕地利用率は134%である。この100%を超えた分は冬季の麦などの二毛作による。北海道などの寒冷地では、冬季の耕作は無理であるが、関東以西では、二毛作が可能である。沖縄では、米の二期作も可能である。そこで、34%増が可能と考える。なお、麦などの裏作では米に比べると収量は減るが、耕作放棄地でも二毛作をすると収量は増える。

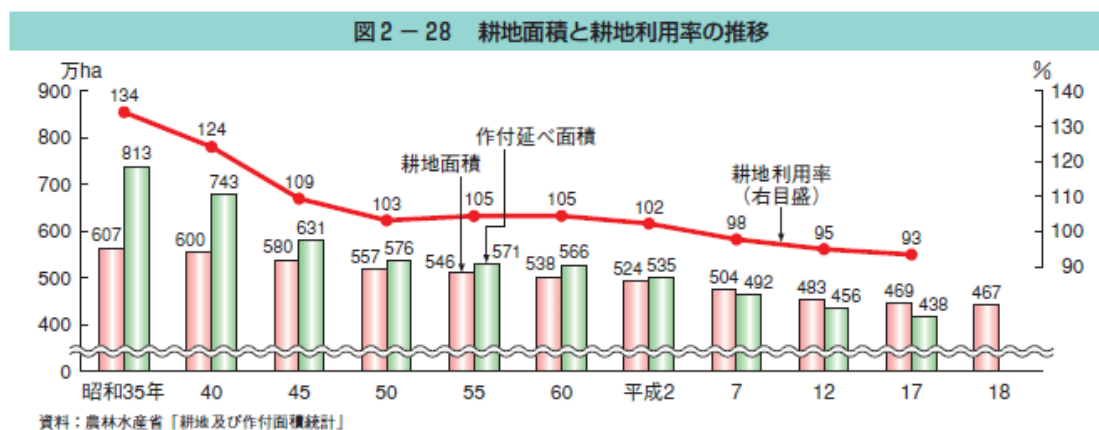
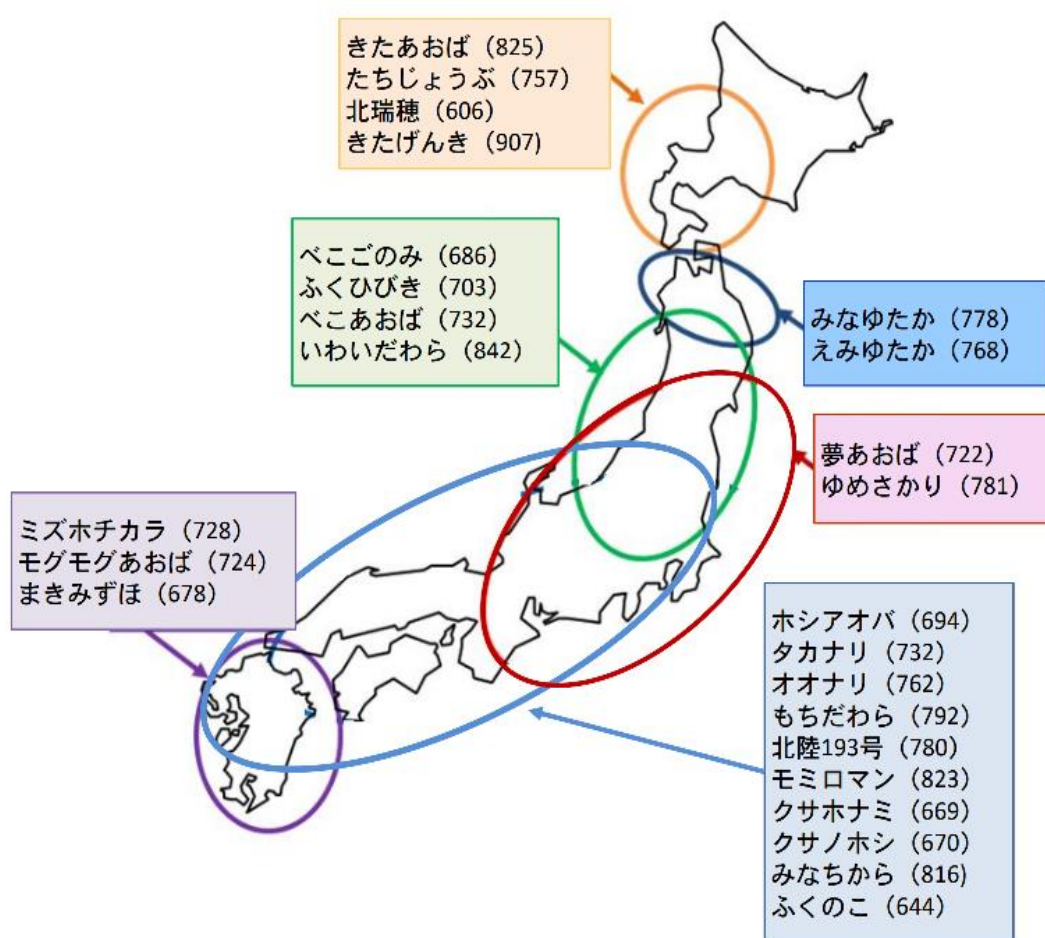


図8 耕地面積と耕地利用率の推移

出典：農林水産省 https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h18_h/trend/1/t1_2_2_03.html

3.5 単位面積当たりの収量の多い米に変換

現在は、コシヒカリなどのおいしい米が主として栽培されている。その単収は530kg/反ぐらいである。しかし、米には単収の大きな多くの品種がある。その一例を図9に示す。これらの単収は、ばらつきがあるが750kg/反ぐらいである。これらの米は飼料用として用いられている。しかし、みつひかりという品種は単収が750kg/反であり、味もよく牛丼のチェーン店でも使われている。これらは、味、種の価格、必要とする肥料の量など、考慮すべき要素はたくさんある。3割をこれらの品種に変更すると、総収量は12.5%増となる。



【注】()の数値は研究期間における実証単収の一例で、単位はkg/10a

図9 多収量米

出典：農林水産省多収品種に取り組むに当たって－多収品種の栽培マニュアル－

3.6 芋の増産

表1に、さつまいも、じゃがいも、とうもろこし、小麦、大麦、大豆、水稻の単収とカロリーを示す。水稻に比べた面積あたりのカロリーは、さつまいもで1.63倍、じゃがいもで1.25倍になる。すなわち、食料の増産をはかるには、米よりいもである。そこで、新たな畑はもちろんのこと、水田の一部をいも畑にすれば、食料として20%の増産は得られる。

表1 食品の面積あたりの収量と熱量

出典：(1) 農林水産省 食料自給率及び食料自給力の検証(34頁、H30の数値) 令和元年11月
https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/kikaku/bukai/attach/pdf/kikaku_1112-11.pdf
 (2) 農林水産省、大豆関連データ集
https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/d_data/attach/pdf/index-45.pdf

	①収量 ton/ha	②カロリー kcal/kg	②カロリー ①x② kcal/ha	③対米カロリ ー比
さつまいも	22.96 ⁽¹⁾	1,320	30,310,000	1.63
じゃがいも	30.53 ⁽¹⁾	760	23,200,000	1.25
とうもろこし	10	920	9,200,000	0.49
小麦	3.99 ⁽¹⁾	3,370	13,450,000	0.72
大麦	3	3,400	10,200,000	0.73
大豆	1.52 ⁽²⁾	4,200	6,384,000	0.43
水稻	5.32 ⁽¹⁾	3,500	18,590,000	1

3.7 肉食の削減

表2に戦前と2006年の食の比較を示す。戦前は米といもが中心の食事であった。戦後はそれらが6割に減少し、肉が13倍、卵が7.6倍、牛乳・乳製品が28倍、魚介が3.4倍と増加した。

ところで、肉を飼料の穀物の関係であるが、「肉専用種牛は体重1kg増やすのに約10~11kgの飼料を必要とするのに、豚はその約3分の1の3~4kg、ブロイラーは約5分の1の2.2~2.3kgで体重を1kg増やすことができます。ただし、牛肉を例にとれば体重650kgの肉牛から体重の約3割の202kgの精肉しか取れません。豚肉の場合は牛よりも歩留率が高いのですが、それでも体重110kgの肉豚から体重の5割弱の47kgの精肉しか取ることができません。」(以上、熊本県畜産広場 <http://kumamoto.lin.gr.jp/i-menu.html>より)と論じている。また、肉のカロリーであるが、部位によって大いに異なるが、大きな割合を占めるもも肉では、2000kcal/kgぐらいである。また、牛

乳・乳製品の1kgを作るのに肉と同様に5kgいるとする。これらを考慮して、すべてを平均して肉1kgは穀物5kgに相当するとする。

家畜に与える穀物は輸入にたよっているが、飼料の輸入を減らすことは、自給率を高めることになる。たとえば、肉類と牛乳・乳製品を半分にすれば、食料を45.3%上げることができる。この計算の仮定は、肉類1が穀物5に相当するとしている。すなわち、肉類の摂取を76.7gから半分の38.35g、牛乳・乳製品を252.6gから半分の126.3gにすると穀物の輸入を5倍の823.25g削減することができる。肉類と牛乳・乳製品の削減が、一番効果的な食料自給への道である。

ここで、表2は重量ベースであり、食料自給率はカロリーベースであるが、簡略化のために両者は同じとして考える。また、野菜のカロリーはほぼないので、表2から除外すると、一日の摂取量は939gになる。自給率を38%とすると輸入は582.18gとなる。ここで、肉類と牛乳・乳製品の消費を57.5g減らすと、穀物輸入を197g減らすことになり、それは自給率を25.4%上げるのに相当する。肉類と牛乳・乳製品の合計は329.3gで、この57.5gは17.5%であり、難

表2 食の戦前との比較 (一人一日あたり、g)

出典：亭主の寸話24 『自給率40%の食事2』 <http://www7b.biglobe.ne.jp/~rakusyotei/sawakai24.html>

ただし、(1)の出展は：厚生労働省、令和元年 国民健康・栄養調査結果の概要

<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000687163.pdf>

	戦前	2006年	比
穀類	432	258.1	0.60
米	370	167.1	0.45
小麦	23	87.1	3.79
イモ類	106	63.2	0.60
野菜	192	259.7	1.35
果物	42	107.9	2.57
肉類	6	76.7	12.78
鶏卵	6	45.5	7.58
牛乳・乳製品	9	252.6	28.07
魚介類	26	95.3	3.42
油脂類	3	39.7	13.23
熱量	2020kcal	1903kcal ⁽¹⁾	0.94
蛋白質	60	71.4 ⁽¹⁾	1.16
脂質	19	61.3 ⁽¹⁾	3.11

しい数字ではない。なお、この 24.5% という数字は食料自給率を 100% にするために逆算したものである。もちろん、表 2 の重量はカロリーは異なり、各食品の単位重量あたりのカロリーは異なる。しかし、ここでは簡略化のため、それらを含めて、肉類を 1 減らせば穀物を 5 増やせるとしている。

ところで、豚と鶏の飼料は穀物で人間と競合するので、それらを減らせば、自給率は高まる。しかし、牛は草を食べるので、人間と競合しないと考えられるが、草を育てるには土地が必要であり、その土地が人間食料生産と競合する。

なお、魚介類であるが、養殖の魚に関しては、牛や豚と同様に、多くの餌としての魚が必要である。すなわち、1 の鯛を育てるには、10 の鯛が必要である。また、遠い所の魚を捕るには大量の燃料が必要である。

3.8 献立

図 10 に農林水産省が描いた食料自給での献立を示す。耕作地は荒廃農地を加えたものである。同図の A, B は主食として米、小麦、大豆を中心としたものであるが、これでは十分なカロリーを賄えない。同図の C はいも類が中心の献立であるが、これでカロリーは賄える。白飯は 1 日に茶碗 1 杯だけである。焼き魚がついている。また、牛乳は 5 日にコップ 1 杯、卵は 36 日に 1 個、肉は 13 日に 100 グラムである。戦前はこのような食事であったのではないか。また、私 (1947 年生まれ) の子どものころの食事は、白米は食べていたが、牛乳、卵、肉はほとんどなかった。病気になれば牛乳が飲めて、ハレの日には牛肉のすき焼きをした。



図 10 食料自給での食卓

出典：農林水産省 食料自給率及び食料自給力の検証

https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/kikaku/bukai/attach/pdf/kikaku_1112-11.pdf

4. 化石燃料と水

本論で食料自給策を述べたが、これは、化石燃料が現在と同様に使えるという前提での話である。化石燃料が高騰や枯渇したら、食料生産量は40%になるとか、10%になるとか諸説ある。結論は江戸時代の生産量になるであろう。何も江戸時代の技術が劣っていたわけではない。化石燃料を使わない状態での技術である。すなわち、3300万人分の粗食である。日本の人口は現在12500万人で2100年には6000万人になるが、同じ傾向なら2200年には3000万人になるであろう。しかし、残存化石燃料は100年分以下である。

石油の輸入が急に減少するとどうなるかの実例はある。1991年のソ連の崩壊時のキューバである。キューバの石油輸入は半減した。さらに、化学肥料、農薬、食料の輸入も大幅に減少した。そこでのキーワードは、都市農業、有機農業、トラクターから牛へなどである。また、ソ連自体は、社会は混乱したが、住民の90%ぐらいがダーチャと呼ばれる600平方メートルの菜園を郊外に持っており、ジャガイモなどを栽培している。そこで、最低限の食料が確保されたのである。各自が自分の食料を生産するのが、レジリエントな社会への道であろう。

バーチャルウォーターという概念がある。これは、輸入食料をつくるのに必要な水である。たとえば、米1kgを作るには3.6トンの水が必要である。小麦1kgには2.0トン、大豆1kgには2.5トン、牛肉1kgには20.6トン、豚肉1kgには5.9トンが必要である（以上の出展、Wikipedia 仮想水）。これらを国内で生産するには、土地だけではなく水も必要である。

現在の水利はポンプで動いているが、化石燃料がなくなれば人力や畜力で動かさねばならない。私が小学生のころには（1955年ごろ、大阪市）、田に水を入れるのに踏車を使い、牛で耕していた。それらの写真を図11、12に示す。



図11 踏車

出典：Wikipedia、踏車



牛による耕起作業

昭和30年頃 岩手県胆沢郡小山村（現奥州市） 村上高男氏撮影

図12 牛耕

出典：奥州市博物館 第25回企画展「耕す一犁を引く」

牛や馬を農家に一頭ずつになるように増やすのにどれだけの年月がかかるか想像がつかない。また、農業人口も何倍にもせねばならない。

おわりに

食料自給への道は、農地を増やし、主食を芋にし、食肉を減らすことで可能であろう。しかし、化石燃料の減少まで考慮すると、その道は途方もなく遠い。結局、江戸時代の 3300 万人が限界かもしれない。いずれにせよ、何が起ころっても、ひとりでも多くの人が生きれるように準備せねばならない。

以上、机上の空論と言われるかもしれないが、具体的な策を議論の俎上に載せたいので、あえて 100% 自給のための数字を入れてみた。