

山形県水素ビジョン



カーボンニュートラル
やまがた

令和6年3月
山形県



はじめに

近年の度重なる自然災害の発生など、地球温暖化対策は待ったなしの状況にある中、本県では令和2年8月に、2050年までに温室効果ガス実質排出ゼロを目指す「ゼロカーボンやまがた2050」を宣言するとともに、令和4年5月には、県民の皆様と一緒にカーボンニュートラルに向けたアクションにチャレンジする新たな県民運動として「みんなの地球（あす）のためにチャレンジ！カーボンニュートラルやまがた県民運動」を開始しました。また、こうした取組みをより一層着実に推進していくため、令和5年4月に「山形県脱炭素社会づくり条例（愛称：さくらんぼ未来の地球を守る条例）」を新たに施行したところであり、県民総ぐるみで脱炭素社会の実現に向けた取組みを展開しております。

一方で、地球温暖化に係る問題は、従来の取組みの延長だけで実現することは困難であり、世界全体での取組みとイノベーションの創出による新たなチャレンジが不可欠です。

こうした中、水素は、利用時に二酸化炭素を排出せず、発電分野をはじめ、運輸部門や産業部門、家庭部門など幅広い分野での活用が見込まれることから、カーボンニュートラルの実現に向けた鍵となるエネルギーとして期待されており、政府では、令和5年6月に水素基本戦略を改定し、2040年の水素導入量を現在の6倍となる1,200万トン程度とする新たな目標を掲げるなど、水素社会の実現に向けた取組みを加速することとしております。

本県では、こうした政府の動向やロシアによるウクライナ侵攻以降の資源価格高騰等の影響による、化石エネルギー中心の産業構造・社会構造をクリーンエネルギー中心の社会経済システムへ転換する、いわゆるGX（グリーントランスフォーメーション）の必要性の高まりも踏まえ、水素を「ゼロカーボンやまがた2050」実現の一翼を担うエネルギーとして、その利活用推進に向けた取組みを推進していくこととしております。

本ビジョンは、県内における今後の水素利活用に係る取組みの方向性を示すものとして策定いたしました。山形県の健全で恵み豊かな環境を守り、次世代に継承していくためにも、本県の豊富な地域資源を活かした水素の利活用を推進することで、地域におけるカーボンニュートラルと持続的な成長が両立する社会の実現を目指し取り組んでまいりましょう。

令和6年3月

山形県知事 吉村 美栄子

目次

| | | |
|----|--------------------------------------|--------|
| 第1 | 山形県水素ビジョンの基本的考え方 | - 1 - |
| 1 | 策定の背景 | - 1 - |
| | (1) 本県における温室効果ガスの排出状況と削減に向けたこれまでの取組み | - 1 - |
| | (2) 水素社会の実現に向けた政府の動向 | - 6 - |
| 2 | 策定の目的 | - 8 - |
| 3 | 対象期間 | - 8 - |
| 4 | 関連計画との関係性 | - 8 - |
| 5 | 対象範囲 | - 8 - |
| 6 | 山形県水素ビジョンの見直し | - 8 - |
| 第2 | 水素エネルギーの有用性 | - 9 - |
| 1 | 脱炭素化 | - 9 - |
| 2 | エネルギーの安定供給 | - 9 - |
| 3 | 経済成長 | - 9 - |
| 第3 | 本県において取り組む意義 | - 10 - |
| 1 | ゼロカーボンやまがた 2050 の実現 | - 10 - |
| 2 | 本県の豊富な資源を活かした再生可能エネルギーの活用とエネルギー安定供給 | - 11 - |
| 3 | 県内経済の活性化 | - 13 - |
| 第4 | 本県が目指す水素社会の姿 | - 17 - |
| 第5 | 本県における水素社会の実現に向けた取組みの方向性 | - 19 - |
| 1 | 県民の水素に関する理解促進 | - 19 - |
| | (1) 県民への普及啓発・学習機会の確保 | - 19 - |
| | (2) 県内事業者向け勉強会等の開催 | - 19 - |
| | 《参考》 水素の性質について | - 21 - |
| 2 | 県民生活に根差した水素の利活用推進 | - 23 - |
| | (1) 電力・熱需要の脱炭素化とレジリエンスの強化 | - 23 - |
| | (2) 運輸部門における活用 | - 24 - |
| | (3) 水素を活用したエネルギーの利用（合成メタン・合成燃料等） | - 24 - |

| | | |
|----|-------------------------------|--------|
| 3 | 水素の導入拡大を通じた県内産業の振興 | - 26 - |
| | (1) 水素を活用した企業活動における脱炭素化と競争力強化 | - 26 - |
| | (2) 県内企業の水素関連ビジネスへの参入促進 | - 26 - |
| | (3) 県内産業の振興に向けた産学官金連携の促進 | - 26 - |
| 4 | 地域資源を活用した水素供給体制の整備促進 | - 28 - |
| | (1) 本県の豊富な地域資源を活用した水素の製造・利活用 | - 28 - |
| | (2) 水素ステーションの整備促進 | - 31 - |
| | 《参考》水素製造の現状と課題について | - 33 - |
| 5 | 水素社会の実現に向けた取組み間の関係と展開イメージ | - 34 - |
| | (1) 取組みの方向性（概念図） | - 34 - |
| | (2) 取組みの展開イメージ | - 35 - |
| | 《参考》本県の特徴を活かした水素利活用のイメージ | - 36 - |
| 第6 | 山形県水素ビジョンの推進 | - 37 - |
| | ○ 推進体制 | - 37 - |
| | 参考資料 | - 38 - |
| | 1 山形県水素ビジョン策定検討委員会設置要綱 | - 39 - |
| | 2 山形県水素ビジョン策定検討委員会委員名簿 | - 40 - |
| | 3 山形県水素ビジョン策定検討委員会開催経過 | - 41 - |
| | 4 用語集 | - 42 - |

第1 山形県水素ビジョンの基本的考え方

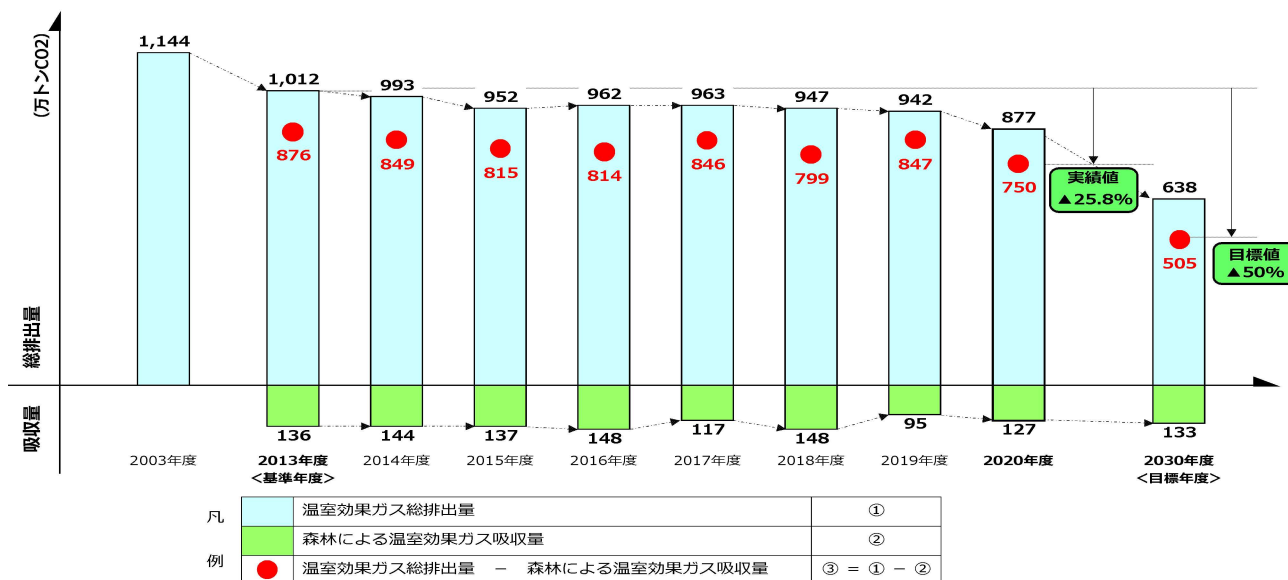
- 近年国内では、豪雨災害が頻発・激甚化するなど、地球温暖化が要因の一つとされる気候変動の影響が深刻さを増す中、世界に目を向ければ、「持続可能な開発目標 (SDGs)」を掲げる「持続可能な開発のための2030アジェンダ」の採択(2015年)や、2015年に合意された地球温暖化対策の新たな国際枠組みである「パリ協定」の本格運用(2020年)など、国際社会では2050年までの脱炭素社会の構築に向け、温室効果ガス削減の動きが加速している。
- こうした中、カーボンニュートラル実現の一翼を担うエネルギーとして期待される水素に関し、県として本ビジョンを策定することとした背景や策定の目的等について、はじめに記述する。

1 策定の背景

(1) 本県における温室効果ガスの排出状況と削減に向けたこれまでの取組み

① 温室効果ガス排出量の推移

- 本県の温室効果ガス排出量は、省エネの推進や再生可能エネルギーの導入促進等により、2013年度以降、概ね減少傾向にある。
- 直近となる2020年度の排出量は森林吸収量控除後ベースで2013年度比25.8%の減となった。



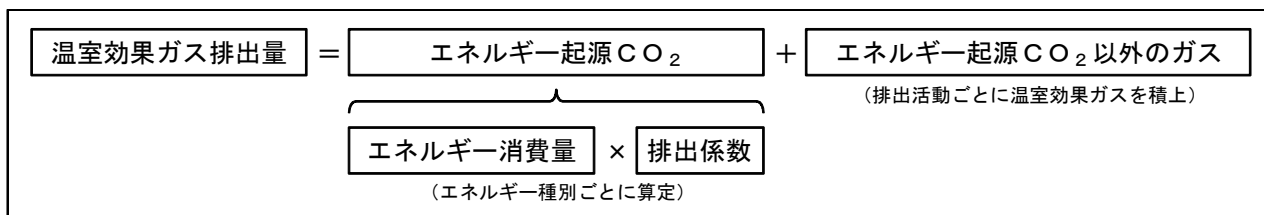
<2020年度の概要>

- 県内の温室効果ガス総排出量は877.1万トン（二酸化炭素換算、以下同じ）
- 県内の森林による温室効果ガス吸収量は126.9万トン
- 「総排出量」から「吸収量」を差し引くと750.3万トン
… 基準（2013）年度総排出量比 ▲260.5万トン（▲25.8%）



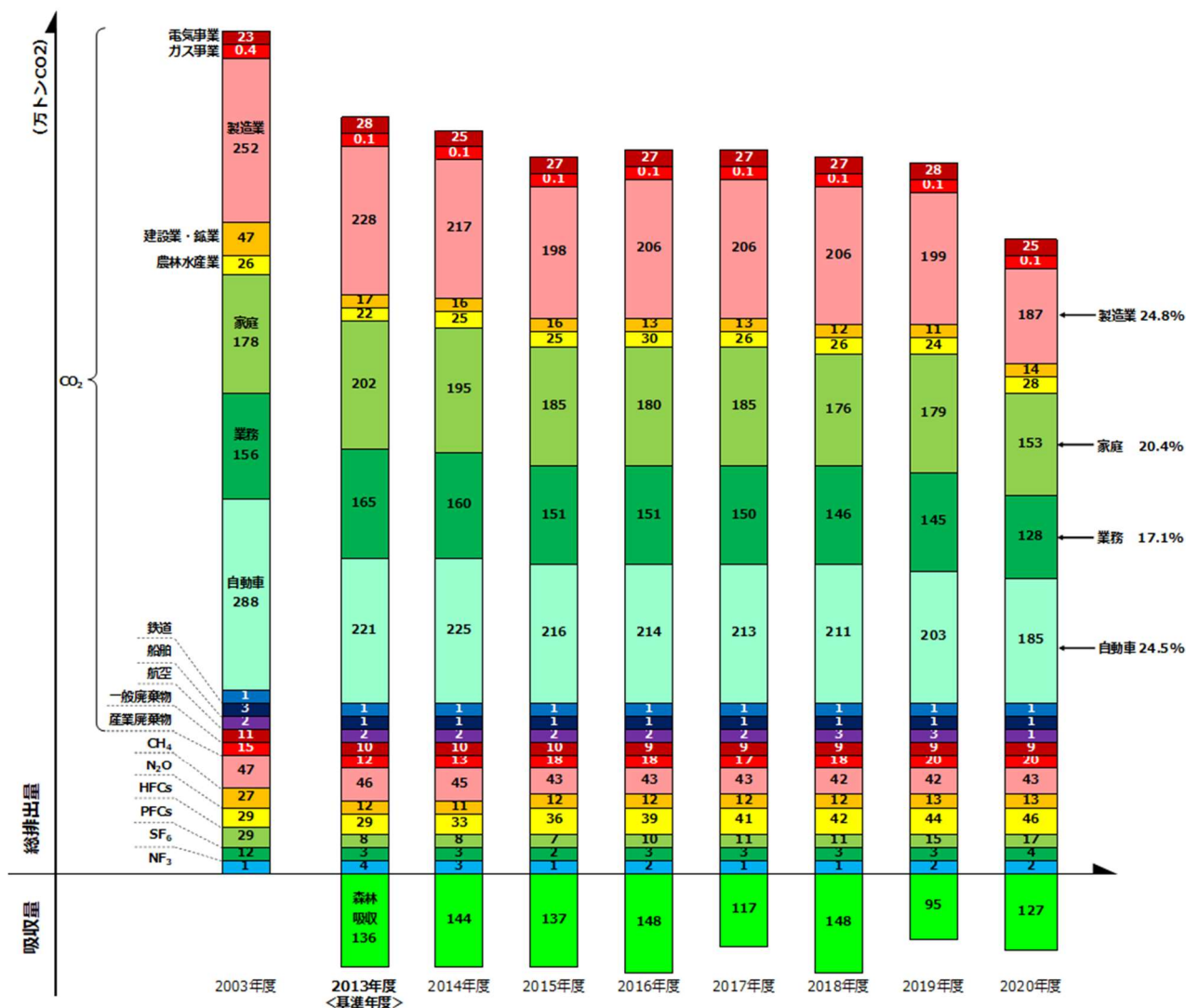
<参考：温室効果ガス排出量の推計方法>

- ・各種統計データを基に、次の方法により温室効果ガス排出量を推計している。



②部門別の温室効果ガス排出量

- ・ 県内の 2020 年度における二酸化炭素排出量の内訳は、自動車 24.5%、製造業 24.8%、家庭 20.4%、業務 17.1%となっており、4 部門で全体の約 9 割を占めている。
- ・ 本県では夏季や冬季の空調機器使用によるエネルギー消費量が多いことや、世帯当たりの自動車保有台数が全国第 3 位※と多いことなどから、家庭及び自動車の割合が大きくなっている。(※出典：一般財団法人自動車検査登録情報協会)



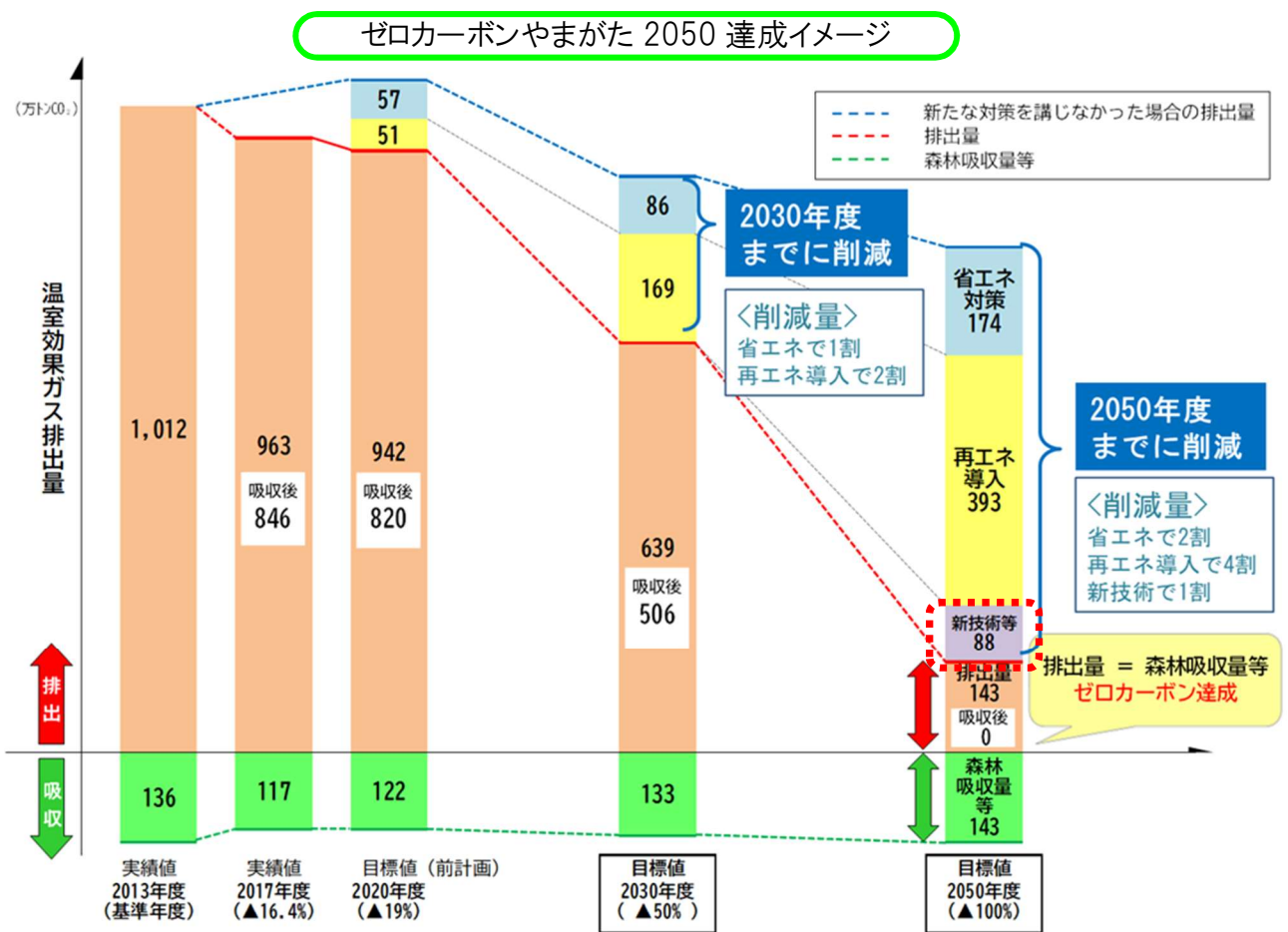
[グラフ：県内の部門別温室効果ガス排出量の推移]

③温室効果ガスの削減に向けたこれまでの取組み

- 山形県では、2050（令和 32）年までに温室効果ガス排出実質ゼロを目指す「ゼロカーボンやまがた 2050」を令和 2 年 8 月に宣言。



- また、「ゼロカーボンへのチャレンジ」をテーマに、県の施策の展開方向を示す「第 4 次山形県環境計画」を令和 3 年 3 月に策定。この計画において、「ゼロカーボンやまがた 2050」の達成イメージを次のとおり提示している。



(第 4 次山形県環境計画 [R3. 3 月])

2030年度まで



により
温室効果ガス排出
を2013年度比で
50%削減

2050年度まで



により
温室効果ガス排出
を100%削減
→カーボンニュー
トラル達成

- この「ゼロカーボンやまがた 2050」の実現に向け、再生可能エネルギーの導入拡大等の具体的政策の展開方向を示す「山形県エネルギー戦略後期エネルギー政策推進プログラム」を令和3年3月に策定したほか、「徹底した省エネ」等を取組みの柱とし、家庭（県民）、産業・事業（事業者）、公共分野（行政）が今後主体的に行っていくべき具体的なアクションを整理した「カーボンニュートラルやまがたアクションプラン」を令和4年2月に策定。さらに同年5月からは、県民総ぐるみで豊かで美しい山形県を将来の世代に継承していく新たな県民運動として『みんなの地球(あす)のためにチャレンジ！カーボンニュートラルやまがた県民運動』を展開している。
- カーボンニュートラルという高い目標を実現するためには、こうした取組みを粘り強く押し進めていく必要があるが、一方で、日々進化する技術を活用した新たな取組みに積極的にチャレンジすることも重要である。
- 本県では、令和5年4月1日に施行した「山形県脱炭素社会づくり条例」の第13条において、脱炭素社会の実現に向けた基本的施策の一つに「温室効果ガスの排出の量の削減等のための技術の研究開発等」を掲げているところであり、事業者や大学その他研究機関等との連携強化を図りながら、研究開発の成果の普及等を進めていくこととしている。

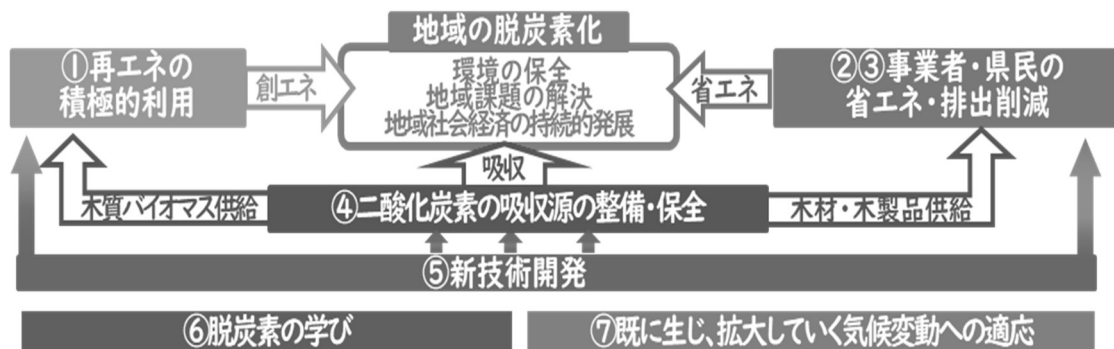
山形県脱炭素社会づくり条例（令和5年3月県条例第3号）

【条例の愛称：『さくらんぼ未来の地球を守る条例』（R5.11月決定・公表）】

（温室効果ガスの排出の量の削減等のための技術の研究開発等）

第13条 県は、温室効果ガスの排出の量の削減等のための技術の研究開発及び活用を推進するため、事業者、大学その他研究機関等との連携の強化、当該研究開発の成果の普及その他の必要な措置を講ずるものとする。

<山形県脱炭素社会づくり条例で示す脱炭素社会の実現に向けた基本的施策（概念図）>





- この「ゼロカーボンやまがた 2050 達成イメージ」中の「新技術等」や「山形県脱炭素社会づくり条例」で定める「技術の研究開発等」に関して、第4次山形県環境計画では「水素の利活用」を掲げている。

<第4次山形県環境計画（ゼロカーボンやまがた 2050 に向けた大まかな工程表）>

| | | 2030年 | 2050年 | 2050年の姿 |
|-------------|---------------------------|---------------------------------|---|--|
| 省エネ | 家庭 | 県民参加型の取組み等による省エネ行動促進 | 自発的な省エネ行動の実践 | ZEH・ZEB 普及率100% グリーン経営 普及率100% 電気自動車（EV）・ 燃料電池自動車（FCV） 比率 100% |
| | | HEMS等による省エネの見える化 | | |
| | | 省エネ住宅（ZEH・やまがた健康住宅）の普及促進 | 住宅のZEH化 | |
| | | 蓄電池の導入促進 | 再生エネルギーと蓄電池を組み合わせるスマートハウスの普及 | |
| | | 省エネ住宅普及推進員による普及啓発 | | |
| | 事業所 | 環境マネジメントシステムの導入促進 | グリーン経営の普及 | |
| | | SDGs・RE100・ESG投資等の啓発 | ZEBの普及拡大 | |
| | | ZEBの普及促進 | 高効率省エネ設備の導入拡大 | |
| | | 高効率省エネ設備の導入促進 | | |
| | 自動車 | エコドライブの推進 | エコドライブの定着 | |
| | | 次世代自動車の普及 | 次世代自動車の普及拡大 | |
| | | V2H（電気自動車に蓄えた電気を家庭で利用するシステム）の導入 | | |
| 「置き配」等の普及啓発 | | 「置き配」等の普及拡大 | | |
| 再生エネルギー | 洋上風力発電等の大規模再生エネルギー事業の展開促進 | 再生エネルギーの導入拡大 | 県内使用電力の 再生エネルギー比率100% 熱源を化石燃料から 再生エネルギーへ転換 | |
| | 再生エネルギーの地産地消の推進 | 再生エネルギーの地産地消の実現 | | |
| | 家庭・事業所への再生エネルギー設備導入促進 | 家庭・事業所への再生エネルギー設備導入拡大 | | |
| 新技術等の研究・開発 | 水素の低コスト製造・輸送・貯蔵技術の開発 | 様々な分野での水素の活用 | 新技術等の確立 | |
| | 水素の運輸・発電等における活用技術の開発 | | | |
| | カーボンリサイクル技術の開発 | カーボンリサイクル設備の導入 | | |
| | 二酸化炭素貯留技術の開発 | 二酸化炭素貯留設備の導入 | | |
| 吸収源対策 | 間伐、再造林等の森林整備の推進 | | 森林が最大限の吸収効果を発揮 | |

(2) 水素社会の実現に向けた政府の動向

- ・ 水素は、利用時に二酸化炭素を排出しないことから、カーボンニュートラルの実現に向けた鍵となるエネルギーとして期待されており、発電分野をはじめ、運輸部門や産業部門、家庭部門など幅広い分野での活用が見込まれている。
- ・ 政府では水素基本戦略を2017年12月に策定。2020年10月のカーボンニュートラル宣言を受け、同年12月に策定したグリーン成長戦略においても水素を重要分野の一つに位置付けている。
- ・ その後、水素基本戦略を2023年6月に改定し、これまでの水素年間導入目標に加え、新たに2040年の目標(1,200万t/年)を掲げるなど、水素社会実現に向けた取組みを加速させている。

【水素基本戦略等において定める政府の定量目標】

- ▶ 水素年間導入目標_※：発電・産業・運輸などの分野で幅広く利用

※水素以外にも直接燃焼を行うアンモニア等の導入量(水素換算)も含む値



- ▶ コスト目標：長期的には化石燃料と同等程度の水準を実現

100円/Nm³(現在) → 30円/Nm³(2030年)

→ 20円/Nm³以下(2050年)

- ▶ 水電解年間導入目標_※：15GW程度(2030年)

※国内外における日本関連企業の導入目標値

- ▶ 電源構成における水素・アンモニアの割合目標：1%程度(2030年)

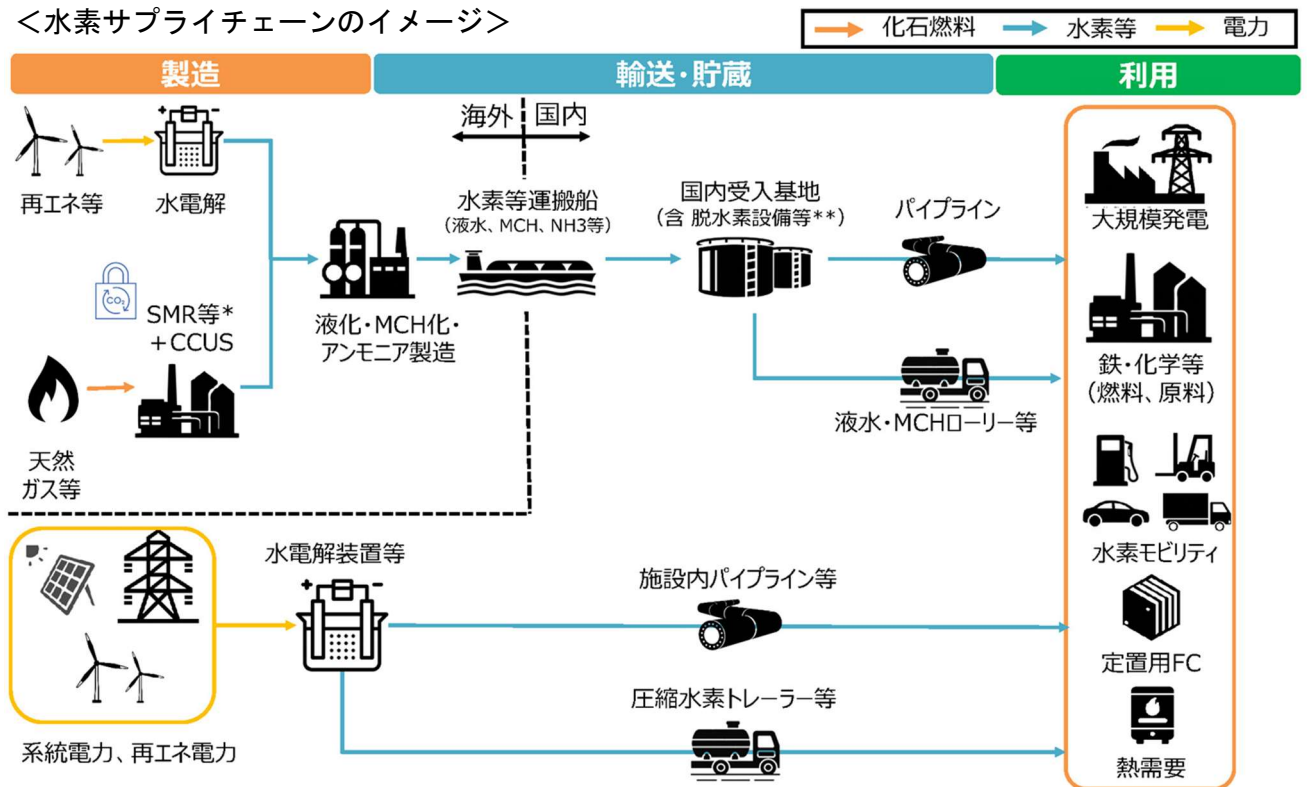
- ▶ 自動車分野の目標：乗用車換算で80万台程度(水素消費量8万t/年程度)、水素ステーション1,000基程度(2030年)

(出典：経済産業省資源エネルギー庁

「モビリティ分野における水素の普及に向けた中間とりまとめ(R5.7月)」を基に作成)

- また、水素基本戦略では、GX（グリーントランスフォーメーション）を通じて、脱炭素、エネルギー安定供給、経済成長の「一石三鳥」を狙い、国内外のあらゆる水素ビジネスにおいて、我が国の水素コア技術（燃料電池・水電解・発電・輸送・部素材等）が活用される世界を目指すこととしている。

＜水素サプライチェーンのイメージ＞



(出典：経済産業省資源エネルギー庁
「水素政策小委員会/アンモニア等脱炭素燃料政策小委員会 合同会議中間整理(R5.1月)」)

2 策定の目的

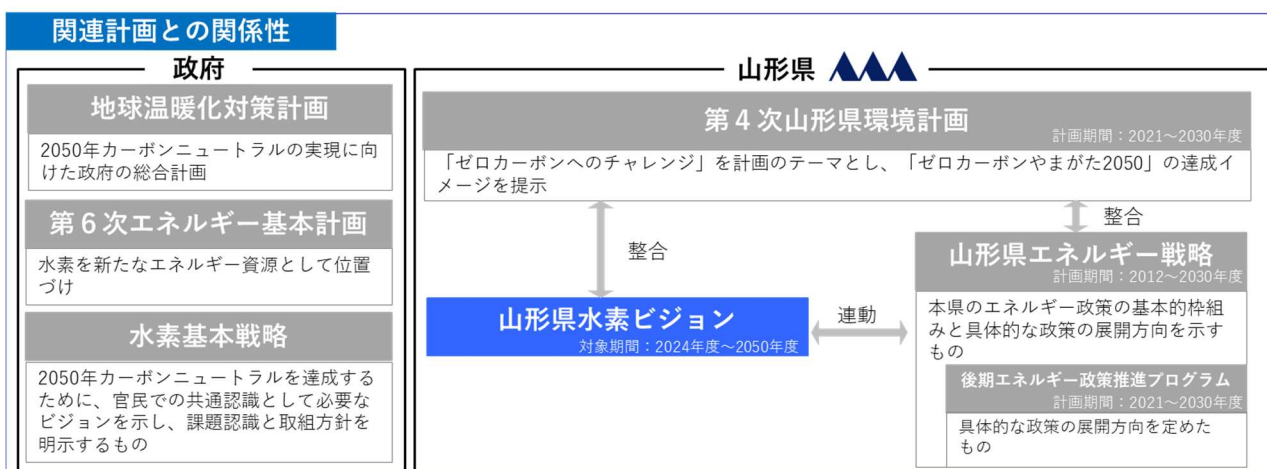
- 地球温暖化が要因の一つとされる自然災害の頻発・激甚化や、ロシアによるウクライナ侵攻以降の資源価格高騰の影響などによるGXの必要性の高まり等、本県を取り巻く環境は日々刻々と変動している。
- こうした中、「ゼロカーボンやまがた 2050」実現の一翼を担うエネルギーとして期待される水素の利活用を推進していくため、本県の目指すべき姿を明らかにするとともに、取組みの方向性を示すこととしたもの。

3 対象期間

- 本県が目標として掲げる「ゼロカーボンやまがた 2050」の実現に向けた取組みの一つであることや、政府の水素基本戦略の内容を踏まえ、本ビジョンの対象期間は、2024（令和6）年度から2050（令和32）年度とする。

4 関連計画との関係性

- 本ビジョンは、環境分野の基本計画としてゼロカーボンに向けた施策の展開方向を示している「第4次山形県環境計画」と整合を図りつつ、本県のエネルギー政策の基本的枠組みと具体的な政策の展開方向を示す「山形県エネルギー戦略」と連動したものとして整理する。



5 対象範囲

- 本ビジョンにおいては、水素基本戦略と同様、アンモニアや合成メタン(e-methane)、合成燃料(e-fuel)等のカーボンリサイクル燃料も対象とし、本文中の“水素”は、水素に加え、アンモニアや合成メタン、合成燃料等も含めた意味で記載する。

6 山形県水素ビジョンの見直し

- 今後の社会経済環境の変化等を踏まえ、必要に応じて本ビジョンの見直しを行う。

第2 水素エネルギーの有用性

1 脱炭素化

- ・ 水素は利用時に二酸化炭素を排出しない特性を有しており、発電分野をはじめ運輸部門や産業部門、家庭部門など幅広い分野での活用が見込まれることから、カーボンニュートラル時代を見据えた新たなエネルギー源として期待されている。
- ・ また、熱源としても利用できることから、電化が困難な部門の脱炭素化にも寄与することができるほか、今後、再生可能エネルギー由来のCO₂フリー水素（グリーン水素）の製造技術が普及拡大することにより、脱炭素社会の実現に大きく貢献することが可能となる。

2 エネルギーの安定供給

- ・ 水素は再生可能エネルギーを含めた様々なエネルギーから製造し、貯蔵・運搬することができるため、水素が安定的に供給できる体制が整備されれば、化石燃料など特定のエネルギー源に依存しないエネルギーの供給体制を構築することが可能である。
- ・ また、太陽光や風力といった再生可能エネルギーは、その出力が天候に応じて変動することで発電量が電力需要を上回る場合に出力制御される場合がある中、余剰の再生可能エネルギーを水素に変換・貯蔵するといった調整力の役割を果たすことから、再生可能エネルギーの更なる導入拡大につながる。

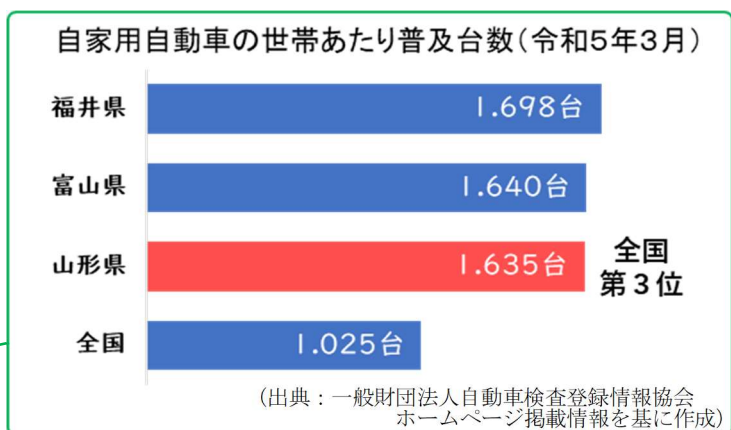
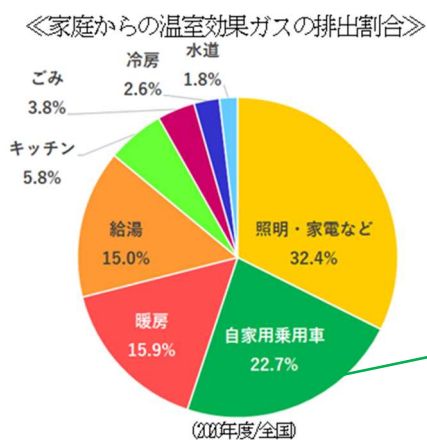
3 経済成長

- ・ 水素基本戦略では、我が国における技術的な強みを生かし、国内外のあらゆる水素ビジネスで水素コア技術（燃料電池・水電解・発電・輸送・部素材等）が活用される世界を目指すこととしている。
- ・ 世界的に拡大の一途にある水素関連市場を国内外一体的に捉え、いち早く産業化が図られることにより、国内の産業振興と競争力の強化が期待される。

第3 本県において取り組む意義

1 ゼロカーボンやまがた 2050 の実現

- ・ 本県における部門別温室効果ガス排出量の約 25%を運輸部門（自動車）が、約 20%を家庭部門が占めている。
- ・ これは、世帯当たりの自動車保有台数が全国で3番目に多く、また、夏季・冬季における冷暖房の使用によるエネルギー消費量が多いことが要因であると考えられる。
- ・ そのため、自家用車や家庭部門における温室効果ガス削減の取組みが課題であり、燃料電池自動車（FCV）や家庭用燃料電池（エネファーム）の普及拡大により、県内の温室効果ガスの削減に大きく貢献することができるものと考えられる。



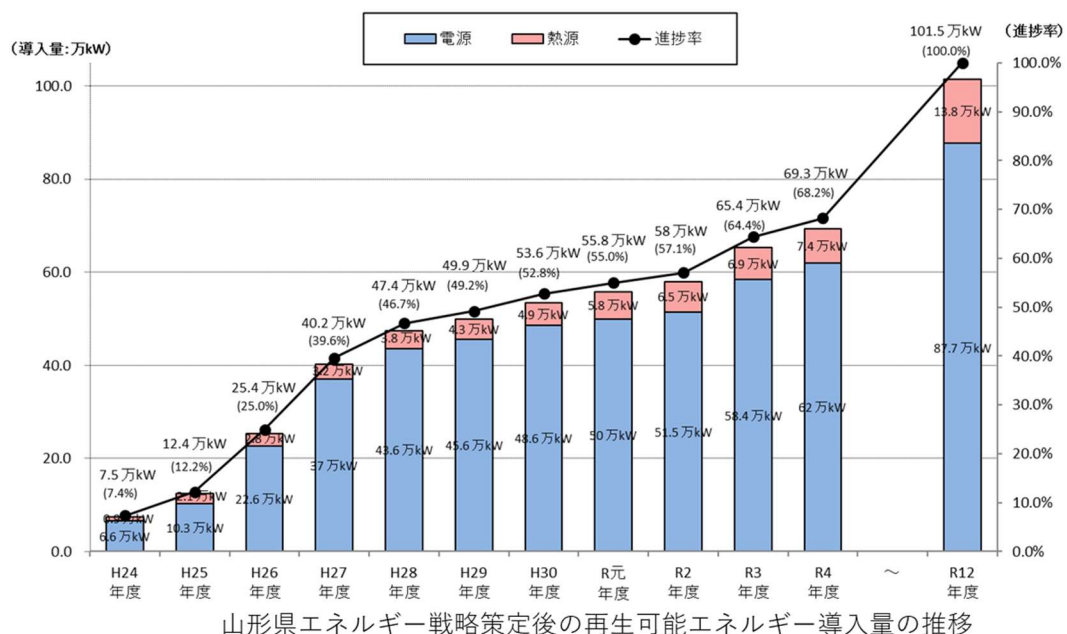
＜山形県と全国の二酸化炭素排出量の内訳＞

(単位：万トンCO2)

| 部門名称 | 山形県 | | | | 全国 | | | |
|--------|------------------|--------|--------|--------|------------------|---------|--------|--------|
| | 2013年度 (基準年度) | 2020年度 | 構成比 | 基準年度比 | 2013年度 (基準年度) | 2020年度 | 構成比 | 基準年度比 |
| 二酸化炭素 | 909 | 752 | 100.0% | ▲17.3% | 131,881 | 104,419 | 100.0% | ▲20.8% |
| 運輸 | 226 | 188 | 24.9% | ▲16.9% | 22,424 | 18,477 | 17.7% | ▲17.6% |
| 自動車 | 221 | 185 | 24.5% | ▲16.7% | 19,343 | 16,184 | 15.5% | ▲16.3% |
| 鉄道 | 1 | 1 | 0.1% | ▲31.8% | 994 | 784 | 0.8% | ▲21.1% |
| 船舶 | 1 | 1 | 0.2% | ▲8.2% | 1,073 | 986 | 0.9% | ▲8.1% |
| 航空 | 2 | 1 | 0.1% | ▲41.7% | 1,015 | 524 | 0.5% | ▲48.4% |
| 産業 | 266 | 229 | 30.4% | ▲14.0% | 46,302 | 35,553 | 34.0% | ▲23.2% |
| 製造業 | 228 | 187 | 24.8% | ▲17.9% | 43,726 | 32,852 | 31.5% | ▲24.9% |
| 建設業・鉱業 | 17 | 14 | 1.9% | ▲13.3% | 917 | 847 | 0.8% | ▲7.7% |
| 農林水産業 | 22 | 28 | 3.7% | 26.6% | 1,659 | 1,855 | 1.8% | 11.8% |
| 民生 | 368 | 282 | 37.5% | ▲23.3% | 44,541 | 34,866 | 33.4% | ▲21.7% |
| 家庭 | 202 | 153 | 20.4% | ▲24.1% | 20,759 | 16,650 | 15.9% | ▲19.8% |
| 業務 | 165 | 128 | 17.1% | ▲22.3% | 23,781 | 18,216 | 17.4% | ▲23.4% |
| 廃棄物 | 22 | 29 | 3.8% | 30.8% | 2,991 | 2,950 | 2.8% | ▲1.4% |
| その他 | | | | | 5,234 | 4,729 | 4.5% | ▲9.7% |

2 本県の豊富な資源を活かした再生可能エネルギーの活用とエネルギー安定供給

- 国内における度重なる自然災害の発生や電力需給の逼迫、化石燃料の価格上昇といった状況を踏まえ、本県においては、再生可能エネルギーの導入拡大、代替エネルギーへの転換、省エネの推進を図りながら、県民生活や産業活動に必要なエネルギー供給基盤を確保するという視点に立ち、エネルギー政策の方向を示す基本構想として「山形県エネルギー戦略」を平成24年3月に策定。現在は同戦略の後期10年間（令和3年3月から令和13年3月まで）における具体的政策の展開方向を定めた「後期エネルギー政策推進プログラム」に基づき、取組みを展開しているところ。
- これまでの間、県内の再生可能エネルギーの導入については、開発目標の101.5万kWに対して令和4年度末時点で68.2%まで進捗しており、概ね順調に進んでいる。
- また、大規模な太陽光発電所やバイオマス発電所が各地に建設され稼働していることに加え、県と県内事業者が一体となって地域新電力を設立するなど、再生可能エネルギーの地産地消も目に見える形となってきている。
- さらに、国際的に地球温暖化対策の重要性が高まり、社会全体でゼロカーボンを目指す動きが大きな潮流となる中、安全・安心の面では、甚大な災害の発生に伴う大規模な停電の頻発によって、災害時のエネルギー確保がより一層注目されているところ。



- こうした中、利用時に二酸化炭素を排出しない水素は、再生可能エネルギーを電源として製造することができ、長期保存・運搬に適した特性を有することから、本県の豊富な地域資源を最大限に活かすことによって、再生可能エネルギーの導入拡大や温室効果ガスの削減につなげることができると考えられる。

(エネルギーの安定供給・地産地消)

- ・ 自然の力を利用する再生可能エネルギーは枯渇することがなく、本県のエネルギー自給率の向上に大きく貢献することが期待される。

ロシアのウクライナ侵攻によるエネルギー価格の高騰が続く中、こうした化石燃料の不安定な価格変動の影響を受けることなく、本県におけるエネルギーの安定供給、地域で生み出されたエネルギーの地産地消につなげることができる。

(長期の保存・運搬)

- ・ 水素は、蓄電池のような電力貯蔵による自然放電が生じないため、長期間、大量の電力貯蔵に適していると言われている。また、気体や液体、固体（合金への吸蔵）という様々な形態で保存・運搬することが可能である。
- ・ 水素は地球上で最も軽い物質であり、常温常圧では気体として存在し、体積当たりの密度が小さいため、貯蔵・運搬するためには極低温での液化や超高压での圧縮が必要となり取扱いが難しいという課題があるが、様々な形に転換し貯蔵・輸送するエネルギーキャリアとしての技術の進展により、県内におけるエネルギーの安定供給につながるものと期待される。
- ・ 現在、県内には水素吸蔵合金※や水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵タンクを製造している事業者が存在しているものの、水素製造拠点がないため、県外からの輸送コストが発生する。今後、県内の水素供給量を拡大するためには、海上輸送による受入も考えられるため、受入れ可能な港湾施設の整備に向けた検討を行う必要がある。

(再生可能エネルギーの導入拡大)

- ・ 前述のとおり、太陽光や風力といった再生可能エネルギーは、電力需給バランスの観点から出力制御が必要となる場合があるが、水素に変換することで貯蔵できる特性を活かすことによって、本県における再生可能エネルギーの更なる導入拡大につなげることができる。

(災害時のエネルギー源としての活用)

- ・ また、近年、豪雨災害等の自然災害が頻発化・激甚化しており、本県においても甚大な被害が生じている中、今後、普及拡大を目指す燃料電池やFCV、FCバス等の外部給電機能を活用することにより、系統電力の停電時におけるエネルギー源としての利用が可能である。

※水素吸蔵合金：金属結合内に容易に侵入する水素の性質を利用して、冷却や加圧により水素を吸蔵（貯蔵）し、加熱や減圧により放出することができる合金のこと。

3 県内経済の活性化

- 本県産業は、長い歴史の中で培われたものづくり企業による多彩な取組みや、他に先駆けた先導的な研究開発等により進展を続けてきた。
- その一方で、少子高齢化の進行による生産人口の減少やICTの飛躍的发展、働き方改革への対応など、社会経済情勢の大きな変化に伴い課題が山積している状況にある。
- そうした中、次世代エネルギーの一翼を担う水素の利活用を通し、企業活動の脱炭素化を図ることによって、今後、世界的な創出・拡大が想定されるグリーン製品市場への的確な対応と競争力の強化につながるものと考えられる。
- さらには、製造から利活用までのサプライチェーンに付随する様々なビジネスの創出と、こうした水素関連産業への参入により、本県産業の振興や雇用創出が期待される。

<参考：水素の輸送・貯蔵について>



(出典：経済産業省資源エネルギー庁「水素の製造、輸送・貯蔵について(H26.4月)」)

貯蔵方法

| | 圧縮水素 | 液化水素 | MCH | アンモニア | 合成メタン | 合成燃料 | 吸蔵合金 |
|------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------|----------------------------|
| 輸送効率 | 約 1/200 (常温、20MpaG 気体) | 約 1/800 (-253℃常圧で液体) | 約 1/500 (常温常圧で液体) | 約 1/300 (-33℃、常圧で液体) | 約 1/600 (-162℃、常圧で液体) | 常温常圧で液体 | 体積当たりの効率は高い 質量当たりの効率は低い |
| 直接利用可否 | 可能 | 可能 | 不可(脱水素+精製要) | 不可(脱水素+精製要) | 都市ガスとして直接利用可能 | 燃料として直接利用可能 | 可能 |
| 既存インフラ活用可否 | 水素用の新規インフラが必要 | 水素用の新規インフラが必要 | ガソリンインフラが利用可能 | LPGと同様のインフラ技術が利用可能 | 既存 LNG インフラが利用可能 | 既存石油インフラが利用可能 | 水素用の新規インフラが必要 |
| 実用化に向けた課題 | 実用化済み | 極低温に起因する設備技術開発や大型化によるコスト低減が必要 | エネルギーロス of 更なる削減が必要 | 直接利用先拡大のための技術開発、脱水素設備の技術開発が必要 | 高効率や大型化に向けた技術開発、製造地における再エネ由来水素の供給が必要 | 高効率化や低コストに向けて研究開発 | 低コストかつ重量密度の向上に向けた合金の開発 |

(出典：経済産業省資源エネルギー庁「水素政策小委員会/アンモニア等脱炭素燃料政策小委員会 合同会議中間整理(R5.1月)」、環境省「脱炭素化にむけた水素サプライチェーン・プラットフォーム 水素関連基礎情報資料」を基に作成)

※ 水素の貯蔵方法については、それぞれ異なる課題を抱えており、長期的にどれが総じて優位となるか現時点で見極めることは困難。

※ 水素の陸上輸送方法としては、配管輸送または道路輸送の方法がある。

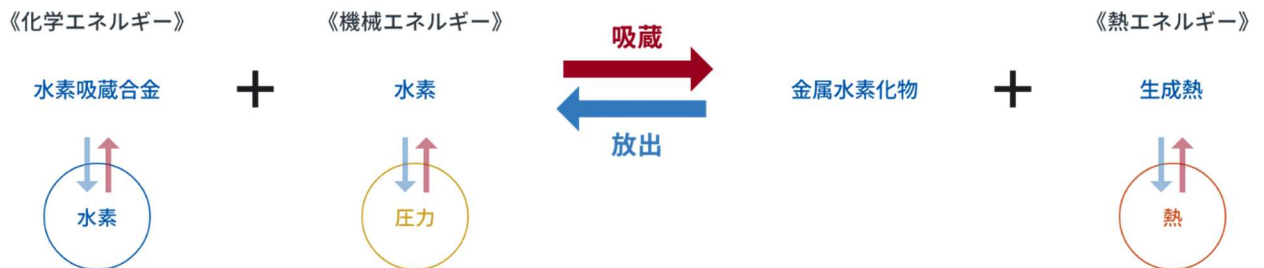
費用対効果の観点から、輸送距離や輸送量に応じた輸送方法を選択する必要がある。

- ・配管輸送：短距離から長距離まで安定的かつ連続的に大量供給できるため、継続的に大きな需要が見込める地域での導入が想定される。
- ・道路輸送：需要に応じて配管が敷設されていない地域への供給が想定される。



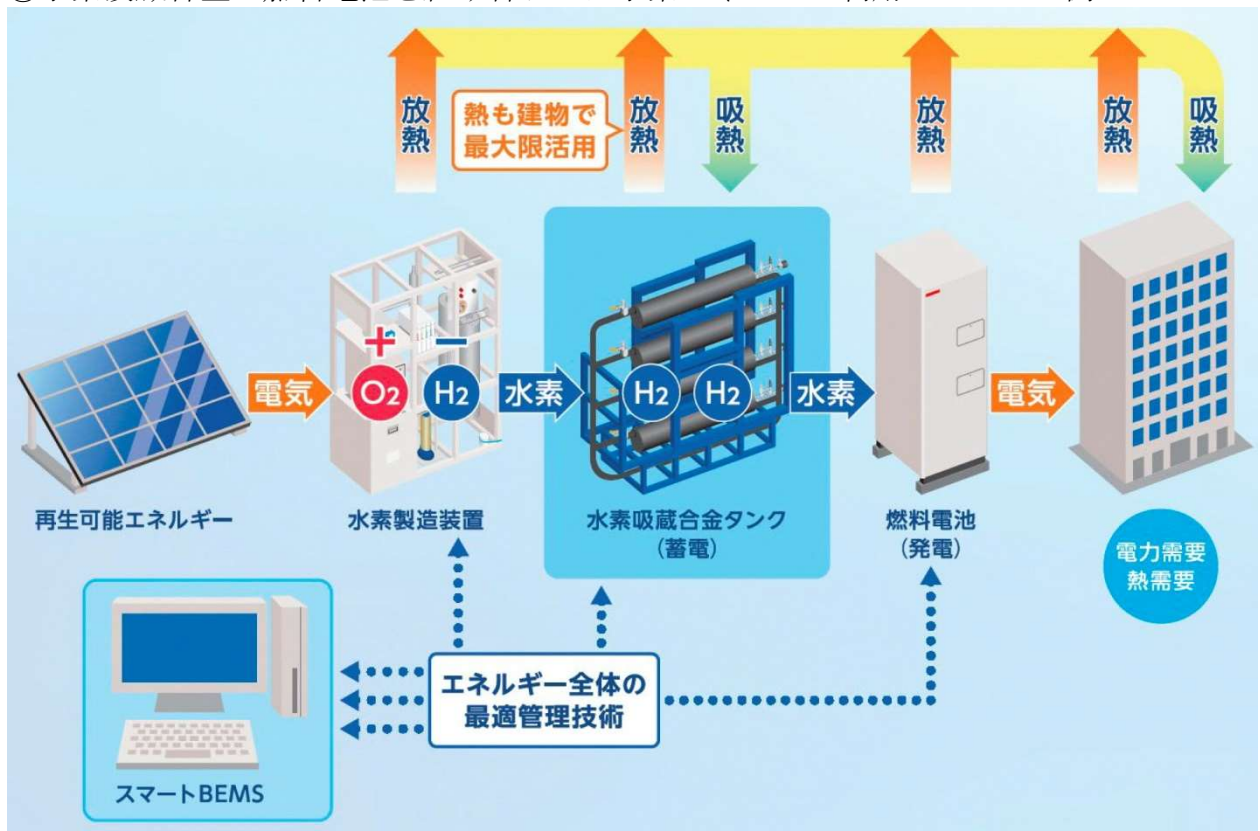
<参考：水素吸蔵合金について>

①水素吸蔵合金の原理について



(出典：日本重化学工業株式会社ホームページ)

②水素吸蔵合金と燃料電池を組み合わせた水素エネルギー利用システムの例

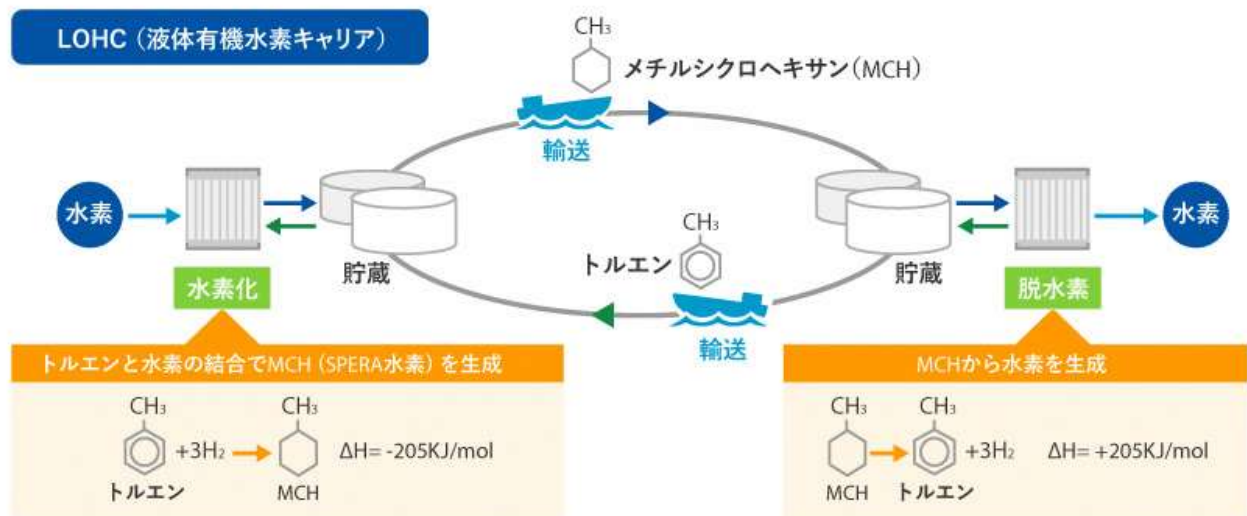


(出典：清水建設株式会社ホームページ)

<参考：MCHによる輸送・貯蔵について>

- MCH（メチルシクロヘキサン）は水素キャリアの一つ。トルエンに水素を反応させてMCH（液体）に転換し、MCHの状態の水素を輸送・貯蔵する。
- 水素ガスと比べると体積当たり500倍以上の水素を含む。また、MCHは石油に似た性質を有しており、既存の石油インフラを活用することも可能。

(MCHによる輸送・貯蔵のイメージ)



(出典：千代田化工建設株式会社ホームページ)

第4 本県が目指す水素社会の姿

- ◆ 山形県の健全で恵み豊かな環境を守り、将来の世代に継承していくため、豊富な再生可能エネルギーなどの地域資源を活用し、水素を「ゼロカーボンやまがた 2050」実現の一翼を担うエネルギーとして利活用を推進することで、地域におけるカーボンニュートラルと持続的な成長が両立(GX)する社会の実現を目指す

<本県における水素社会のイメージ（社会全体）>



- 太陽光や風力、バイオマスなどの豊富な再生可能エネルギー由来の発電により、家庭や事業者の電力を賄うとともに、グリーン水素を製造。
- 燃料電池の普及により、家庭生活や事業活動に必要な電気及び熱（給湯、床暖房等）を自ら調達（停電時も供給可能）。
- 工場においては熱源としての水素の利用（水素ボイラー等）やFCフォークリフトの導入により、化石燃料の使用を削減。
- 街には水素ステーションが整備され、乗用車やバス、トラックのFC化が進み、運輸部門における温室効果ガスは大幅に削減。
- 港湾においては荷役機械のFC化や水素運搬船の受入環境の整備が図られ、カーボンニュートラルポートを形成。

<本県における水素社会のイメージ（県民生活：家庭）>

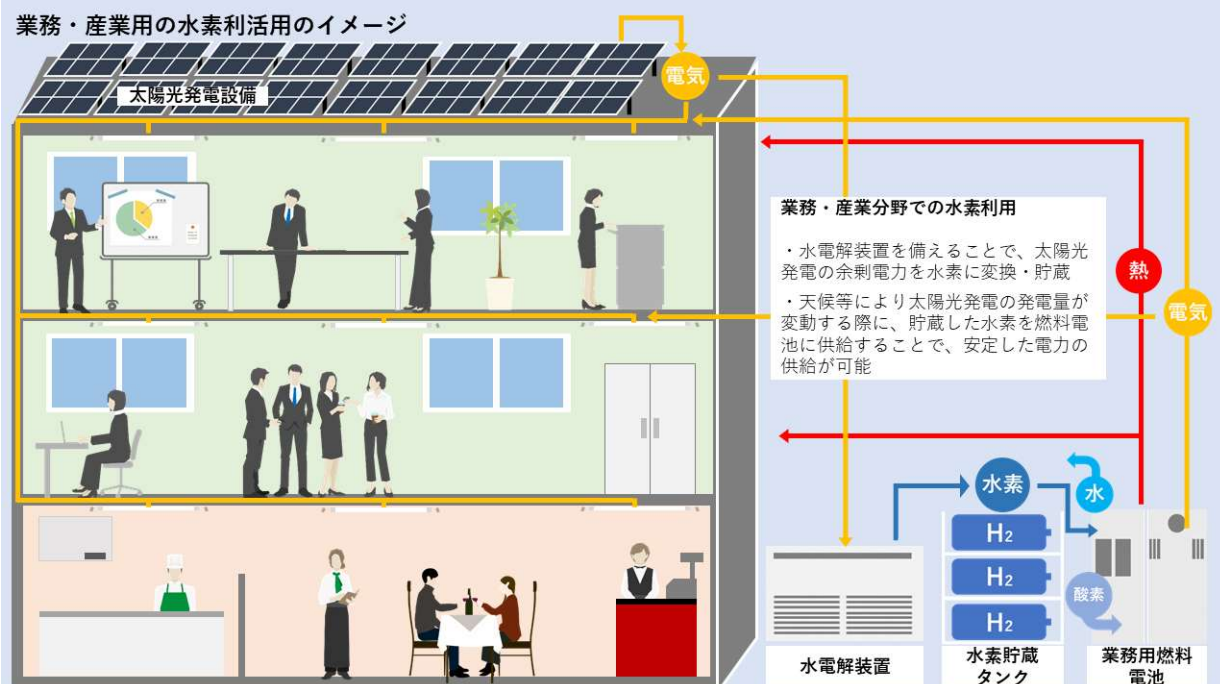
家庭での水素利活用のイメージ



- エネファームの設置により、生活に必要な電気や熱（給湯、床暖房等）を自給自足する暮らしを実現（停電時も供給可能）。
- 自家用車のFC化により、環境に配慮した移動手段を確保（外部給電機能を活用して停電時のエネルギー源としても利用可能）。

<本県における水素社会のイメージ（県民生活：業務・産業）>

業務・産業用の水素利活用のイメージ



- 水電解装置の配備により、太陽光発電による電力を水素に変換し貯蔵することで、天候等により発電量が変動する際にも安定した電力の供給が可能。

参考①：家庭用も含め燃料電池は、電力を貯蔵する蓄電池とは異なり、水素と酸素の化学反応を利用して発電する装置。電気と同時に排熱も利用可能。

参考②：水素は蓄電池のような電力貯蔵による自然放電が生じないため、長期保存に有利と考えられている。



第5 本県における水素社会の実現に向けた取組みの方向性

1 県民の水素に関する理解促進

- ・ 今後、水素の利活用を推進していくためにも、安全・安心という「土台」をしっかりと築いていくことが重要である。
- ・ 県民の水素に対する認知度や理解度は必ずしも高くないと考えられる中、今後県内における利活用を推進していくためには、水素の有用性や安全性に対する理解の促進を図っていく必要がある。

(1) 県民への普及啓発・学習機会の確保

- ▶ 県民の方々への普及啓発活動の実施や、本県の未来を担う小学生等の若者を対象とした学習機会の確保（例：県民が水素に触れて体験できる機会の創出、ガイドブックの作成・配布）を通して、水素の有用性や安全性に関する理解促進を図る。

(2) 県内事業者向け勉強会等の開催

- ▶ 県内事業者の方々を対象とした技術的な勉強会（やまがた水素みらいミーティング）や先進事例を視察する機会の創出を通し、水素の有用性や安全性に関する理解促進や水素利活用に向けた機運醸成を図る。

《令和5年度「やまがた水素みらいミーティング」の開催状況》

| | |
|-----|---|
| 第一回 | <ul style="list-style-type: none"> ● 期日：令和5年7月3日（月） ● 会場：山形県高度技術研究開発センター ● 内容：政府動向と再エネ由来水素製造の先進事例 <ul style="list-style-type: none"> ・ 事業説明 県環境エネルギー部 ・ 講演『水素基本戦略について』 ・ 講演『始動するGX！やまなしから始まる水素エネルギー社会』 |
| 第二回 | <ul style="list-style-type: none"> ● 期日：令和5年8月9日（水） ● 会場：酒田市公益研修センター ● 内容：港湾地域の水素利活用 <ul style="list-style-type: none"> ・ 事業説明 県環境エネルギー部、県土整備部 ・ 講演 港湾地域の水素利活用について |



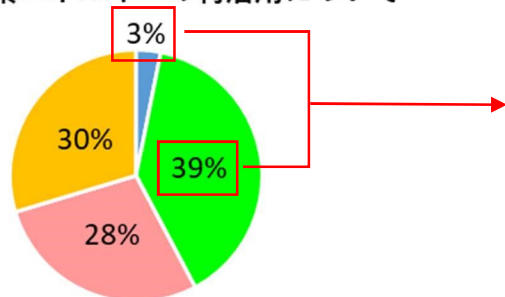
第三回

- 期日：令和5年10月16日（月）
- 会場：山形県高度技術研究開発センター
- 内容：水素関連部品製造
 - ・ 講演『水素社会を取り巻く環境、規制、規制緩和』
 - ・ 講演『水素インフラを構成する機器、部品』
 - ・ 講演『高圧水素用機器を製造するために必要な知識・技術』

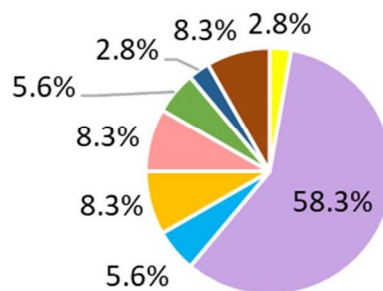
<参考：水素利活用に係る事業者アンケートの結果について（R5.9月実施）>

※対象：県内製造業者及び運輸事業者
（対象事業者数及び回答数は非開示）

(1) 水素エネルギーの利活用について

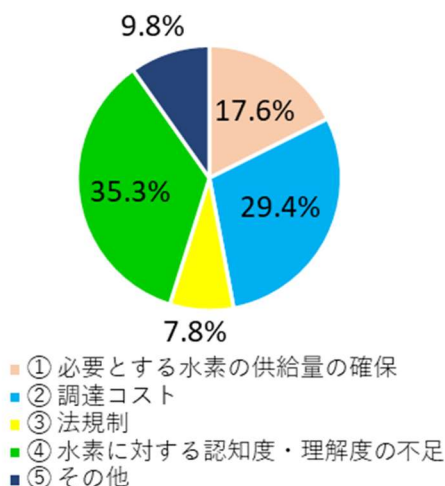


(2) 水素利活用の検討内容について



- ① 今後積極的に取り組みたい
- ② 普及状況によって導入を検討したい
- ③ 導入する予定はない
- ④ 考えたことがない
- ① 再生可能エネルギーからの水素製造
- ② 業務用車両へのFCVの導入
- ③ FCフォークリフトの導入
- ④ 業務・産業用燃料電池の導入
- ⑤ 水素パイラーの導入
- ⑥ 水素バーナーの導入
- ⑦ 水素ステーションの整備・運営
- ⑧ その他

(3) 水素エネルギーを導入する際の課題について



《参考》 水素の性質について

(新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「NEDO 水素エネルギー白書」(2015年2月)を基に作成)

(1) 基本的事項

- ▶ 水素は、単体では自然界にほとんど存在せず、水などのように他の元素との化合物として地球上に大量に存在する。

[水素の特徴]

- ・ 宇宙で最も豊富に存在する元素で、質量は宇宙全体の約70%を占める。
- ・ 水素単体では自然界にほとんど存在せず、地球上では化合物として存在する(水、化石燃料、有機化合物など)。
- ・ 無色、無味、無臭の気体。
- ・ 最も軽い気体(空気に対する比重0.0695)で、拡散速度が速い。
- ・ 燃焼すると酸素と反応して水になる。
- ・ -252.6°C で液化する。

(2) 水素の性質

- ▶ 水素と身近なエネルギーであるガソリン・天然ガス(都市ガスの主成分)などの物理的性質の違いは次表のとおり。
- ▶ 水素は、ガソリンや天然ガスと同様に可燃性のガスであり、高圧下においては金属材料を脆化するという特徴がある。また、滞留させてしまうと空気と混合し危険性が高まるが、一方で、空気中での拡散が速く、着火温度が高いことから自然発火しづらく、熱放射による被害や類焼が少ないという特徴も有する。

| | メタン | プロパン | ガソリン | 水素 | 水素の特性 |
|--|-----------|--------|---------------|-----------|-----------------------|
| 拡散係数(空气中)[cm^2/s](1atm、 20°C) | 0.16 | 0.12 | 0.05 (ガス状) | 0.61 | 拡散しやすい 小孔から透過しやすい |
| 金属材料の脆化 | なし | なし | なし | あり | 金属を脆く、割れやすくする |
| 発火点($^{\circ}\text{C}$) | 537 | 432 | 300 | 500 | 自然発火しづらい |
| 燃焼範囲(下限-上限)(vol%) | 5.3-15 | 2.1-10 | 1.0-7.8 | 4.1-75 | 燃焼可能濃度範囲が広い |
| 熱放射(輻射率 ϵ) | 0.15~0.35 | ガソリン並 | 0.3~0.4 | 0.04~0.25 | 熱放射による被害や類焼が少ない |
| 最大燃焼速度(cm/s) | 43.0 | 47.2 | 42.0 | 346 | 爆風圧が大きい、ジェット火炎が保炎しやすい |

(3) 水素の安全対策について

- ▶ 安全に利用するためには、まずは漏洩の防止に努め、仮に漏洩した場合でも速やかに拡散させ、滞留を防ぐことが必要であるため、現在水素を利活用する設備（水素ステーション、FCV等）は、仮に水素が発生・漏洩しても滞留しない工夫が施されている。
- ▶ このように、安全な水素の利活用を進めるためにも、水素の性質や特徴を踏まえた技術と制度が必要不可欠である。

(4) 水素の安全利用のための規制

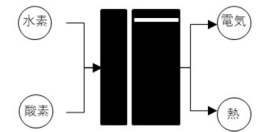
- ▶ 水素の安全に関しては、高圧ガス保安法を中心としながら、様々な法律によって規制が定められている。

[高圧ガス保安法とその他の主な法律]

| | |
|-----------------------|--|
| 高圧ガス保安法 | <ul style="list-style-type: none">・高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱い及び消費並びに容器の製造及び取扱いを規制・民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進 |
| 消防法 | <ul style="list-style-type: none">・水素ガス施設（高圧ガス製造所、貯蔵所）と危険物施設（製造所、貯蔵所及び取扱い所など）との間に保安距離を設けることなどを規定 |
| 建築基準法 | <ul style="list-style-type: none">・可燃性ガスである水素について用途地域毎に最大貯蔵量の制限を規定 |
| 道路運送車両法・ 道路交通法・港則法 | <ul style="list-style-type: none">・高圧ガスの輸送時に起こり得る危険事態を予測し、重量制限や使用車両及び船について規制 |

2 県民生活に根差した水素の利活用推進

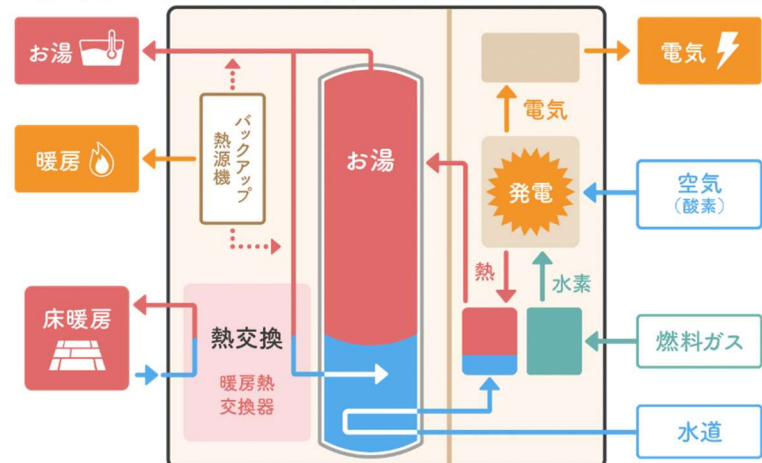
- 本県における水素社会の実現に向けては、全国的に普及しつつある燃料電池やFCVなど、身近な生活における利活用の推進が必要である。



(1) 電力・熱需要の脱炭素化とレジリエンスの強化

- ▶ 燃料電池とは、水素と酸素を化学反応させ電気を取り出す発電装置であり、発電効率が高く、有害物質を排出しないことから、脱炭素化に貢献する機器として期待されている。また、排熱を取り出すこともできるため、家庭や事業所、工場等の様々な熱需要に応えることができるほか、省エネ機器としてだけでなく、災害等による停電時のバックアップ電源として活用することができる。
- ▶ 家庭用の燃料電池であるエネファームは、給湯の省エネ化に加え、家庭の電力需要の約7割をカバーできるとされている。発電に必要な水素は都市ガスやLPガスから取り出し、空気中の酸素と反応させる仕組みとなるが、近年では、ガス改質を行わずに直接水素の供給を受けて発電する「純水素燃料電池」の研究開発も進んでいる。将来的には家庭の敷地内に水素を貯蔵するタンクを設置し、配管を通して燃料電池へ水素を供給する方法や、近隣の水素ステーションから地下のパイプラインを通して供給するなど、水素の供給方法も利用者のニーズに合わせて多様化していくことが考えられる。
- ▶ エネファームに関し、政府では第6次エネルギー基本計画において、2030年までに国内で300万台の普及を目指すこととしている。本県では2020年時点で約370台（同時点全国実績：約40万台）の導入状況となっており、現時点では、高コストであることや機能に関する理解が十分ではない可能性が考えられるが、家庭部門における温室効果ガス排出割合が高い本県にとって削減に有効な手段であり、メリットの周知や導入事例の紹介等、普及に向けた取組みが必要である。
- ▶ 熱需要が豊富な工場等においても、業務・産業用燃料電池や水素ボイラー等による水素の利活用は、脱炭素化に有効であることから、同様の取組みが必要である。

＜参考：エネファームの仕組み（イメージ図）＞



(出典：経済産業省資源エネルギー庁ホームページ)



(2) 運輸部門における活用



- ▶ 本県における温室効果ガスの排出状況は運輸部門（自動車）が2割を超えており、「ゼロカーボンやまがた 2050」の実現に向けた取組みを進めていくうえで重要な分野の一つである。
- ▶ F C Vは、水素と酸素の化学反応により燃料電池内で発電した電気エネルギーを使いモーターを回して走る自動車であり、ガソリン車にガソリンを補給するように燃料となる水素を充填することで走行することができる。
走行中に排出されるのは水のみであり、二酸化炭素を排出しないほか、1回あたりの水素充填時間はガソリン車と同等で、航続距離が長い等の利点を有している。
- ▶ そのため、乗用車に加え、バスやトラック、タクシーなどの商用車を中心とするモビリティのF C化は、自動車保有割合が高い本県にとって脱炭素化に向けた有効な手段であると考えられる。
- ▶ 運輸部門のF C化を進めるうえで両輪となる水素ステーションが未だ県内に整備されていないこと等により、現時点での県内におけるF C V導入実績は4台に留まっているところ。今後、公用車へのF C Vの導入やメリットの普及啓発等による導入促進が必要である。

<東北6県のF C V普及状況（令和6年1月現在）>

| | 青森県 | 岩手県 | 宮城県 | 福島県 | 秋田県 | 山形県 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| FCV登録台数 | 2 | 0 | 127 | 438 | 0 | 4 |
| 全登録台数 | 503,464 | 523,050 | 992,545 | 910,351 | 395,438 | 476,606 |

※大型特殊自動車、被けん引車、小型二輪自動車及び軽自動車は含まない。

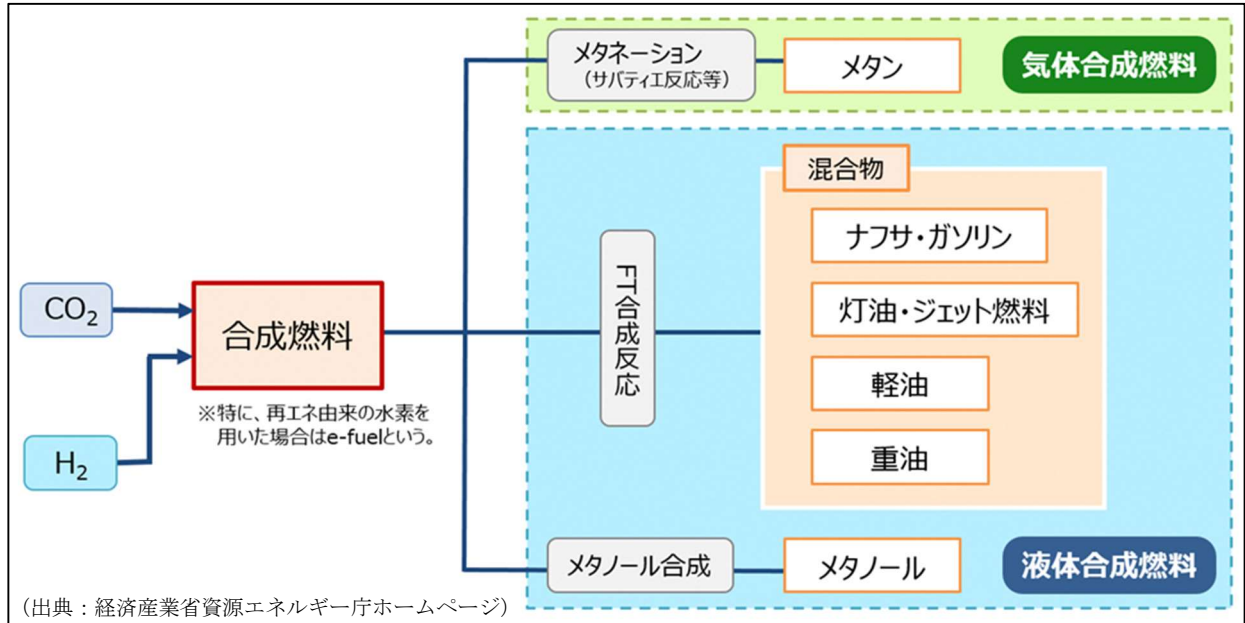
（出典：国土交通省東北運輸局ホームページ掲載情報を基に作成）

(3) 水素を活用したエネルギーの利用（合成メタン・合成燃料等）

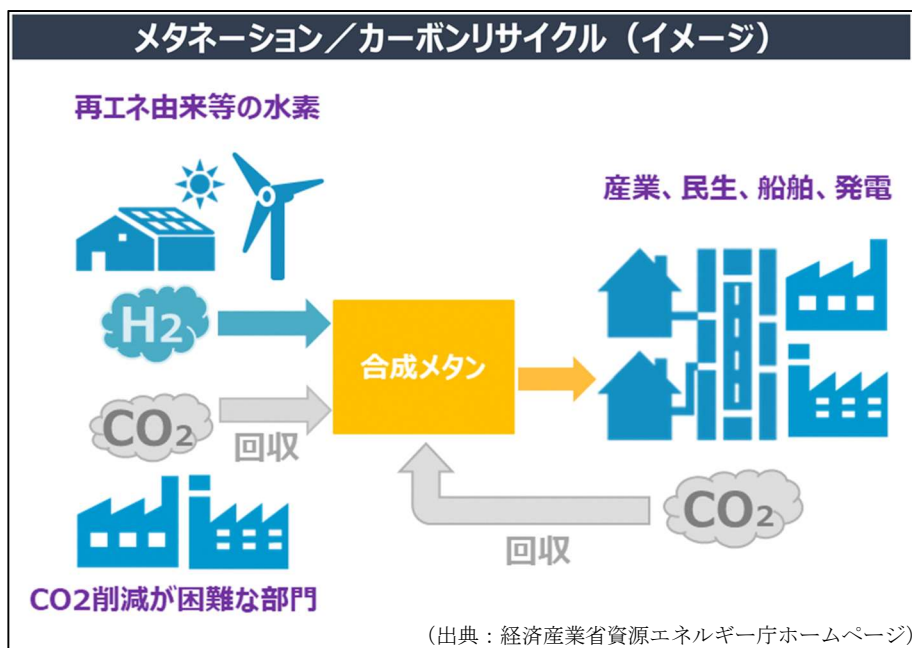
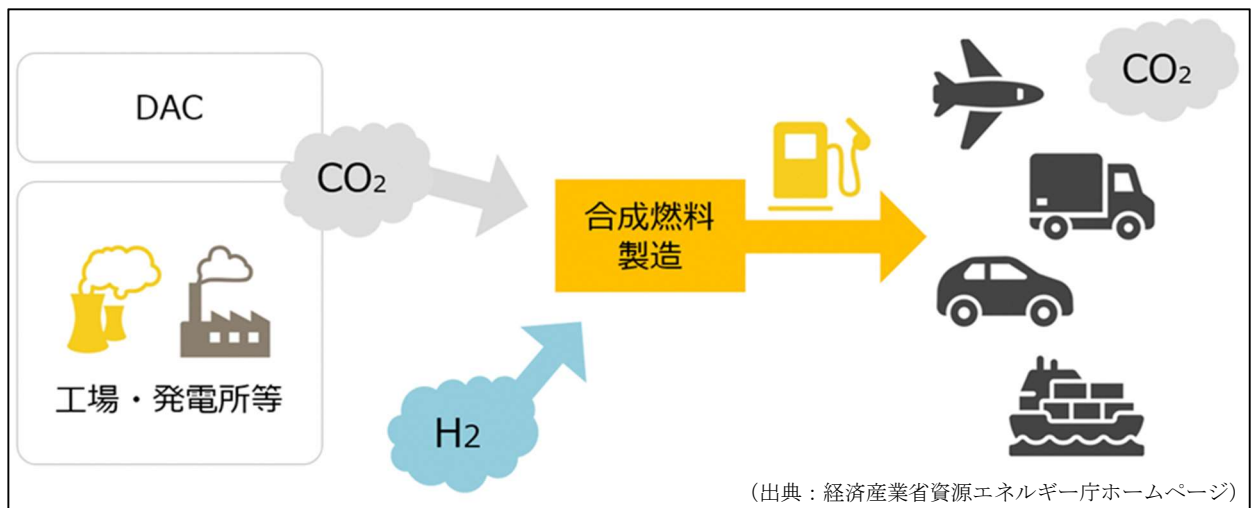
- ▶ 水素と二酸化炭素を反応させて製造する合成メタンや合成燃料は、現時点では、二酸化炭素を増加させない生産技術の確立や水素の確保、生産コストの低減等が課題となっているが、化石燃料の代替燃料として、発電所や工場等から排出される二酸化炭素を有効利用する技術であり、特に、電化が困難な熱需要の大きい産業部門における脱炭素化に向けたキーテクノロジーの一つとして期待されている。
- ▶ また、都市ガス等の既存の供給インフラ設備を利用することができることから、設備投資に係る経済効率性に優れている。
- ▶ こうしたカーボンリサイクル技術の社会実装に向け、政府では、今後、技術開発・研究開発を推進していくとしている。本県においてもこうした動向を注視しながら、導入メリットや先行導入事例等の情報収集、県民や事業者への情報提供等を行っていく。



<製造方法の概要>



<二酸化炭素の再利用のイメージ>



3 水素の導入拡大を通じた県内産業の振興

- ・ 県内における水素関連産業の構築にあたっては政府の施策を基本としながら、本県が有する多彩で豊富な地域資源と個々の企業が培ってきた優れた技術力を活かし、水素の利活用を通じたクリーンエネルギーへの転換と県内産業の振興によるGXの実現に向けた取組みを推進する。

(1) 水素を活用した企業活動における脱炭素化と競争力強化

- ▶ 本県には歴史ある伝統産業のほか、機械器具製造や電子部品・デバイス製造などの分野を中心とする多彩なものづくり産業が集積している。
- ▶ 一方で、部門別の温室効果ガス排出状況を見てみると、産業部門、とりわけ製造業における排出割合が最も高い状況となっている。
- ▶ 政府では、国際的な企業取引における脱炭素化方針準拠の要請や金融取引における温室効果ガス排出量の把握など、サプライチェーン全体でカーボンニュートラルを目指す動きがあること等を踏まえ、再エネ設備の導入や高効率な生産設備への入替の促進、グリーン製品が選定されるような市場の創出等の施策を進めていくこととしている（経済産業省「中小企業のカーボンニュートラル施策について（R4.7月）」）。
- ▶ 水素はその利活用において、燃料や原料として幅広い産業分野での活用が見込まれており、有効に利活用することによって、企業活動における脱炭素化の実現、更にはそれに伴う企業価値の向上による競争力の強化につながっていくものと考えられ、そのための環境整備等への支援を行っていく必要がある。（例：補助や融資による設備投資支援、市場のグリーン化に関する情報提供 等）

(2) 県内企業の水素関連ビジネスへの参入促進

- ▶ 政府は、水素基本戦略において「国内外のあらゆる水素ビジネスで、我が国の水素コア技術（燃料電池・水電解・発電・輸送・部素材等）が活用される世界を目指す」こととしている。優れた技術基盤を有する本県産業においては、水素の製造から貯蔵・輸送・利活用に至るまでのサプライチェーンに付随する様々な水素関連ビジネスに参入できるチャンスがあると考えられ、雇用創出、県内産業の振興が期待される。県内における水素関連産業の創出・活性化に向け、水素関連ビジネスへの参入を促進していく（例：事業者向けの技術やビジネスに関する勉強会の開催、先進事例の情報提供、マッチング支援、補助・融資による設備投資支援等）。

(3) 県内産業の振興に向けた産学官金連携の促進

- ▶ 政府や先進自治体、民間企業、大学、試験研究機関、金融機関等と連携しながら、県内における水素需要の開拓や県内企業が有する優れた技術をつないだ水素関連ビジネスシーズの検討を促進する。

《参考》 水素関連ビジネス（実証事業の事例）

- ・ これまで国内で行われてきた実証事業には、今後、サプライチェーンに付随する様々な水素関連ビジネスの県内における創出と地域展開につながる可能性がある。その主な事例は以下のとおり。（出典：環境省ホームページ掲載情報を基に作成）

①事例 A

- ・ 事業名：地域の再エネを有効活用したCO₂フリー水素製造・供給実証事業
- ・ 概要： 太陽光発電や風力発電、北九州市内のごみ発電（バイオマス）などの複数の再エネ設備を有効活用し、水素を製造。製造した水素は既存の水素パイプラインや水素ステーションを活かし、住宅や施設、FCVなど様々な用途で水素を利用。

②事例 B

- ・ 事業名：燃料電池フォークリフト導入とクリーン水素活用モデル構築
- ・ 概要： 風力発電を利用することで水素を製造し、貯留・圧縮するシステムを整備。製造した水素は、簡易型水素充填車により輸送し、青果市場や工場、倉庫に導入したFCフォークリフトで使用。

③事例 C

- ・ 事業名：既存の再エネを活用した水素供給低コスト化に向けたモデル構築・実証事業
- ・ 概要： 太陽光発電による製造した水素を、低圧のカセット（水素吸蔵合金）を利用し貯蔵・輸送。一般家庭や店舗、公共施設での燃料電池へ供給し、電気と熱を利用。

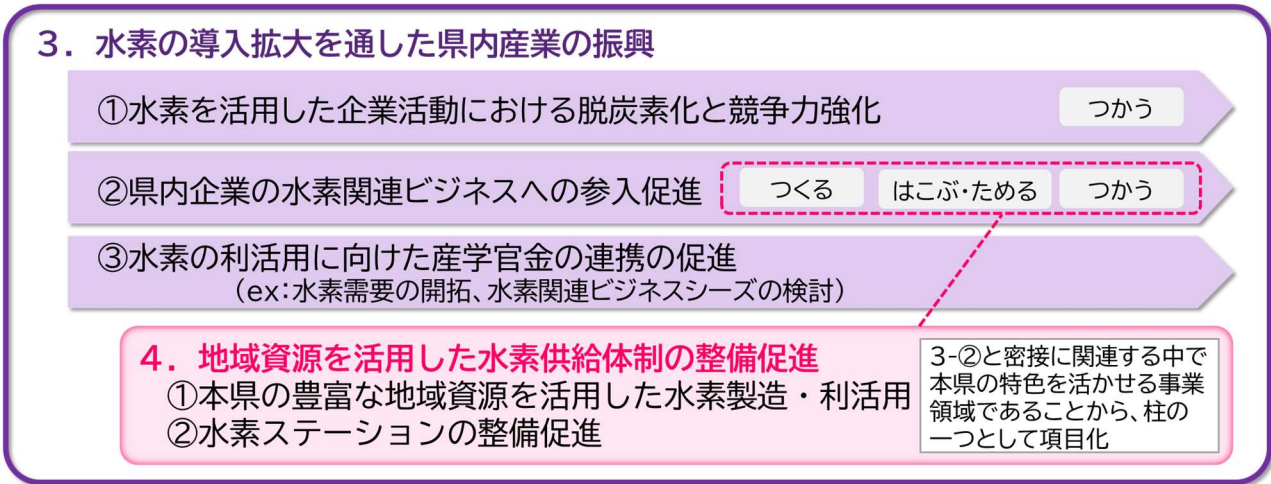
④事例 D

- ・ 事業名：家畜ふん尿由来水素を活用した水素サプライチェーン実証事業
- ・ 概要： 牛舎の家畜ふん尿をメタン発酵することで得られるバイオガスから製造した水素を、FCVやFCフォークリフト、地域内施設の燃料電池等で利用。

4 地域資源を活用した水素供給体制の整備促進

- ・ 取組みの方向性3で示した水素の導入拡大を通じた県内産業の振興（特に「つくる」「はこぶ」「ためる」「つかう」それぞれの産業領域の振興を通じたサプライチェーンの構築）、更には将来的なグリーン水素の製造に向けて、グレー水素やブルー水素のほか、県外・国外からの受入れも含め、まずは県内における水素供給基盤の整備が重要である。

<取組みの方向性3・4の関係（イメージ）>



(1) 本県の豊富な地域資源を活用した水素の製造・利活用

- ▶ 太陽光や風力など、本県が有する豊富な地域資源を活用し水素を製造することは、CO₂の削減だけではなく、エネルギーの地産地消を実現する観点からも意義が大きい。
- ▶ そのような再生可能エネルギー由来の水素製造におけるキーテクノロジーとして注目されているのが水電解装置であり、世界的に市場が拡大している。
国内においても、福島県や山梨県において水電解装置を使った水素製造の実証事業が展開されているところであるが、実用化に向けては水電解装置のコスト低減や性能の向上等が課題となっている。
- ▶ こうした先進技術を活用したグリーン水素の製造による自立的な水素サプライチェーンの将来的な構築や、本県の特色を活かした水素の利活用を推進していくため、グレー水素やブルー水素も含めた様々な実証事業へチャレンジしていく必要がある。

【水素の製造・利活用を進めるうえでの本県の主な特色】

- ・ 太陽光、風力、バイオマス等の豊富な再生可能エネルギー資源
- ・ 全国有数の豪雪地（県内全域が豪雪地帯に指定）
- ・ 車社会 ・ 多様な産業が集積 ・ 豊かな自然に恵まれた農業県
- ・ カーボンニュートラルポートの形成に向けた取組みが進められている酒田港

- ▶ また、県内における水素エネルギーの導入拡大（需要創出）と安定した水素供給体制の確保を図るためにも、隣接県をはじめとする先進自治体と情報共有や意見交換等を行いながら、施策の連携・協働を進めていくことが重要である。

【参考：宮城県との連携について】

- ・ 本県では、時代に先駆ける価値の創造に向けて、新たな連携の方向性を両県で共有し、宮城・山形のポテンシャルを最大限に活かした連携・協働を進めるため、「新 宮城・山形の連携に関する基本構想（未来を共に創る新MYハーモニープラン）」を宮城県とともに平成30年3月に策定。

（プラン抜粋：両県が連携して推進する施策）

- ・ 地域特性に応じた再生可能エネルギーや水素エネルギーの導入拡大
〔取組み例〕セミナー等の共同開催による水素エネルギーの自治体や企業、家庭などへの普及拡大

- ▶ 加えて、政府では「日本は再エネを含む資源賦存量が国内需要に比べ小さく、長期的にも海外水素を輸入することになる見込み（経済産業省資源エネルギー庁「水素社会実現に向けた大規模水素サプライチェーンの構築について（2022年1月）」）であるとしており、本県においては政府の動向を注視しながら、海上輸送を想定した酒田港における受入環境の整備を進めていく必要がある。
- ▶ 酒田港の港湾管理者である本県（県土整備部）では、脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化や、水素等の受入環境の整備等を図るカーボンニュートラルポートの形成を推進するため、「酒田港港湾脱炭素化推進計画」を策定（R6.3月）。
同計画では、再生可能エネルギー発電設備の導入拡大等により港湾の脱炭素化を推進していくこととしているほか、「官民が連携し、再生可能エネルギー電力等を活用したグリーン水素製造などによるエネルギーの地産地消や、海外・国内から水素等を大量輸送するための受入環境整備などを検討し、次世代エネルギーの供給拠点化を目指す」旨の方針を掲げている。

<参考：酒田港港湾脱炭素化推進計画の概要>

1. 計画策定の背景

- 令和4年11月に港湾法が改正され、港湾の官民関係者が一体となって脱炭素化の取組を推進するための枠組みとして「港湾脱炭素化推進計画」制度が創設。
- 県の脱炭素社会の実現に貢献するため、「酒田港港湾脱炭素化推進計画」を策定（令和6年3月）。

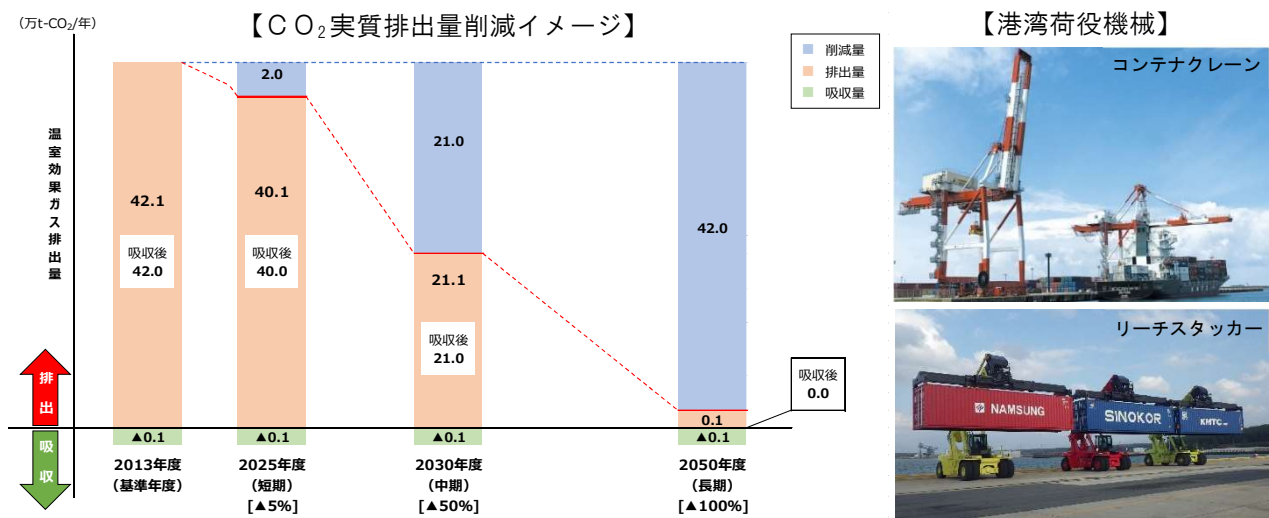
2. 計画期間

- 2050年度

3. 計画の目標

- 酒田港の臨港地区における温室効果ガス排出量の削減等を目標に設定。

| KPI (重要達成度指標) | | 具体的な数値目標 | | |
|------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|
| | | 短期 (2025年度) | 中期 (2030年度) | 長期 (2050年度) |
| KPI 1 | CO ₂ 実質排出量 | 40.0万トン/年 (2013年度比5%減) | 21.0万トン/年 (2013年度比50%減) | 0トン/年 (カーボンニュートラル) |
| KPI 2 | 低・脱炭素型港湾荷役機械導入率 | 0% | 60% | 100% |



4. 取組方針

(1) 脱炭素化の促進

- ①再生可能エネルギー電力および次世代エネルギーの利用
- ②温室効果ガス吸収作用の保全・強化

(2) 脱炭素化に資する港湾の効果的な利用の推進

- ①再生可能エネルギー発電設備の導入拡大
- ②次世代エネルギーの供給拠点化
 - ⇒再生可能エネルギー電力等を活用した水素・合成燃料の製造、供給
 - ⇒海外・国内からの水素等の大量輸送を見据えた受入環境整備

(2) 水素ステーションの整備促進

- ▶ 本県において水素の利活用を促進していくうえで重要な要素となるのが、F C V等への燃料供給拠点となる水素ステーションの整備である。
- ▶ 水素ステーションの整備費及び運営費は徐々に低減しているものの、依然として高コストであり、事業性の確保が困難な状況にある。
- ▶ また、法定点検時等においてはステーションを稼働することができないことから、他の充填場所の確保を考慮した計画的な整備が求められる。
- ▶ 県内では未だ水素ステーションは整備されていない状況であるが、コスト低減に向けた研究開発に取り組んでいる政府や水素ステーションを有する近隣自治体、関連事業者等とも連携し、整備に向けたニーズ把握のほか導入可能性調査事業や整備事業の支援を行っていく。加えて、県内各地における水素ステーションの整備に向け、F C Vの普及等を通し、水素ステーションの需要の喚起に取り組む必要がある。

⇒ 県としてはフェーズ1 (P35「取組みの展開イメージ」参照) の取組みとして、2030年度頃までに県内4地域での水素ステーションの整備(4か所程度)を目指し、支援等を行っていく。



【県内4地域での整備について】

- ◇ 以下の点を考慮し、「県内4地域」での整備を促進。
 - 特色ある歴史と文化を持ち、本県の地域振興の拠点である県内4つの地域(村山・最上・置賜・庄内)における、
 - ・ 県民生活に根差した水素の利活用
 - ・ 水素の導入拡大を通じた産業の振興
 - ビジネスや観光等を目的とした県民及び県外からの来県者の周遊性の確保
 - 法定点検等に伴う水素ステーションの閉鎖により、F C V利用者に見るリスクの回避

<参考：全国の水素ステーション(定置式・移動式)の整備状況 (R5.10月時点) >



【整備費と運営費の推移】

□整備費

(2013年実績) 4.6億円 ⇒ (2021年実績) 3.3億円
⇒ (2025年目標) 2.0億円

□運営費

(2015年実績) 47百万円 ⇒ (2021年実績) 30百万円
⇒ (2025年目標) 15百万円

※補助金実績額(2021年度補助分)より試算(定置式オフサイト・300Nm³/h)

※なお、これ以外にも、補助対象とならない各種設備費(建物内付属事務所、キャノピー、障壁等)や各種運営費(土地代等)が必要となることに留意

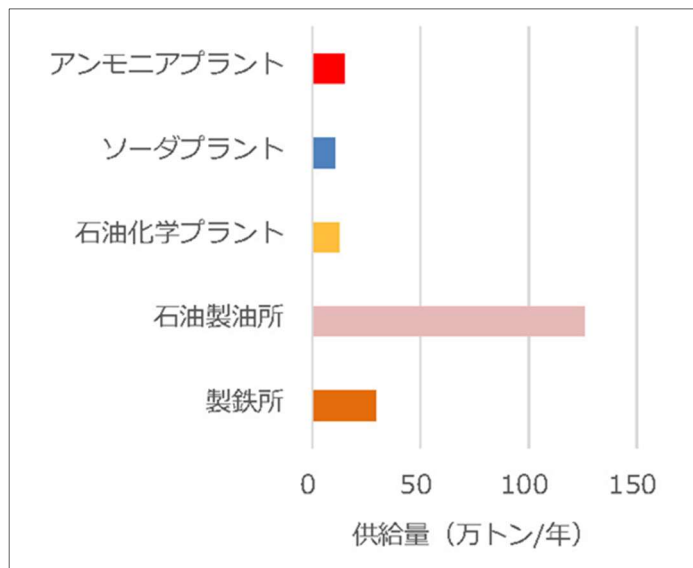
(出典：経済産業省資源エネルギー庁

「モビリティ分野における水素の普及に向けた中間とりまとめ(令和5年7月)」を基に作成

《参考》 水素製造の現状と課題について

1. 国内

- ▶ 水素の製造手段は複数あり、現在国内では石油精製所等で約 193.2 万トン/年の水素が製造されていると推計されている。



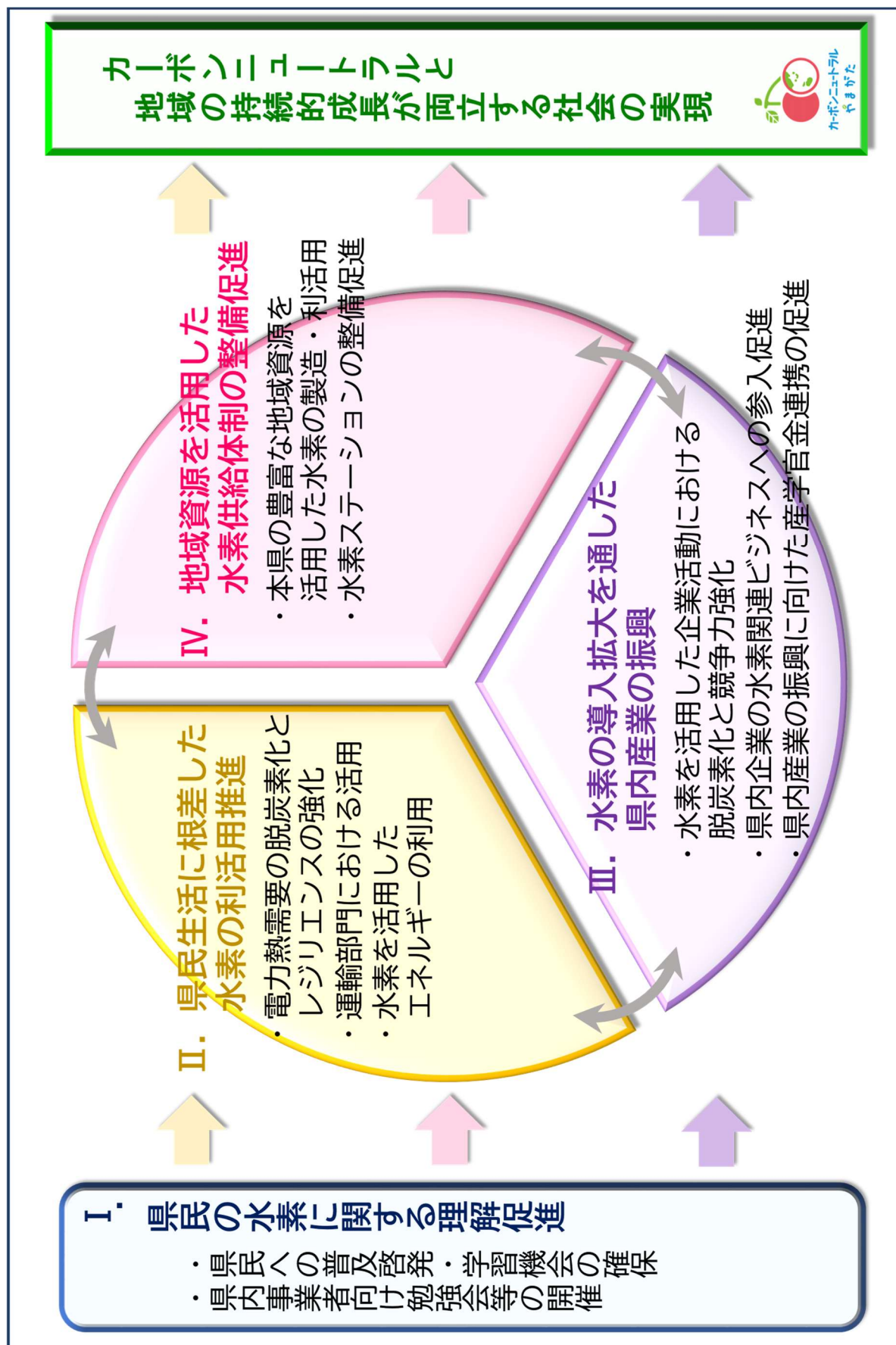
(出典：経済産業省資源エネルギー庁
「水素・アンモニアサプライチェーン投資促進・
需要拡大策について (R4.4月)」)

- ▶ 今後、安価な水素を長期的かつ安定的、大量に供給するためには、需要の創出と国内資源を活用した水素の製造基盤の確立、海外で製造された水素の活用を同時に進めていく必要がある。
- ▶ 脱炭素化に向けて、再生可能エネルギー由来の水素製造のキーテクノロジーである水電解装置への関心が高まっており、一部地域（福島県や山梨県）で 10MW 級の再生可能エネルギー由来の水素製造の実証を行っているが、実用化に向けては以下の点が課題となっている。
 - ・ 水電解装置のコスト低減及び性能の向上
 - ・ 再エネ由来の水素を製造する場合に必要な電源の確保

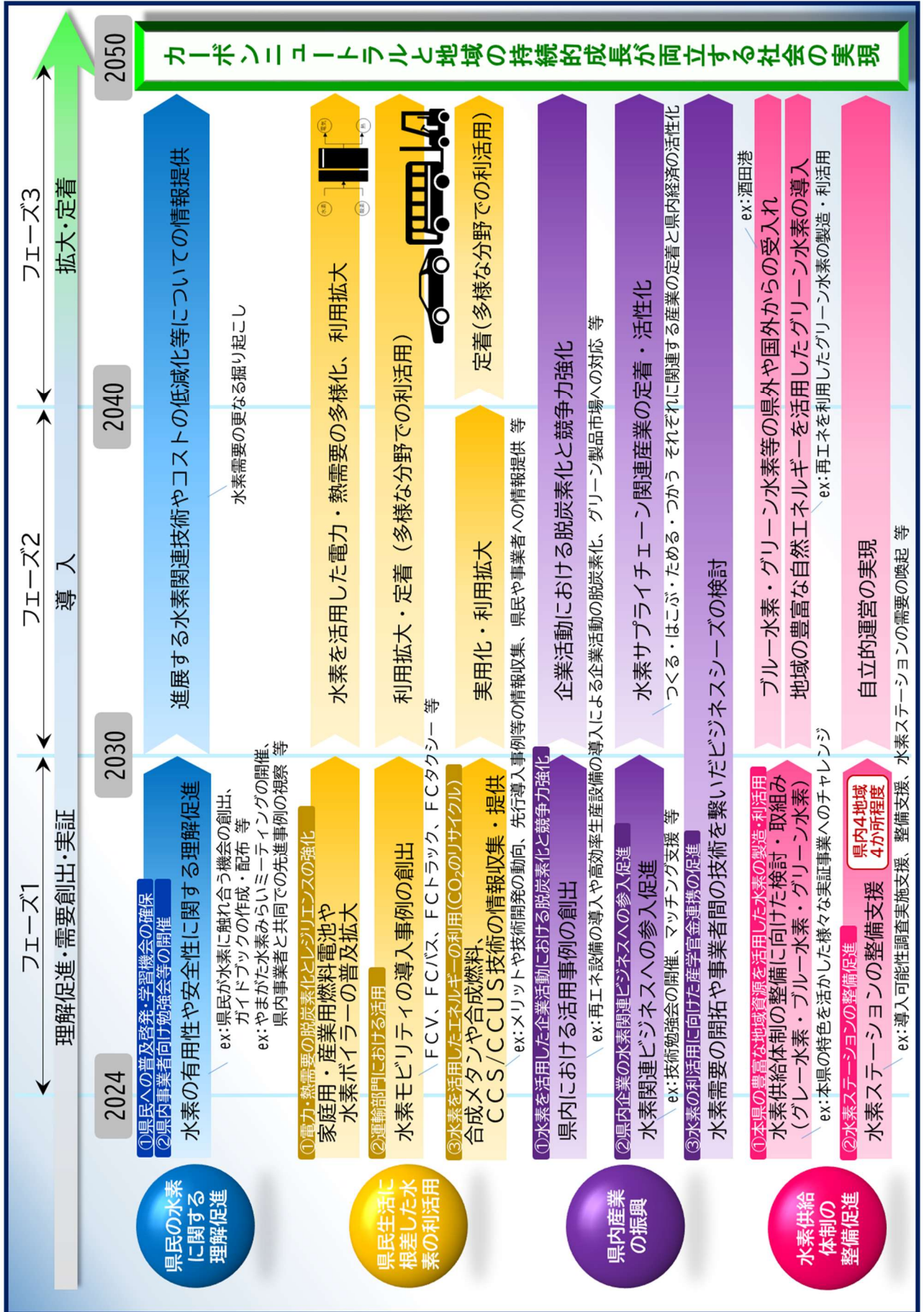
2. 県内

- ▶ 県内には、工場の製造過程で発生する副生成物として水素を製造している事業者が存在している。
- ▶ 県内の水素の需要は一部工場等における限定的な用途に留まっている状況。今後、県内の需要先の創出と並行して需要量に応じた製造方法を検討する必要がある。

(1) 取組みの方向性 (概念図)



(2) 取組みの展開イメージ



《参考》本県の特徴を活かした水素利活用のイメージ

- ▶ 本県の特徴ある歴史や文化、自然環境、産業、暮らしなど、地域特性を活かした水素の利活用を進めていく必要がある。
- ▶ そのためにも、取組みの方向性4に掲げているとおり、本県の豊富な地域資源を活用しながら、グレー水素やブルー水素も含めた様々な実証事業へチャレンジしていく必要がある。

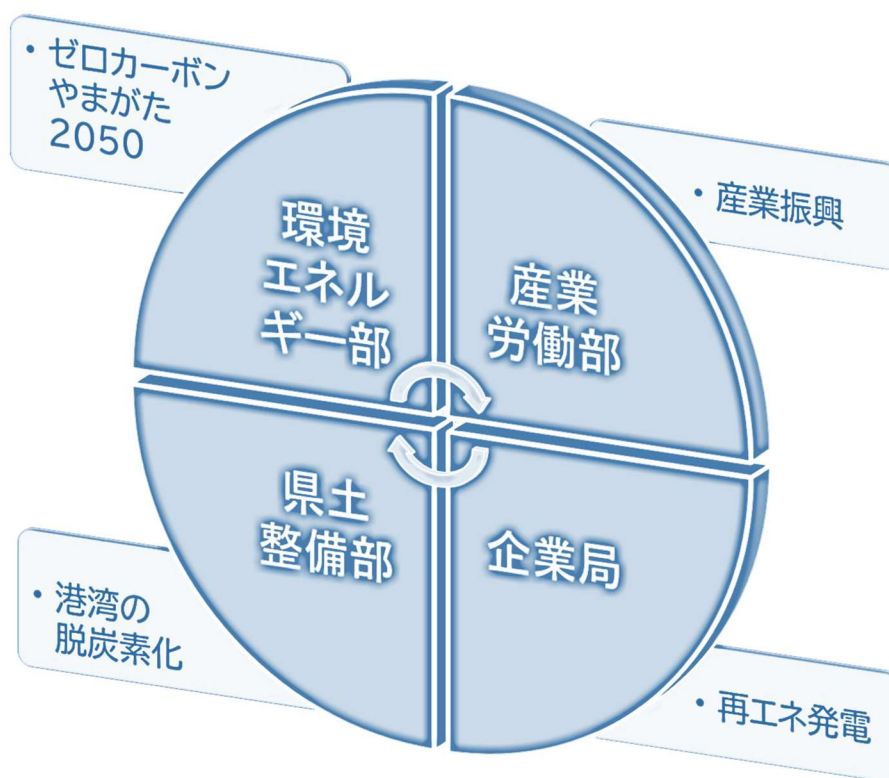
< 本県の特徴を活かした水素利活用のイメージ（主な特色別） >

| 本県の特徴 | 水素利活用のイメージ | |
|-----------------------------------|---------------|--|
| 豊かな再エネ資源 (恵まれた自然環境) | 資源の有効活用 | <ul style="list-style-type: none"> 再エネ由来電力の一部を水素に変換し、輸送・貯蔵することで、県内におけるエネルギーの地産地消と安定供給を実現 |
| 豪雪地 (県内全域が豪雪地帯に指定) | 融雪 | <ul style="list-style-type: none"> 水素による発電時の熱エネルギーを利用し、屋根や駐車場の雪を融解 |
| 車社会 (世帯当たり自家用車保有台数全国3位) | 自動車 | <ul style="list-style-type: none"> 各家庭でFCVが普及、バスやタクシー等のモビリティもFC化 両輪となる水素ステーションも併せて普及(観光地にも整備され周遊性を確保) FCVや水素ステーション関連ビジネスへの参入により県内産業が活性化 |
| 多彩な産業が集積 (ものづくり, 研究開発等) | 産業活動に要する電気・熱 | <ul style="list-style-type: none"> 燃料電池や水素ボイラーの普及により、工場等における電気や熱需要を脱炭素化 水素バーナーの使用により環境配慮型の製品を製造 |
| 農業県 (米, 野菜, 果物, 肉, 酒等) | 農業機械・施設 | <ul style="list-style-type: none"> トラックやフォークリフトをFC化 ハウス栽培用の暖房として水素を活用 家畜のふん尿(バイオガス)から水素を製造 |
| 酒田港 (本県唯一の重要港湾) | カーボンニュートラルポート | <ul style="list-style-type: none"> コンテナクレーン等の荷役機械の稼働に水素を活用 海外・国内からの海上輸送による受入 |

第6 山形県水素ビジョンの推進

○ 推進体制

- 関係部局とともに令和5年度に立ち上げた「山形県水素社会実現プロジェクトチーム」が中心となりながら、庁内各部局や政府、先進自治体、県内各市町村のほか、水素サプライチェーンに関連する産業団体等との連携・協働により、水素社会実現に向けた取組みを推進していく。
- また、適宜、取組状況についてプロジェクトチームをはじめとする庁内各部局や関連団体等と情報共有を図るとともに、進捗を踏まえた具体的な施策の導入や本ビジョンの見直しの必要性等について検討する。



| プロジェクトチーム構成 | | 関連施策 |
|-------------|-----------------------|-------------------|
| 環境エネルギー部 | 環境企画課カーボンニュートラル・GX戦略室 | ゼロカーボンやまがた2050の実現 |
| | エネルギー政策推進課 | エネルギー戦略の推進 |
| 産業労働部 | 産業技術イノベーション課次世代産業振興室 | 水素関連産業の振興 |
| | 商業振興・経営支援課 | 事業者支援（補助・融資等） |
| 県土整備部 | 空港港湾課 | カーボンニュートラルポートの形成 |
| 企業局 | 総務企画課 | 再生可能エネルギー由来発電 |



《參考資料》



1 山形県水素ビジョン策定検討委員会設置要綱

(設置の目的)

第1条 2050年のカーボンニュートラルの実現に向け、本県として目指すべき水素社会の姿とそれに向けた今後の取組みの方向性を示すビジョンを策定するため、山形県水素ビジョン（仮称）策定検討委員会（以下「検討委員会」という。）を設置する。

(所掌事務)

第2条 検討委員会は、次の各号に掲げる事務を所掌する。

- (1) 本県として目指すべき水素社会の姿とそれに向けた今後の取組みの方向性を示すビジョンの策定。
- (2) その他、ビジョン策定のために必要な事項に関すること。

(検討委員会)

第3条 検討委員会の委員は、知事が委嘱する学識経験者その他専門的知見を有する者をもって構成する。

- 2 委員の任期は、委嘱の日から令和6年3月31日までとする。
- 3 検討委員会に委員長を置き、委員の互選によって選出する。
- 4 委員長は検討委員会を招集し、議長となりこれを主宰する。
- 5 委員長は、必要があると認めるときは、委員以外の関係者に出席を求め、意見等を述べさせることができる。
- 6 委員長に事故あるとき又は委員長が欠けたときは、委員長があらかじめ指定する委員がその職務を代理する。

(庶務)

第4条 検討委員会の庶務は、環境エネルギー部環境企画課において処理する。

(その他)

第5条 この要綱に定めるもののほか、検討委員会の運営に必要な事項は、委員長が別に定める。

附 則

この要綱は、令和5年7月6日から施行する。



2 山形県水素ビジョン策定検討委員会委員名簿

(氏名：五十音順・敬称略)

| | 所 属 | 職 名 | 氏 名 |
|----|-------------------------------------|----------------|---------|
| 1 | 株式会社山形銀行 | 営業支援部長 | 阿 部 徹 |
| 2 | 第一貨物株式会社山形支社 | 取締役支社長 | 遠 藤 誠 |
| 3 | 加藤総業株式会社 | 代表取締役社長 | 加 藤 聡 |
| 4 | 岩谷産業株式会社東北支社 | 仙台支店長 | 木 下 慶 一 |
| 5 | 東京大学先端科学技術研究センター | 教授 | 河 野 龍 興 |
| 6 | 日本重化学工業株式会社 | 取締役兼 山形事業所長 | 高 橋 誠 司 |
| 7 | サントリーホールディングス株式会社 サステナビリティ経営推進本部 | 副本部長 | 西 脇 義 記 |
| 8 | 株式会社ヤマコー | 代表取締役社長 | 平 井 康 博 |
| 9 | 山形酸素株式会社 | 執行役員 | 三 澤 新 |
| 10 | 山形大学大学院 有機材料システム研究科 | 教授 | 吉 田 司 |

計 10 名



3 山形県水素ビジョン策定検討委員会開催経過

| 年月日 | 会議等 | 内 容 |
|------------|-----------------------|------------------------|
| 令和5年9月15日 | 山形県水素ビジョン策定検討委員会（第1回） | 山形県水素ビジョンの策定と方向性について協議 |
| 令和5年11月14日 | 山形県水素ビジョン策定検討委員会（第2回） | 山形県水素ビジョン（骨子案）について協議 |
| 令和6年2月9日 | 山形県水素ビジョン策定検討委員会（第3回） | 山形県水素ビジョン（案）について協議 |

4 用語集

● エネルギー起源二酸化炭素

石炭や石油などの化石燃料を燃焼して作られたエネルギーを消費することによって生じる二酸化炭素のこと。一方、工業プロセスにおける化学反応で発生する温室効果ガスや廃棄物の処理などで発生する二酸化炭素のことを非エネルギー起源二酸化炭素という。

● エネルギーキャリア

気体のままでは貯蔵や長距離の輸送の効率が低い水素を液体や水素化合物に変換し効率的に貯蔵・運搬する方法。

● エネルギーの地産地消

地域で消費するエネルギーを従来型の化石燃料等によるエネルギーではなく、その土地の日照や風況といった気象条件、水や緑といった再生可能エネルギーを活用することで、温室効果ガス排出量の削減やエネルギー供給のリスク分散を図る取り組み。

● 温室効果ガス

大気中に含まれる二酸化炭素やメタン、一酸化窒素、フロンなど、太陽光の熱を蓄え、地表の温度を一定に保つ働きを持った気体のこと。

地球温暖化対策の推進に関する法律（平成 10 年法律第 117 号）で定める温室効果ガスは、二酸化炭素、メタン、一酸化窒素、ハイドロフルオロカーボン類、パーフルオロカーボン類、六フッ化硫黄、三フッ化窒素の 7 物質。

● カーボンニュートラル

二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの「排出量」から、森林などによる「吸収量」を差し引いて、合計を実質的にゼロにすること。

● カーボンニュートラルポート

水素・燃料アンモニア等の大量・安定・安価な輸入・貯蔵等を可能とする受入環境の整備や脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化、集積する臨海部産業との連携等を通じて、温室効果ガスの排出をゼロにする港湾のこと。

● カーボンリサイクル

発電所や工場等から排出される二酸化炭素を資源としてとらえ、分離・回収して様々な製品や燃料に再利用することで、二酸化炭素の排出を抑制する取り組み。

- **グリーン水素（グレー水素、ブルー水素）**

再生可能エネルギーを利用することで、水素の製造過程において二酸化炭素を排出することなくつくられた水素のこと。

- グレー水素 … 天然ガスや石炭等の化石燃料を利用してつくられた水素のこと。製造過程で排出された二酸化炭素は大気中へ放出される。
- ブルー水素 … 水素の製造に化石燃料を利用する点ではグレー水素と同様であるが、製造過程で排出された二酸化炭素を回収し貯留・利用する「CCS」「CCUS」技術と組み合わせ、二酸化炭素の排出量を抑えつくられた水素のこと。

- **合成燃料**

発電所や工場などから排出された二酸化炭素と水素を合成して製造される石油代替燃料のこと。石油と同じ炭化水素化合物の集合体で、ガソリンや灯油など、用途に合わせて利用できる。（再エネ由来の水素を用いた場合は「e-fuel」という。）

- **合成メタン**

二酸化炭素と水素から合成（メタネーション）されるメタン。空調や給湯などの燃料として天然ガスの代わりに利用可能。また、利用時に二酸化炭素が発生するが、メタネーションの原料に使用することで、再び合成メタンを製造できるというメリットがある。（再エネ由来の水素を用いた場合は「e-methane」という。）

- **水素基本戦略**

世界に先駆けて水素社会を実現するため、政府が2017年に策定した戦略。2023年6月の改定では、新たに2040年における水素導入目標を1,200万トン/年と設定するなど、水素社会実現に向けた取組みを加速化することとした。

- **水素吸蔵合金**

金属結合内に容易に侵入する水素の性質を利用して、冷却や加圧により水素を吸蔵（貯蔵）し、加熱や減圧により放出することができる合金のこと。

- **水素サプライチェーン**

水素を製造（つくる）し、輸送（はこぶ）、貯蔵（ためる）から利用（つかう）に至るまでの一連の流れ。

- **水素ステーション**

燃料電池自動車（FCV）の燃料である水素を供給する場所。水素ステーションは、ステーション内で水素を製造し、圧縮・蓄圧・充填する「オンサイト方式」、ステーション外で製造された水素を搬送し、ステーション内で圧縮・蓄圧・充填する「オフサイト方式」、水素供給設備を搭載した車両を移動し充填する「移動式」の3タイプに分けられる。

- **第4次山形県環境計画**

環境の保全と創造に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための計画として令和3年3月に策定したもの。令和3年度から令和12年度までの10年間を計画期間とし、「持続的発展が可能な豊かで美しい山形県」の実現に向けた目指すべき方向を提示。また、ゼロカーボンへのチャレンジをテーマとしており、「ゼロカーボンやまがた2050」達成イメージを提示している。

- **脱炭素社会**

地球温暖化の要因とされる温室効果ガスの排出量を、森林等による吸収量以下に低減させ、排出量「実質ゼロ」にする社会のこと。

- **燃料電池**

水素と酸素を反応させて発電した電気を取り出す装置。電気と同時に熱も利用できるためエネルギー効率が非常に高いほか、排出されるのは水のみのため環境負荷が低い。

燃料電池自動車（FCV）や家庭用燃料電池（エネファーム）などが実用化されている。

- **バイオマス**

動植物などから生まれた生物資源の総称で、この資源を活用して発電することをバイオマス発電と言う。

バイオマスは、その賦存状態により、①廃棄物系バイオマス（家畜排せつ物、食品廃棄物等）、②未利用バイオマス（林地残材等）、③資源作物（油脂資源等）に分類される。バイオマスを燃焼させた際に放出される二酸化炭素は、化石資源を燃焼させて出る二酸化炭素と異なり生物の成長過程で光合成により大気中から吸収した二酸化炭素であるため、大気中で新たに二酸化炭素を増加させない「カーボンニュートラル」な資源と言われている。

- **副生水素**

石油精製や化学工業などで水素を製造する際や、水素苛性ソーダ・塩素ガスを製造する際に副次的に発生する水素。

- **水電解**

水の電気分解によって、酸素と水素を発生させる方法。水電解は、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー由来の電源と組み合わせることで、二酸化炭素を排出せずに水素を製造することができる。

- **山形県エネルギー戦略**

今後 20 年間のエネルギー政策の基本的枠組みと具体的な政策の展開方向を示す戦略として平成 24 年 3 月に策定。令和 3 年度から令和 12 年度までをエネルギー戦略の後期 10 年間と位置付け、3 年ごとの見直しを行いながらエネルギー関連施策を展開している。

- **山形県脱炭素社会づくり条例**

2050 年までの脱炭素社会の実現に向け、基本理念を定め、県、事業者及び県民の責務を明らかにするとともに、施策の基本事項を定め、総合的かつ計画的に施策を推進すること等を目的として制定した条例（令和 5 年 4 月 1 日施行）。

- **CCS/CCUS**

CCS は、「Carbon dioxide Capture and Storage」の略で、日本語では「二酸化炭素回収・貯留」技術と呼ばれる。発電所や化学工場などから排出された二酸化炭素を集め、地中深くに貯留・圧入するもの。また、回収した二酸化炭素の利用を含めた技術については「CCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）」と呼ばれる。

- **DAC**

「Direct Air Capture」の略で、大気中の二酸化炭素を直接回収する技術。早期実現に向けた研究・開発・実証が進められている

- **FCV**

「Fuel Cell Vehicle」の略で、燃料電池内で水素と酸素の化学反応によって発電した電気エネルギーで、モーターを回して走る自動車（燃料電池自動車）。水素ステーションで燃料となる水素を充填して走行する。

走行中に排出するのは水のみで二酸化炭素を排出しないほか、充填時間はガソリン車と同等で、航続距離が長いという特徴を持つ。

- **GX（グリーントランスフォーメーション）**

産業革命以来の化石エネルギー中心の産業構造・社会構造をクリーンエネルギー中心へ転換すること。（出典：経済産業省「GX 実現に向けた基本方針」）



- **MCH**

水素キャリアの一つであるメチルシクロヘキサンのこと。トルエンに水素を反応させてつくる液体で、MCHの状態の水素を貯蔵・輸送する。

- **SMR**

「Steam Methane Reforming」の略で、メタンを原料に水素を製造する水蒸気改質法のこと。

みんなの地球のためにチャレンジ!



カーボンニュートラル
やまがた