

宇宙でのその場資源利用(ISRU)と 水素エネルギー社会構築活動の接点

小林 弘明

探査の将来についての私見

Moon Village

「月や火星に人類社会を作る事を想定し、大きなコンセプトや課題の抽出およびアプローチの方法などについて議論をするプラットフォームを作りたい」

そもそも、なぜ宇宙での恒久的活動拠点を考えるのか？

- 宇宙環境での長期にわたる研究の拠点到。
- 宇宙での有用な資源や生命探しの基地に。
- 宇宙旅行の拠点ホテルに。
- 人間の活動領域拡大は宿命である。

探査の将来についての私見

民族移動や移民のモチベーション

①気候変動への対応

②敵からの逃亡

人口爆発やエネルギー問題: 切羽詰まるほどの状況にはなっていない。代替手段や対策有。

宇宙はサハラ砂漠や南極より過酷、逃亡先として不適切。

いずれ地球はなくなる。宇宙もなくなるらしいが…

人間は、存亡の危機においては何でもやるが、切羽つもらないと頑張らない。

③利益の追求

資源の採掘損益分岐点の問題

→ 採掘が難しければ資源ではない。

④流刑

科学者の基地とする。例えば宇宙研や天文台が月に移転。

月基地に赴任したい人間: 100~200人くらいはいるはず。

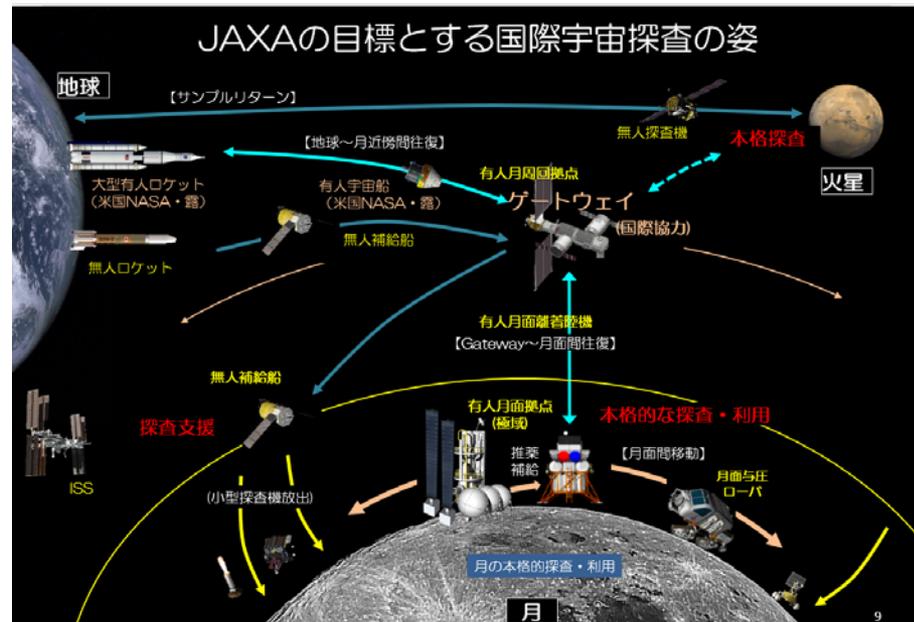
Luna cityは、しばらく無理だが、moon villageは可能性あり。

探査のベース基地として想定されている「月」

現在、月は、国際宇宙探査の拠点として期待されている。

- ・持続的な探査には、資源の現地調達と、エネルギーの貯蔵が必要。
- ・地球から補給し続けることはコストがかかりすぎる(1000億/ton~)。
- ・太陽光発電が利用できない越夜(2週間)の活動源をどうするか？
- ・原子力という手もあるが、日本としては避けたい(と思う)し、現地調達ができない。

課題 月の「その場資源利用ISRU」で、エネルギーを貯蔵することは可能か？



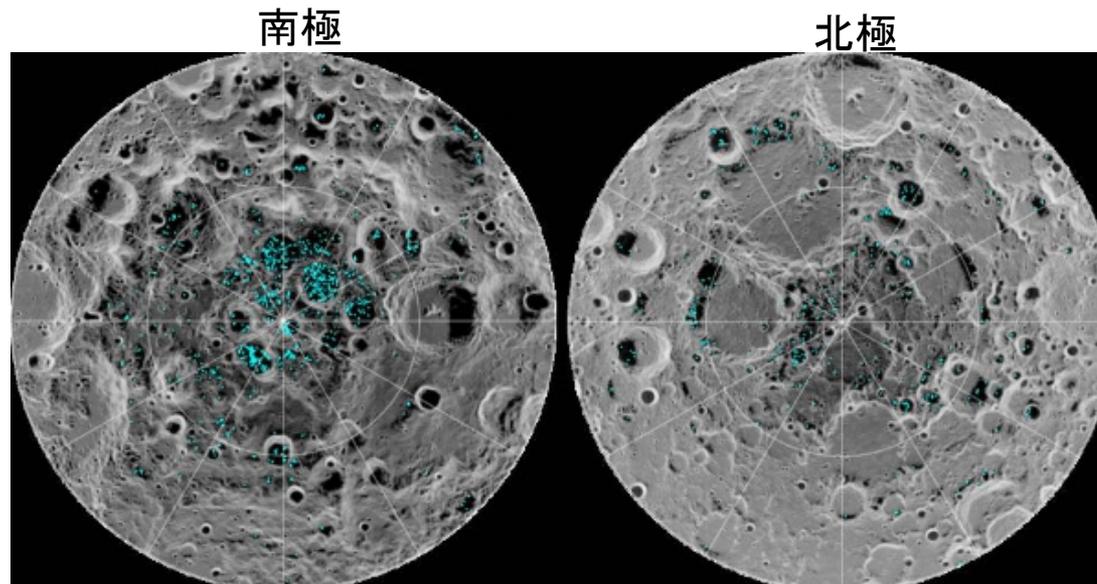
JAXA国際宇宙探査グループ資料

探査のベース基地として想定されている「月」

- 月面の温度環境 中低緯度地域は昼間120°C 夜間-200°C
- 表面物質(レゴリス)は金属酸化物 (酸素43%、ケイ素21%、アルミ10%、鉄9%、Ca 9%、)
- 含まれる鉱物としては、イルメナイト(FeTiO_3)、灰長石($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)など。
- 酸素は、酸化物の形で豊富にあるが、還元を行うための水素、水素化合物が少ない。
- 炭素もほとんどない。

しかし…

- NASA月面鉱物観測機がとらえた月の南極と北極に分布する氷
- クレーターの底の永久影に集中。



探査のベース基地として想定されている「月」

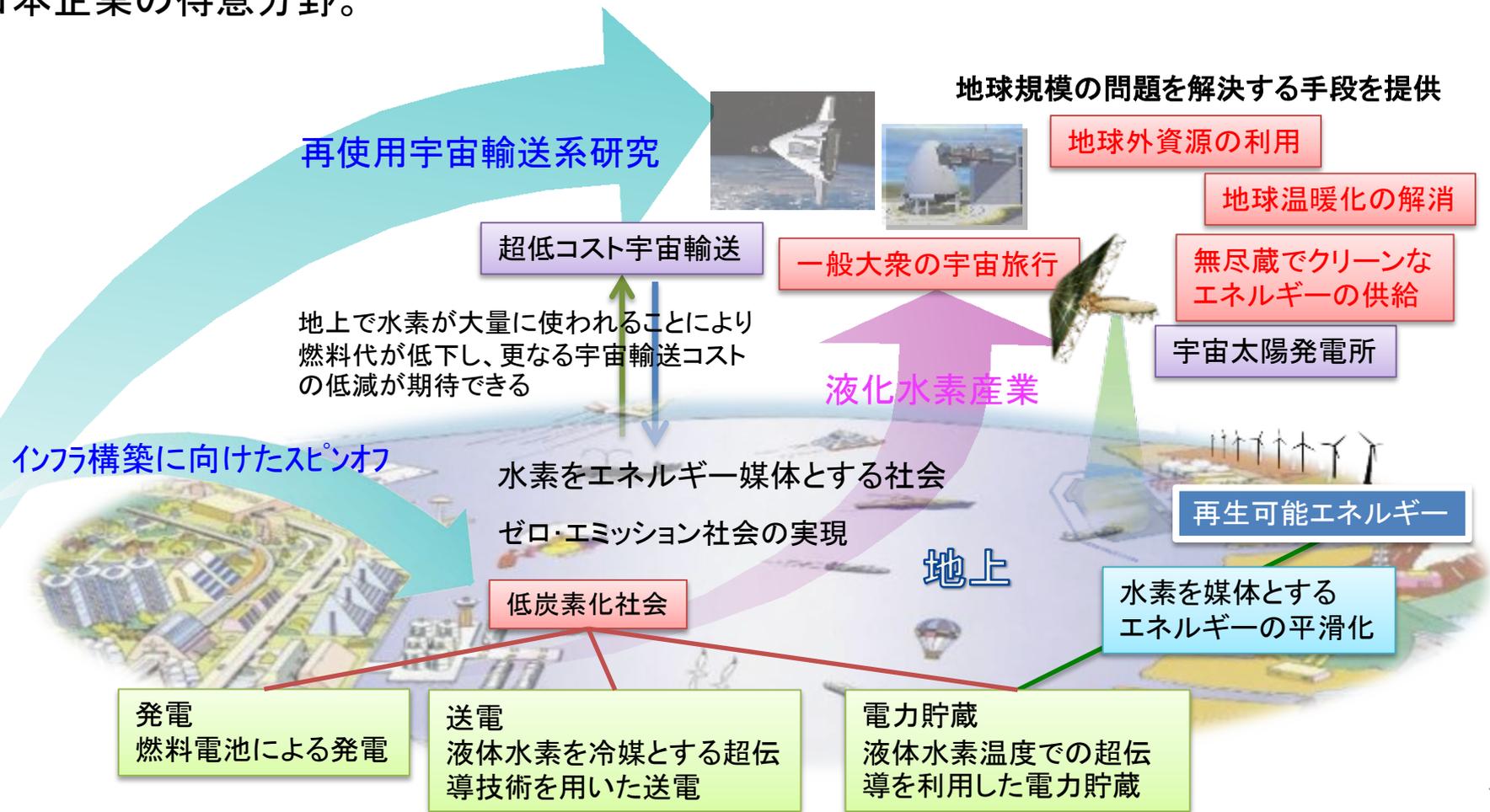
月では、水資源採掘の見込みが出てきたことにより、エネルギーキャリアとしての水素が注目されつつある。

エネルギーとなる資源と、キャリア(媒体)の選定

- 資源:水 ←現地調達できる
- エネルギーキャリア:水素・酸素 ←現地製造できる
- 貯蔵方法:液化し、金属酸化物で製造した容器に貯蔵 ←現地製造できる
- 必要機器:水電解・液化装置 ←これは地球から運ぶ

探査のベース基地として想定されている「月」

- 月では、水資源採掘の見込みが出てきたことにより、エネルギーキャリアとしての水素が注目されつつある。
- 日本が国策として推進する、「水素社会」との接点がある。
- 日本企業の得意分野。



再使用宇宙輸送系研究

超低コスト宇宙輸送

地上で水素が大量に使われることにより
燃料代が低下し、更なる宇宙輸送コスト
の低減が期待できる

インフラ構築に向けたスピノフ

水素をエネルギー媒体とする社会
ゼロ・エミッション社会の実現

地上

低炭素化社会

液化水素産業

一般大衆の宇宙旅行

地球規模の問題を解決する手段を提供

地球外資源の利用

地球温暖化の解消

無尽蔵でクリーンな
エネルギーの供給

宇宙太陽発電所

再生可能エネルギー

水素を媒体とする
エネルギーの平滑化

発電
燃料電池による発電

送電
液体水素を冷媒とする超伝
導技術を用いた送電

電力貯蔵
液体水素温度での超伝
導を利用した電力貯蔵

日本の水素社会実現戦略の経緯

なぜ、日本は世界に先駆けて水素社会を実現しようとしているのか？

二つの目的

①エネルギー自給率の向上

第1次石油ショック(1973年)を契機に、石油代替エネルギー開発の一環として、水素エネルギー技術開発が1974年より開始された。

②地球温暖化の防止

気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書(1997年)を契機に、温室効果ガスの中で、最も大きな割合を占める二酸化炭素の排出を抑制する「低炭素:カーボンフリー社会」を構築するための活動が本格化した。

2. 水素の意義と重要性

(1) 供給・調達先の多様化による調達・供給リスクの根本的低減

➢ 水素は、**再エネ含め多様なエネルギー源からの製造・貯蔵・運搬が可能**。特定のエネルギー源に依存しない多様な構造に変革。

(2) 電力、運輸、熱・産業プロセスのあらゆる分野の低炭素化

➢ 水素は利用時にCO₂を排出しない。製造段階でのCCSや再エネの活用で、**トータルでCO₂フリー**のエネルギー源に。
➢ 燃料または燃料電池との組合せであらゆる分野での究極的な低炭素化が可能。

(3) 3E+Sの観点からの意義

➢ **水素社会の実現は手段**。水素社会を実現することで3E+Sの達成を目指す。

(4) 世界へ先駆けたイノベーションへの挑戦を通じた国際社会への貢献

➢ **日本の水素技術を海外展開**し、世界の低炭素化を日本がリード。

(5) 産業振興・競争力強化

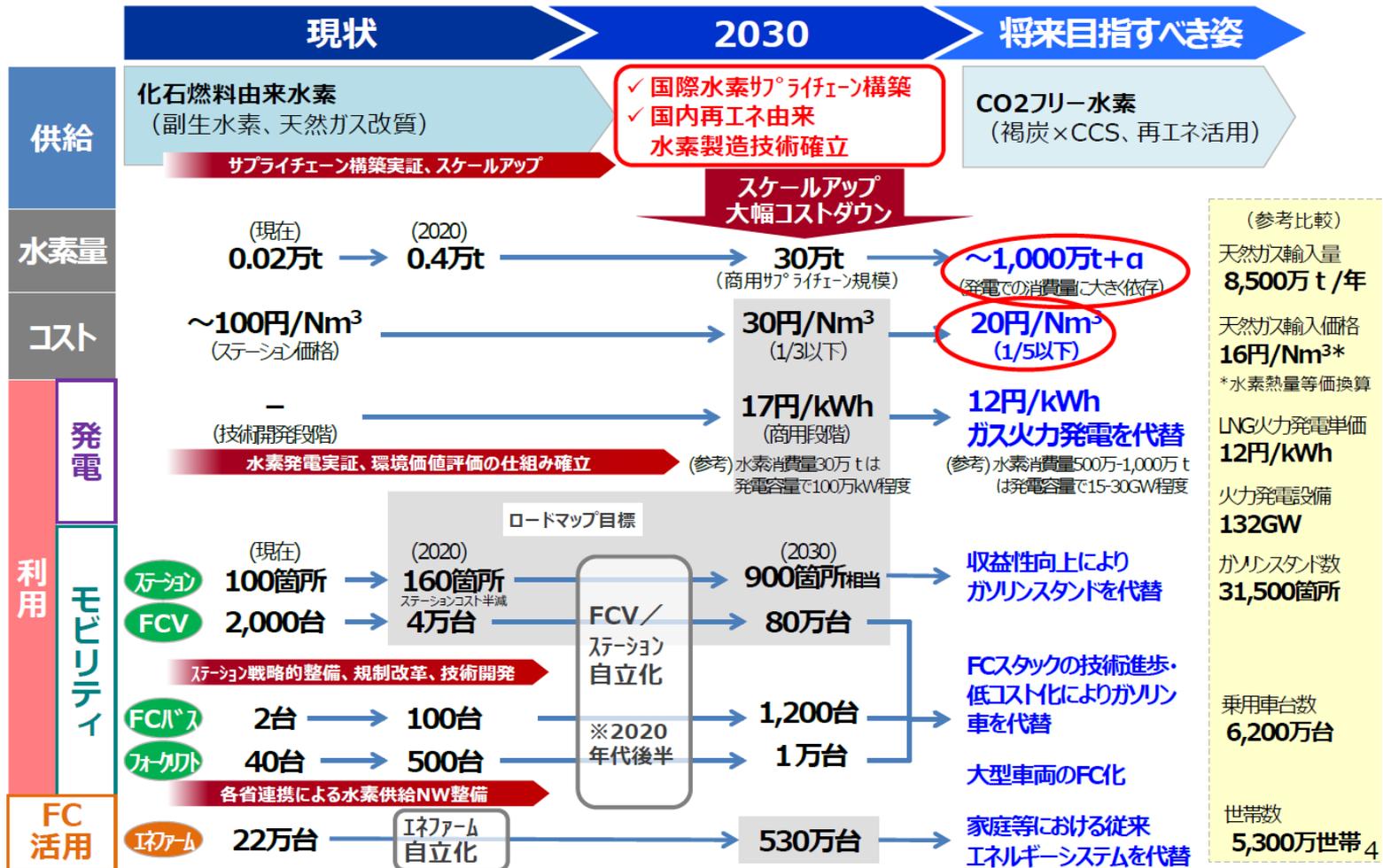
➢ 日本の水素・燃料電池技術は世界最高水準。国内外での積極展開により、**新たな成長産業の一つ**に。

(6) 諸外国における水素の取組を先導

➢ グローバルな動向を常に把握し、**日本が世界の水素社会実現のトップリーダー**に。

日本の水素社会実現戦略の経緯

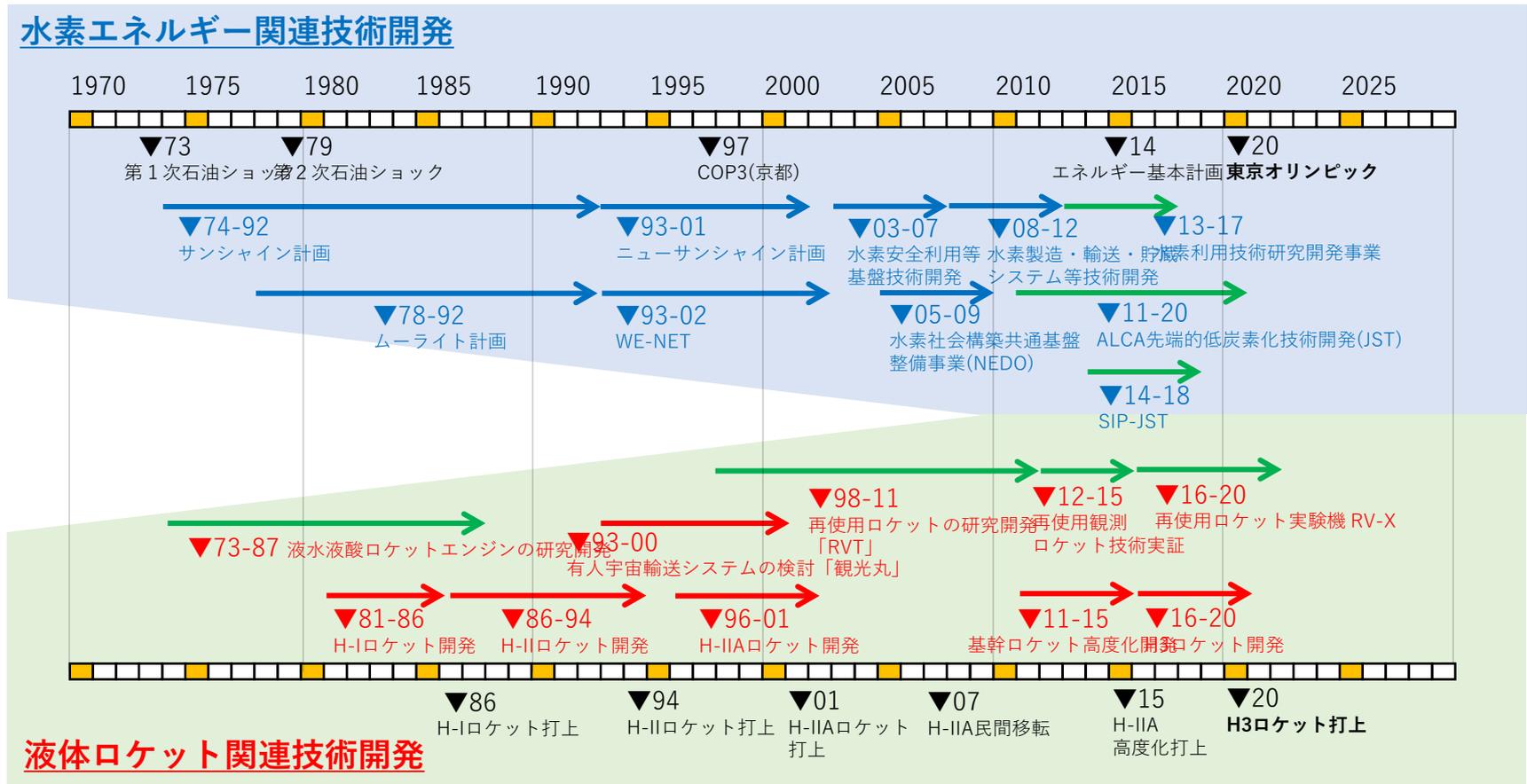
- 2017年12月 水素基本戦略の制定
- 燃料電池から、大規模水素サプライチェーンと水素発電の実証へ！



水素基本戦略のシナリオ

日本の水素社会実現戦略の経緯

- 2010年頃から、共同での研究開発を実施するようになった(宇宙と水素の接点)。
- 水素の大規模利用→高圧水素ガスに加え液体水素の利用が拡大→ロケット技術と共通。
- JAXAとしても、成果が再使用ロケットや将来輸送システムの実現に繋がると期待。



日本の水素社会実現戦略の経緯

- 2010年頃から、共同での研究開発を実施するようになった(宇宙と水素の接点)。
- 水素の大規模利用→高圧水素ガスに加え液体水素の利用が拡大→ロケット技術と共通。
- JAXAとしても、成果が再使用ロケットや将来輸送システムの実現に繋がると期待。



KHI

従来のLNG等による
エネルギーサプライチェーン

LNG機器(-161°C)を
液体水素(-253°C)に
対応させるための
技術開発が必要



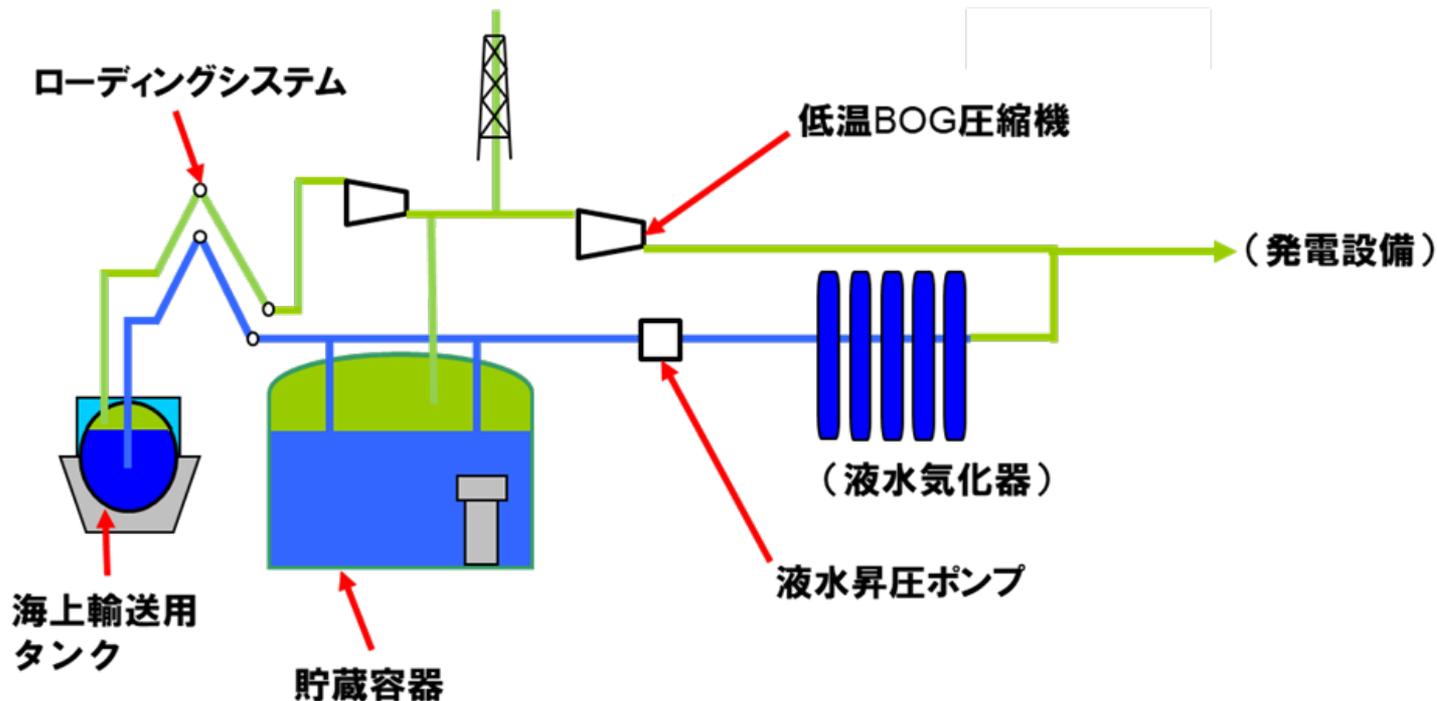
HySTRA

液体水素によるエネルギー
サプライチェーン *1

能代ロケット実験場
と宇宙研の液体水素
技術が貢献

日本の水素社会実現戦略の経緯

- 現在進行中のNEDO助成事業「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発」
- JAXAは、液体水素サプライチェーン関連設備の研究開発を企業と共同で実施中。

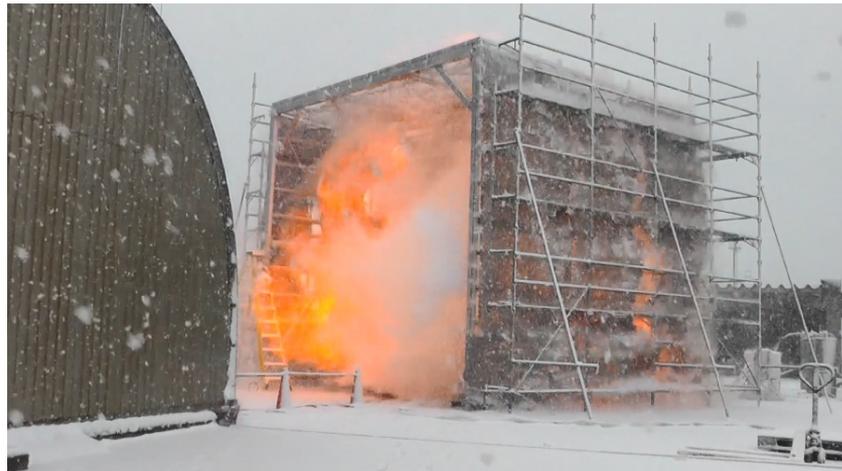


液体水素受入基地および発電設備への供給プラントの主要機器構成

水素の安全利用の実際

常時取扱者として

- 基本的に、水素は怖くない。妙な反応を起こすことがない。
- 静電気と滞留、火気の不意な接近さえ気をつければ水素と触れていても大丈夫。
- 静電気除去は衣服、靴含めて対策が浸透。ただし乾燥している場所、アースが取れていないところでの取り扱いは怖い。
- 水素で事故を起こさないような環境と技術を作り、恐怖心を少しずつ除去していく。
- とにかく事故を起こさないことが肝心。



制御された水素爆発実験

水素技術の宇宙対応

- 持続的宇宙探査では、水素技術の宇宙対応が求められる。
- ロケット上段技術も活用される。
- 月面車、水素製造・貯蔵設備の検討も始まっている。
- 東京オリンピック後の水素ブームの次の波になる可能性。水素社会構築にも貢献。

探査の将来についての私見

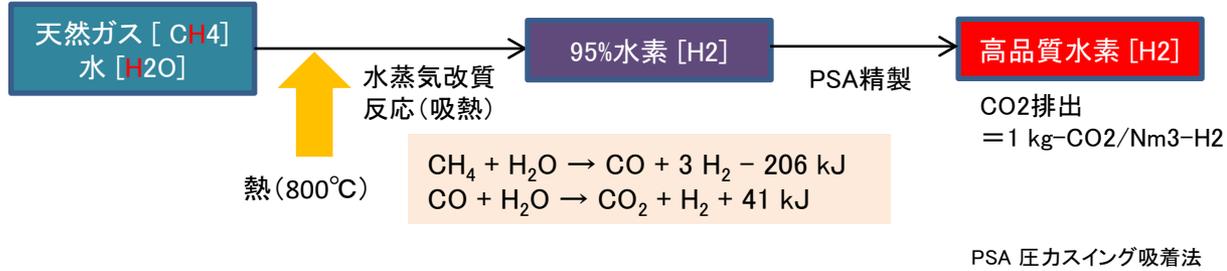
- 日本では、超大型ロケットの開発運用は困難
 - ＞宇宙輸送機は大型化するほど成立性があがる。
 - ＞米国の超大型ロケットには、輸送コストの面で、どうしてもかなわない。
 - ＞道路の大きさ、歩道橋の高さ、建物の大きさ、実験場規模など、日本の制約。
 - ＞北海道…
- 日本の強み：新幹線のような信頼性の高さ
- 日本は有人を目指すべき。
- JAXA探査や天文台は月に移転

参考

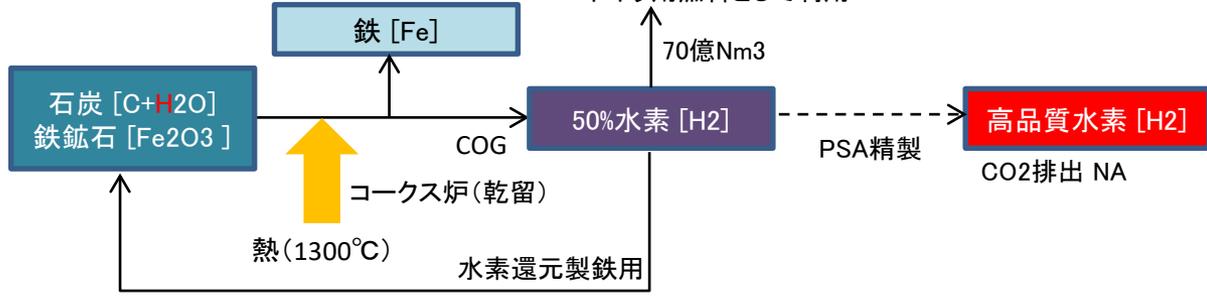
日本の水素社会実現戦略の経緯

水素の製造技術

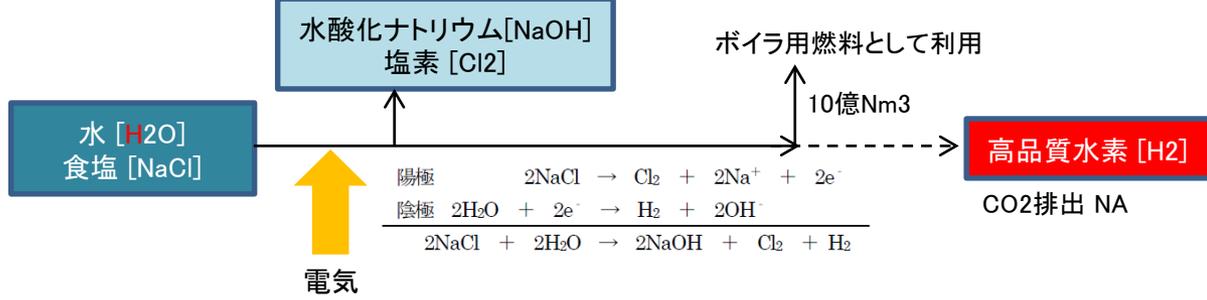
①水蒸気改質（外販用の水素製造工場、家庭用燃料電池）



②副生水素(製鉄所)



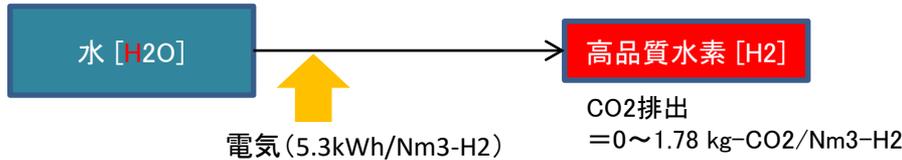
③副生水素(食塩電解工場)



日本の水素社会実現戦略の経緯

水素の製造技術

④水電解



アルカリ電解法: 陰極側では水素イオンが水素へ、陽極側では水酸化物イオンが酸素と水になる化学反応が起きる。
 固体高分子電解法: 触媒を兼ねた陽極・陰極の両電極が高分子でできたイオン交換膜(電解質層)を挟み込む構造。固体高分子形燃料電池(PEFC)とほぼ同じ。

⑤熱化学水素製造法 (ISプロセス)



熱エネルギーを用いて水を分解し水素と酸素を製造する。水を直接に熱分解するには4000度以上の高温を必要とするが、熱化学水素製造法では複数の化学反応を組み合わせた化学プロセスによって、これより低温(1000°C以下)の熱を用いて水分解を行う。プロセスを構成する化学反応(以下、要素反応とよぶ)には、加水分解反応、水素発生反応、酸素発生反応などが用いられ、プロセス全体として、水の分解反応のみが正味の化学変化となるように構成される。

⑥光触媒



光触媒に光が照射されると、触媒表面に電子と正孔が生成し、この電子が水の水素イオンを還元することで水素が得られる

