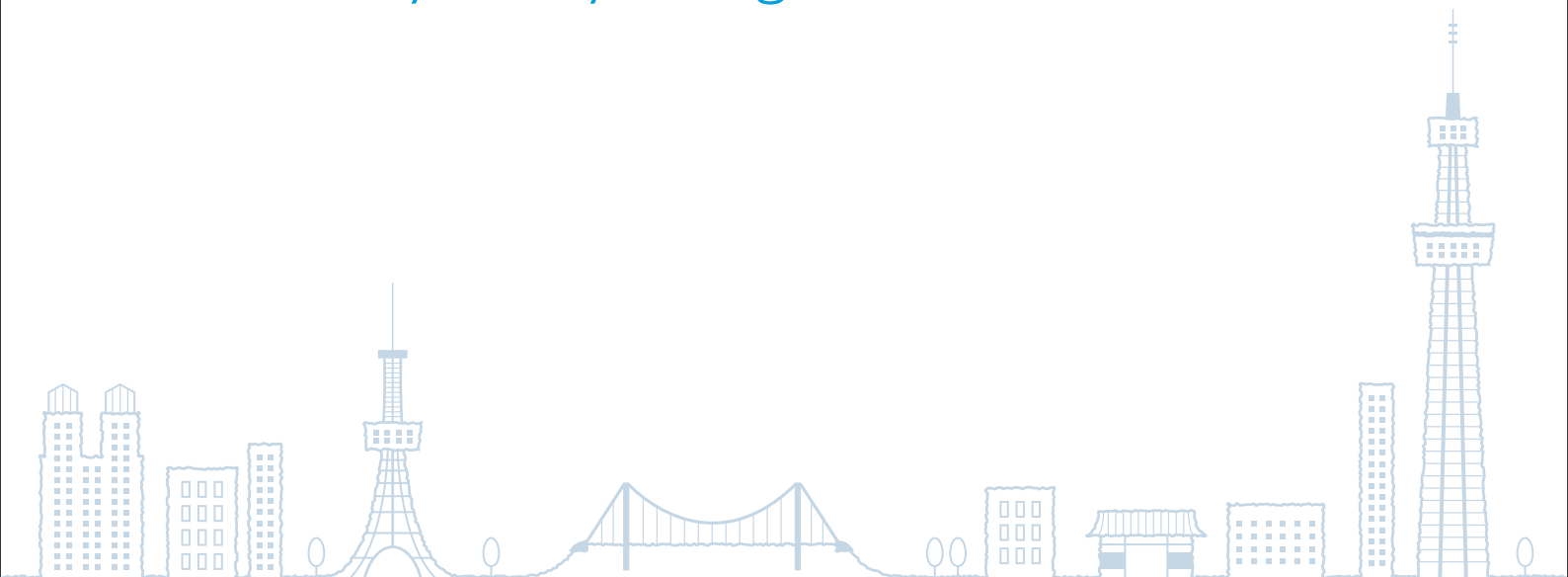


東京 H2 水素ビジョン

Tokyo Hydrogen Vision



はじめに

今私たちは、国際紛争や地震などにより、エネルギーの安定供給がいつも簡単に脅かされることを目の当たりにしています。

また、経験したことのないような豪雨や台風など、気候危機は、既に私たちの身近な生活領域にまで及んでいます。

東京都は、2030年カーボンハーフ(温室効果ガス排出量半減)とその先の2050年脱炭素社会を実現するため、政策を総動員して取組を進めています。今後は、環境面はもとより、エネルギーの安定供給など、都民の暮らしや経済活動の持続可能性の確保もより重要になります。

気候危機への対応とエネルギー安定供給の両面から「切り札」となるのが、再生可能エネルギーの普及拡大と、これを支える「水素」です。

大規模・長期間の貯蔵が可能な水素は、再生可能エネルギーの調整力となって大量導入を支え、あらゆる分野の脱炭素化に貢献することが期待されます。

また、水素は様々な資源から製造可能なため、エネルギーの調達先の多様化を実現し、エネルギーの安全保障にも寄与します。

本ビジョンでは、水素が将来どのように使われているのか、2050年の目指す姿(ビジョン)を描きました。そして、マイルストーンとなる2030年に向けた水素施策の展開について、取組の方向性も紹介します。

本ビジョンを通じて水素エネルギーが普及した未来をイメージしていただくとともに、都民の皆様には水素を身近に感じていただき、また、事業者の皆様には水素事業への参画を検討する契機となれば幸いです。

目次

第1章	気候危機と水素エネルギー	2
	1. 気候危機と脱炭素社会の実現.....	3
	2. なぜ「水素」が必要なのか～気候危機とエネルギー安全保障の観点から～.....	4
	●コラム 水素は世界が注目するエネルギー.....	5
	●2050年の目指す姿と、2030年に向けて.....	6
第2章	2050年の目指す姿～水素はどのように使われているか～	8
	1. 2050年、再エネで作った「グリーン水素」が活躍している.....	9
	2. 2050年、運輸分野の脱炭素化に水素が貢献している.....	11
	3. 2050年、様々な分野の脱炭素化に水素が貢献している.....	12
	(1) 発電分野	
	(2) 産業分野(熱需要・原料)	
	(3) 業務・家庭分野(熱需要)	
	●2050年イメージ(Image Scene of Green Hydrogen in 2050).....	15
	●コラム 水素は古くて新しいエネルギー.....	17
第3章	2030年カーボンハーフに向けた取組の方向性	18
	1. 2030年カーボンハーフに向けた取組の方向性(全体像).....	19
	2. グリーン水素の普及拡大.....	21
	●コラム 動き出した世界のグリーン水素製造プロジェクト.....	24
	3. 運輸分野での水素利用拡大.....	25
	4. 様々な分野での水素利用拡大.....	29
	5. 機運醸成.....	31
	●コラム 2030年頃のエネルギー利用での水素需要はどのくらい?.....	32
	●2030年及び2050年に向けた水素ロードマップ.....	33
	●参考文献	



1

第 1 章



気候危機と水素エネルギー

世界が気候危機に直面する中、なぜ「水素」が必要なのでしょうか。

水素の特徴や脱炭素化における意義を紹介します。



1. 気候危機と脱炭素社会の実現



気候危機の一層の深刻化

世界各国や日本国内では、毎年のように熱波や山火事、洪水や台風、豪雨等、記録的な自然災害が発生し、このような気候変動をもたらす災害の数は、2021年8月のWMO^{※1}の報告によると直近50年間で5倍にまで増えるなど、危機は私たちの身近な生活領域にまで及んでいます。

また、世界の平均気温は上昇しており、近年になるほど温暖化の傾向が加速しています。

IPCC^{※2}は、2021年8月公表の報告書^{※3}において、「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことは疑う余地がない」と断定しています。

※1 WMO…世界気象機関(国連の専門機関) ※2 IPCC…気候変動に関する政府間パネル

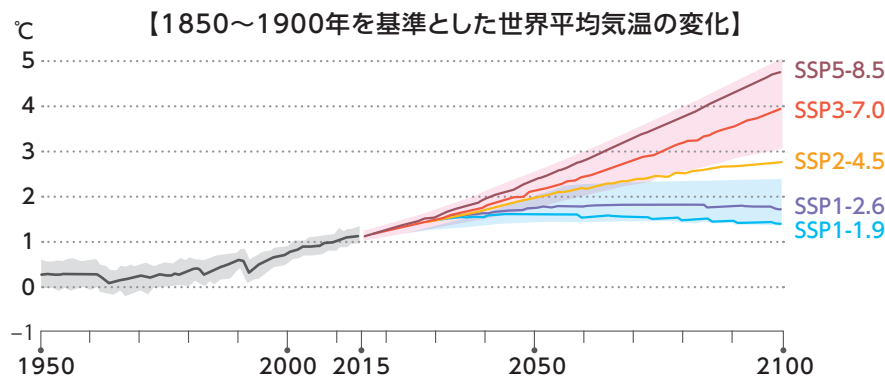
※3 第6次評価報告書第1作業部会報告書(自然科学的根拠)



2021年山火事 アメリカ
アメリカNIFC HPより引用



2021年8月大雨 佐賀県など
国土地理院HPより引用



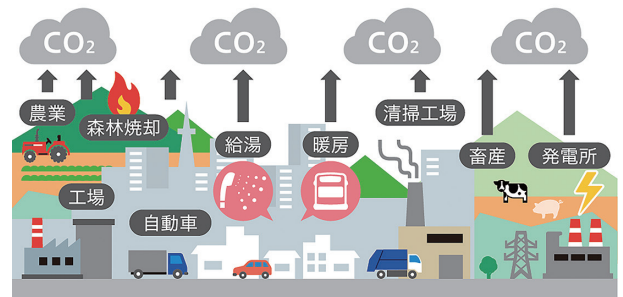
出典:IPCC AR6/WG1 報告書 政策決定者向け要約 暫定訳(文部科学省及び気象庁)を基に東京都作成

原因は、CO₂などの温室効果ガスの排出

気候変動をもたらす地球温暖化の原因は、CO₂などの温室効果ガスが増え続けたことです。

CO₂は主に化石燃料(石炭、石油、天然ガスなど)を燃焼させることで発生します。

私たちは、経済活動や生活のあらゆる場面でCO₂を排出しているのです。



※都内から排出される温室効果ガスは、CO₂が約9割、その他の温室効果ガス(フロン等)は、CO₂換算で約1割を占めています。

2050年、CO₂排出実質ゼロの脱炭素社会を目指して

東京都は、2050年にCO₂排出を実質ゼロにする脱炭素社会を目指しています。では、脱炭素社会を実現するには、どうしたらよいのでしょうか。

まず、使うエネルギーを減らすとともに、太陽光発電など、再生可能エネルギー(再エネ)の活用を増やすことが重要になりますが、季節や天候で発電量が変動する再エネを、安定的に活用するための調整力が必要です。

また、私たちが使っているエネルギーは電気だけではありません。熱や輸送燃料など様々なエネルギーを脱炭素化するには、どうしたらよいのでしょうか。



水素のキャラクター「スイソン」
©(公財)東京都環境公社

そこで、注目されているのが「水素」です。

2. なぜ「水素」が必要なのか～気候危機とエネルギー安全保障の観点から～



水素はエネルギーになる

地球上で最も軽く、豊富に存在する水素。この水素を、燃焼や化学反応させることで、エネルギーとして使うことができます。

既に都内では、水素で動く燃料電池自動車・バスが走行しており、水素エネルギーは社会に広がりつつあります。

水素はいろいろな資源からつくることができる

水素は、使うときにCO₂を出しません。

水素の作り方はいろいろあります。今は、天然ガスや工業プロセスの副産物などから作られることが多いですが、将来的には、製造時もCO₂を出さない**再エネ由来の水素、いわゆる「グリーン水素」**の本格活用が期待されています。

東京都は、この**「グリーン水素」を脱炭素社会実現の柱**と位置付けています。

水素はエネルギーの安全保障に貢献する

日本はエネルギーの大部分を海外からの輸入に頼っており、国際情勢の影響を受けやすい状況になっています。私たちの社会生活や経済活動を守るためには、エネルギーの調達先を多様化することが必要です。

国内外の再エネなど様々な資源から製造された水素を活用することで、エネルギーの安全保障や安定供給につながります。

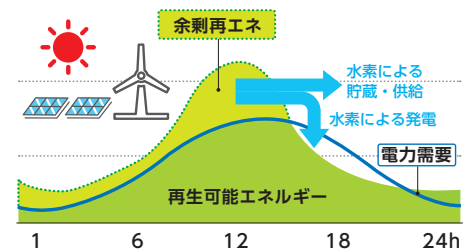
グリーン水素は再エネの大量導入を支える

東京都が2050年に目指す「脱炭素社会」では、再エネは基幹エネルギーとして大量導入されていることが想定されています。

しかし、太陽光や風力といった再エネは、季節や天候によって発電量が変動します。既に国内では、需要と供給のバランスを保つため、再エネを含む発電量が電力需要を上回る際に、太陽光や風力発電の出力が制限されている地域もあります。

一方で、水素は、長時間、大量にエネルギーを貯蔵できるという特徴があります。例えば、電力需要の少ない春に作った太陽光発電の電気を、水素に変換して貯めておき、電力需要が多い夏や冬になったら、また電気にして使うことができます。

このように、グリーン水素は、大量導入される再エネの調整力として期待されているのです。



グリーン水素は多様な分野のエネルギーの脱炭素化に貢献する

水素は、多様な分野のエネルギーの脱炭素化に貢献できます。

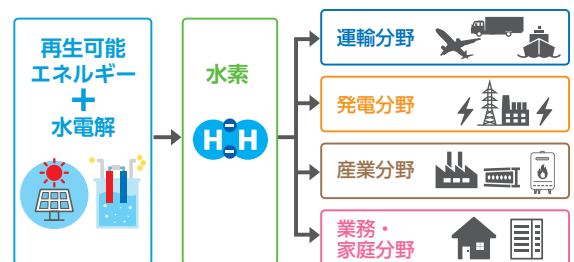
例えば、運輸分野では輸送機器の燃料として、既に商用化されている燃料電池自動車・バスだけでなく、将来は、大型の船や航空機などでも活用が期待されています。

電力としては、水素から電気を作る燃料電池（エネファーム等）が商用化されていますが、将来は、大規模な発電所で直接水素を燃焼する「水素発電」の実現も期待されています。

熱エネルギーの脱炭素化においても、水素は有望な候補です。

業務・家庭分野の熱需要、さらには電化が困難な産業分野における高温の熱源としても、活用が期待されています。

これらの水素をグリーン水素にすることで、一層の脱炭素化に貢献することができます。



「水素」は他にもこんなメリットが

● 災害時利用

燃料電池自動車・バスは大きな電力供給能力を持っています。停電発生時などは、外部給電器等により電気を取り出して、非常用電源として活用できます。

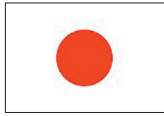
● 経済波及効果

日本は、水素関連技術の複数分野で技術的に先行しています。水素関連の国内市場は2035年度には4兆円超になると予測する民間の調査結果もあるなど、将来的に国際競争力のある産業になることが期待されます。

水素は世界が注目するエネルギー

日本をはじめ世界の主要国が、カーボンニュートラル実現の鍵である水素の導入について国家戦略を策定するなど、様々な取組を加速させています。

各国の水素に係る動向



日本

- 2017年世界で初めての「水素基本戦略」を策定
- 2020年のグリーン成長戦略では、水素を重点分野の一つに位置付け
- 2021年「第6次エネルギー基本計画」を策定。カーボンニュートラル時代を見据え、水素を新たな資源として位置付け、社会実装を加速するとした。



EU

- 2020年「欧州の気候中立に向けた水素戦略」を発表
2030年までに水電解装置40GW、グリーン水素1,000万トンの導入を目指す。短中期には、低炭素水素(化石燃料由来+CCUS*等)も活用
 - 官民連携の「クリーン水素アライアンス」を立ち上げ、投資を加速
- ※ Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage「CO₂の回収・有効利用・貯留」



ドイツ

- 2020年「国家水素戦略」を策定
グリーン水素導入に向け、水電解装置の規模を2030年までに5GWまで拡大、グリーン水素14TWhの供給を目指す。水電解に必要な電力に再エネ賦課金を免除
将来の大規模水素輸入に向け、アフリカなどグリーン水素生産に適した地域と連携



フランス

- 2020年「国家水素戦略」を発表
水電解による水素生産セクターの創出と製造業の脱炭素化、飛行機などを含む大型水素燃料モビリティの開発、研究・イノベーション・人材育成の3つの柱からなる。
2030年までに6.5GWの水電解装置設置を目標として設定



イギリス

- 2021年「グリーン産業革命のための10項目の計画」に基づき、水素戦略を発表
グリーン水素とブルー水素を大量生産する計画を示す。
2030年までに5GWの水素生産能力を開発、鉄鋼、電力システム、大型船等の幅広い分野で水素が利用可能となるロードマップを提示



アメリカ

- 2020年「水素プログラム計画」を策定(エネルギー省)。水素の製造、輸送、貯蔵、変換、応用技術の5項目の方向性を明示
 - カリフォルニア州から始まったZEV^{*1}規制によりFCV^{*2}の導入が進む。同州では2024年から商用車もZEV規制適用開始
- ※1 Zero Emission Vehicle「走行時にCO₂等の排出ガスを出さない車」
※2 Fuel Cell Vehicle「燃料電池自動車」



中国

- 2020年FCV普及目標*を更新。2035年までにFCV100万台、商用車を水素動力へモデルチェンジなど
2020年FCVを購入補助対象から外し、国内で複数のモデル都市を選定するなど、FCV産業のコア技術の開発、インフラ構築等の支援に軸足を移す。
燃料電池等も含め、国内中心の水素サプライチェーン構築を加速
- ※「省エネルギー・新エネルギー車技術ロードマップ」



韓国

- 2021年「水素経済の育成および水素安全管理に関する法律(水素法)」施行
水素経済へ移行するための体制、支援策、基盤構築、安全規定の整備
- 2021年「水素先導国家ビジョン」を策定。2030年にグリーン水素25万トン、ブルー水素75万トン、水素の使用量を390万トンとする。

2050年の目指す姿と、2030年に向けて

▶ 第2章と第3章の位置付け

様々なメリットと将来性を持つ水素は、どのように社会に普及していくのでしょうか。

第2章では、2050年に水素がどのように使われているか、目指す姿(ビジョン)と中長期的な見通しを紹介しします。

また、第3章では、マイルストーンとなる2030年に向けた東京都の水素施策の展開について、取組の方向性を紹介しします。

第2章	2050年の目指す姿 (ビジョン)
第3章	2030年に向けた 取組の方向性

▶ 2050年のあらゆる分野でのグリーン水素本格活用と2030年に向けた水素の需要拡大・社会実装化

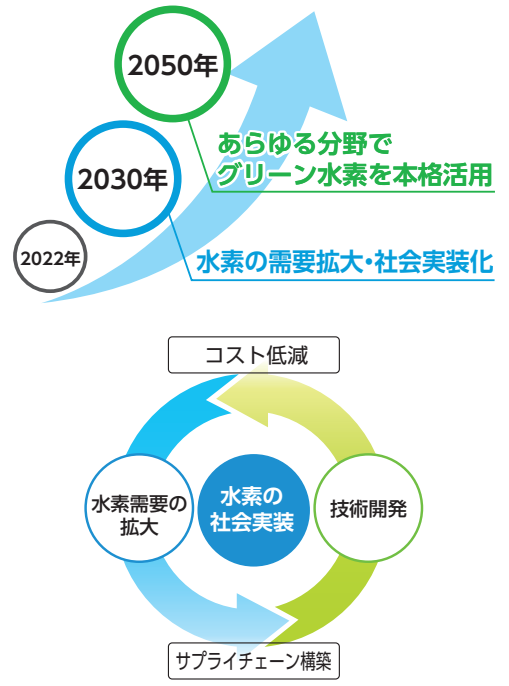
2050年の脱炭素社会では、あらゆる分野でグリーン水素が本格活用され、運輸や様々な分野の脱炭素化に貢献することが期待されます。

このため、2030年に向けては、将来のグリーン水素の本格活用に向けた基盤づくりに、早期に着手することが必要です。

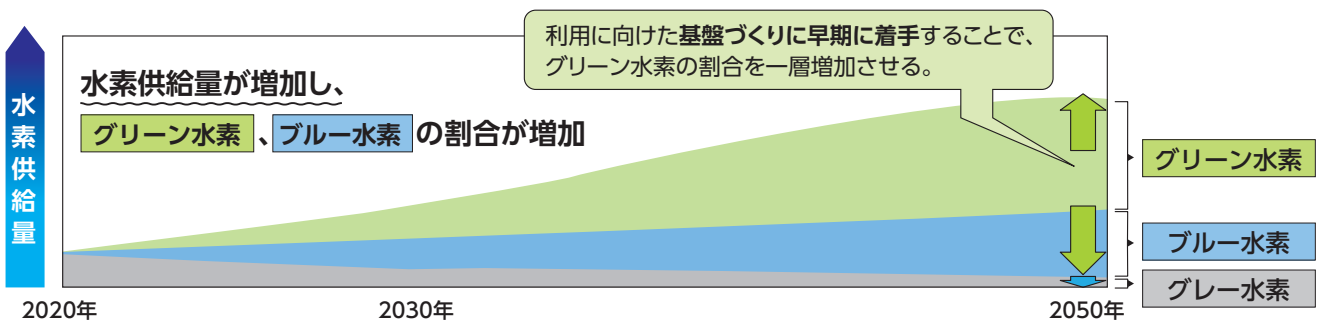
一方で、一足飛びでグリーン水素が普及するわけではありません。水素エネルギーの普及には、製造コスト低減やサプライチェーン構築が必要であるなどの課題があります。これらの解決には、あらゆる分野において水素需要の拡大を図り、技術開発や量産化を促進することが欠かせません。

このため、グリーン水素の本格普及へ向けた移行期においては、ブルー水素やグレー水素についても排除することなく、水素エネルギーの社会実装を早期に進めていくことが必要です。

こうした水素の需要拡大や社会実装化に向けた取組について、第3章で詳しく紹介しします。



■ グリーン水素拡大のイメージ



出典：IEA, Global Hydrogen Review 2021を参考に東京都で推計・作成

水素には「色」がある？

水素は地球上の様々な資源から製造できるというメリットがあります。グリーン、ブルー、グレー…水素そのものは無色透明ですが、製造過程の違いにより、色で表現されることがあります。

グリーン水素 (再エネ由来水素) | 再エネ由来の電力を利用して水を電気分解して生成される水素

ブルー水素 | 化石燃料を原料とするが、製造過程で発生するCO₂を回収・貯留することで大気中にCO₂を放出しない水素

グレー水素 | 天然ガスや石油などの化石燃料を原料として製造される水素

▶都市とエネルギー

大都市では多くの人々が生活を営み、経済活動も旺盛に行われるため、たくさんのエネルギーが消費されます。

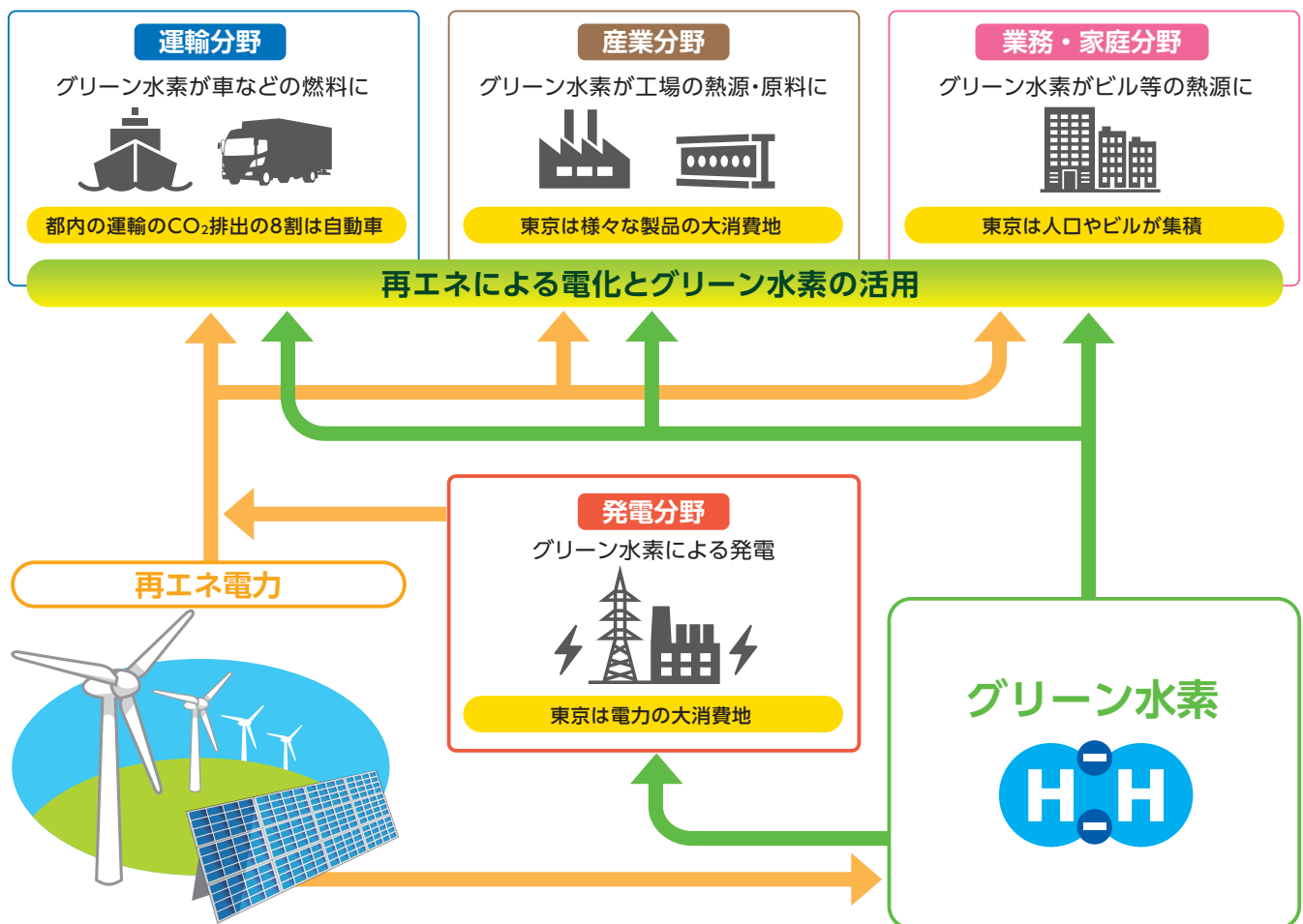
東京は大都市であり、都内にある多数のビルや自動車等で利用するエネルギーの脱炭素化は大きな課題です。加えて、資源・製品の大消費地でもあることから、これに起因して、都外に立地する工場や発電所等で消費されるエネルギーや排出されるCO₂があることも忘れてはなりません。

東京は大都市として、都内外のCO₂排出削減へ貢献する責務があり、あらゆる分野で行動を加速させていくことが不可欠です。

そのためには、資源・製品の大量消費型のライフスタイルを見直した上で、再エネを基幹エネルギー化し、それを支える水素エネルギーの普及拡大を促進する必要があります。

次章以降では、水素がどのように再エネの普及を支え、各分野（運輸、発電、産業、業務・家庭）で活用されるのか、東京都が目指す姿と、普及に向けた取組の方向性を紹介します。

なお、将来の新たな水素活用に向けては、現在、世界で技術開発が進められており、今後、イノベーションが期待されます。現在認識されている以外にも水素活用の方法が広がることも考えられ、動向を注視するとともに、進展を後押ししていくことが必要です。





第2章

2050年の目指す姿

～水素はどのように使われているか～

2050年の脱炭素社会では水素はどのように使われているのでしょうか。
また、2050年に向けて、水素はどのように社会に広がっていくのでしょうか。
現在の技術開発の動向と目指す姿から、中長期的な見通しをまとめました。



1. 2050年、再エネで作った「グリーン水素」が活躍している

2050年には、使われる水素の全てがCO₂フリー水素であり、そのほとんどが再エネで製造したグリーン水素になっていることが期待されます。

初期 グリーン水素導入事例が積み上げられている【～2025年頃】

世界各地で大規模な再エネで水素を製造するプロジェクトが検討されているほか、国内でも、福島県内の太陽光発電を利用した世界最大級の水素製造施設で実証研究が行われているなど、グリーン水素の本格活用に向けた取組が急速に動き出しています。

こうした事業を通じ、グリーン水素の本格活用に向けた知見の蓄積やコスト低減が進むことが期待されます。

中期 グリーン水素の利用の基盤づくりが進んでいる【～2030年頃】

欧州では、2030年までに「再生可能な水素」を1,000万トン製造する目標を掲げており、世界でグリーン水素の普及が急速に進展することが期待されます。

また、国は、2030年に約42万トン以上の「クリーン水素」（化石燃料+CCUSや再エネ等で製造）の供給を目指すとしており、国内でも、国際水素サプライチェーンの商用化開始など、グリーン水素活用の基盤づくりが進んでいることが期待されます。

長期 あらゆる分野でグリーン水素が本格活用されている グリーン水素が再エネの大量導入を支えている【～2050年頃】

2050年には、あらゆる分野でグリーン水素が本格活用され、脱炭素社会を支えています。

第1章で紹介したとおり、水素は長期間・大量のエネルギー貯蔵が可能であり、2050年にはグリーン水素が調整力の役割を担い、再エネの大量導入とエネルギーの安定供給を支えていることが期待されます。

また、第2章2、3で紹介するとおり、グリーン水素は多様な分野のエネルギーの脱炭素化に貢献することも期待されます。

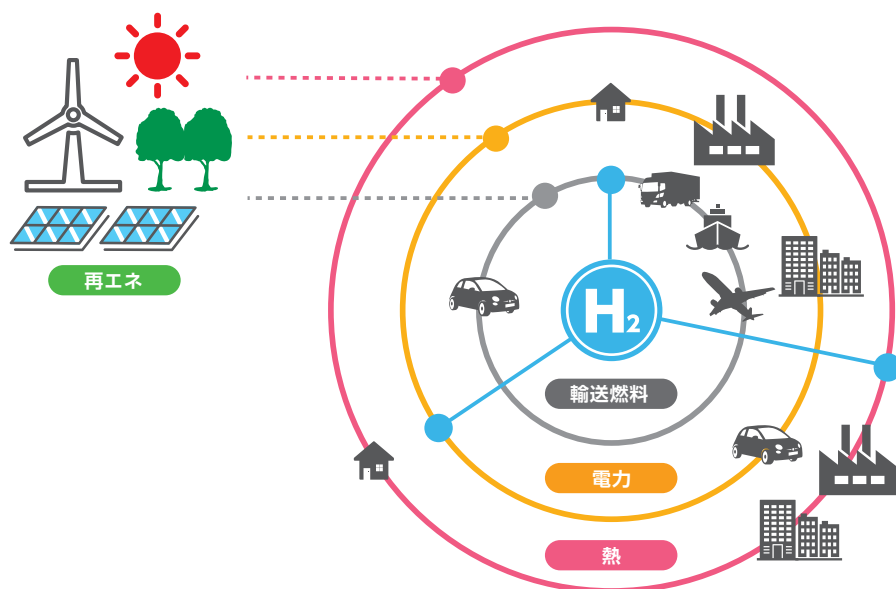
●グリーン水素がエネルギーを繋ぎ、地産地消と安定供給に貢献している

2050年には、グリーン水素が様々なエネルギーを繋ぐ役割を果たします。

再エネ電力で水素を製造すれば、長期間貯蔵できることに加えて、電力、熱、輸送燃料など、その時必要なエネルギーに変換でき、エネルギー全体の有効利用と安定供給を可能にします。

また、地域のレジリエンスを高めるエネルギーの地産地消を進める上でも、こうした特性を持つ水素の活用が期待されます。

島しょ地域など、独立した電力系統を持ち、再エネの出力変動の影響を受けやすい地域においても、水素が蓄電池とともにエネルギーの調整機能を担うことが期待されます。





● グリーン水素が国内外から大量・安価に調達され、パイプラインも活用されている

2050年には、再エネ電力の製造コストが低下し、グリーン水素がより安価に供給されることが見込まれます。

また、国内の再エネで作られるグリーン水素のほか、国外の大規模な再エネによるグリーン水素が輸入されることも想定されており、エネルギーの安定供給に貢献することが期待されます。現在、大量の水素を海上輸送するための技術開発や実証が進められています。

国内運搬方法にはパイプラインが加わり、都内の一部で敷設されていることも期待されます。



国際水素サプライチェーン構築へ向けた実証事業

水素エネルギーの普及拡大のためには、水素が他のエネルギーに対してコスト競争力を持たなければなりません。

国内では、2030年30円/Nm³(船上引渡しコスト)の水素供給コストの達成及び将来の更なるコスト低減(2050年20円/Nm³以下)へ向けた取組が行われています。*1Nm³≒0.09kg(0℃ 1atm)

● 液化水素サプライチェーン構築へ向けた実証

水素は、マイナス253℃まで冷却することで気体から液体となり、体積は約1/800になります。この液化水素を安全かつ大量に輸送するため、国内重工メーカー等による世界初となる液化水素運搬船の建造や、長距離海上輸送実証が行われました。

現在、新たに水素製造・液化・出荷・海上輸送・受入までの一貫した国際間の商用サプライチェーンを構築するため、液化水素運搬船や陸用液化水素タンクの大形化、液化効率を更に高める技術開発などを目指した取組が始まっています。

開発中の液化水素運搬船イメージ



©川崎重工業(株)

● MCH(メチルシクロヘキサン) サプライチェーン構築等に向けた実証

MCHを用いた「有機ケミカルハイドライド法*」を利用すると、水素ガスは約1/500の体積となり、既存の石油インフラを利用し、常温・常圧の液体として輸送することが可能となります。

2020年には、民間企業4社による国際間(ブルネイー日本)水素サプライチェーンの実証を完了しました。

現在は、製油所の石油精製設備等を活用した脱水素技術(水素を取り出す技術)等の確立とMCHサプライチェーン構築のための商用化実証が始まっています。

具体的には、ブルネイにおいて水素から製造したMCHを国内で受け入れ、MCHから水素を取り出し(脱水素)、利用する実証等が行われます。

MCHの国際間輸送の実証



©次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合(AHEAD)

*有機ケミカルハイドライド法…トルエンなどに水素を反応させてメチルシクロヘキサン(MCH)などの化合物にすることで、常温・常圧の状態での貯蔵・輸送し、供給先で水素を分離して活用する技術

水素を貯める金属「水素吸蔵合金」

大量に水素を貯蔵するには、液化水素やMCH等の他にも、金属が水素を取り込む性質を利用した「水素吸蔵合金」による方法があります。水素吸蔵合金は、金属であるため重い一方、エネルギー密度が高いことに加え、常温・常圧に近い状態で貯蔵できるといった特徴があります。

現在、低コスト化に向けて、豊富で安価な金属による合金開発などが進められています。

水素吸蔵合金



©日本重化学工業(株)

2.2050年、運輸分野の脱炭素化に水素が貢献している



2050年には、グリーン水素が自動車や船舶、航空機など輸送機器の燃料に活用され、脱炭素化に貢献することが期待されます。

初期 乗用車やバス、トラック等での水素活用【～2025年頃】

既に、水素で走る自動車やバス、フォークリフトが市販化されています。水素は大型・長距離航続に優位性があり、今後は、トラックなど大型の商用・業務用車両で水素活用が見込まれます。

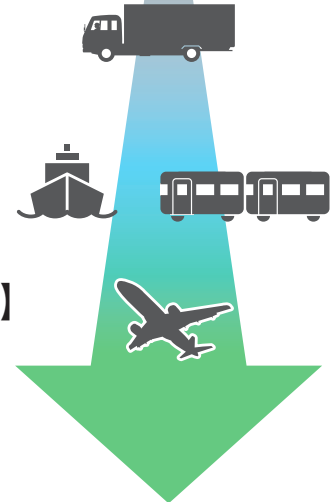


中期 船舶等での水素活用【～2030年頃】

船舶については、近距離・小型向けは燃料電池を搭載した燃料電池船、遠距離・大型向けは水素を直接燃焼する水素燃料船の導入が期待されています。

国は、水素・アンモニア[※]等の代替燃料を使ったゼロエミッション船について、従来目標(2028年)より前倒しでの商業運航を目指すとしています。

※アンモニア:水素と窒素で構成され、水素を運ぶ媒体(水素キャリア)や燃料としての活用が期待されている。



長期 航空機等の大型輸送機器での水素活用【～2050年頃】

2050年頃までには、水素航空機など、さらに大型の輸送機器での水素活用が期待されます。既に海外の航空機メーカーが、2035年までに水素航空機の市場投入を目指すことを発表しているほか、国内企業においても、水素航空機に関する研究開発をスタートさせています。

その他、鉄道をはじめ、様々な輸送機器での水素活用が期待されます。

国内各企業の開発状況(船舶や航空機での水素活用)



● 船舶における活用

船舶においては、燃料電池船と水素燃料船の活用が期待され、各企業が開発を進めています。

● 燃料電池船

国内では、燃料電池船の開発・実用化がより一層促進されるよう、「水素燃料電池船の安全ガイドライン」が策定されており、現在も各企業が実証試験等を実施しています。

● 水素燃料船

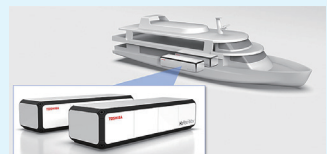
水素燃料船の実現には、水素燃料エンジンや燃料タンク、燃料供給システムの開発が不可欠となります。特にエンジンについては、水素の燃焼速度が速いなどの理由から、高度な燃焼制御技術・燃料噴射技術が必要であり、国内の企業により開発が始められています。

● 水素航空機

国内重工メーカー等において、水素航空機実現に向け、水素燃焼器、液化水素タンク、水素供給システムといったコア技術の開発などの取組が始まっています。液化水素を必要量搭載する場合、現在のジェット燃料の約4倍の体積が必要であり、こうした技術的な課題に対する研究開発が行われます。

また、燃料電池を搭載した小型機について、2030年代以降の導入へ向けて開発が進められているなど、水素航空機は機体サイズや飛行距離に応じて推進方法が選択され順次実用化されることが期待されます。

燃料電池船イメージ



©東芝エネルギーシステムズ(株)

水素航空機イメージ



©川崎重工業(株)

3. 2050年、様々な分野の脱炭素化に水素が貢献している



(1) 発電分野

運輸分野以外でも、様々な分野で水素は脱炭素化に貢献します。

2050年には、化石燃料の代わりに水素を燃焼して発電する「水素発電」にグリーン水素が活用されることが期待されます。

初期 地域的な発電での水素活用【～2025年頃】

国内では、既に小型（1 MW級）の水素発電（専焼）の実機実証が行われています。

このほか、既に商用化されている数百kW級以上の業務・産業用燃料電池の活用も含め、小規模で地域的な発電での水素活用が見込まれます。

中期 水素発電（混焼）の商用化（電源構成の1%）【～2030年頃】

今後、技術開発や実機実証の進展により、水素発電（混焼）の商用化が期待されます。

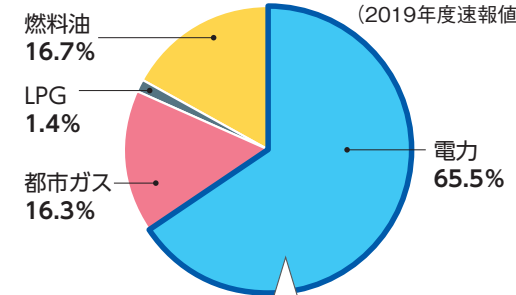
国は、2030年度の電源構成において、水素とアンモニアで1%程度を賅うことを想定するとしています。

水素発電の商用化の実現には、技術面に加えて、大規模で安価な水素サプライチェーン構築が一体的に進展していることも重要です。

長期 グリーン水素が電力の脱炭素化を支える調整力に【～2050年頃】

2050年頃までに、グリーン水素による水素発電（専焼）が実現すれば、電力の脱炭素化に寄与し、調整力として系統の安定化にも資することで、再エネ大量導入にも貢献することができます。

■ 都内CO₂排出量の内訳（エネルギー起源CO₂）
（2019年度速報値）

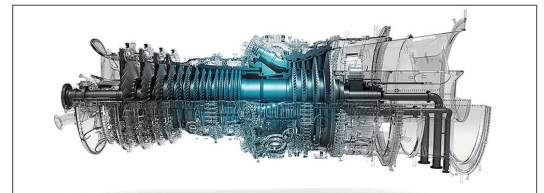


17.3% CO₂がでない 太陽光や風力などの自然の電気



CO₂ができる 天然ガスや石炭などを燃やして作る電気

水素ガスタービン



©三菱重工業（株）

国内各企業の開発状況（水素発電）



現在、国内で発電される電力の7割以上は火力発電所で天然ガスや石炭などの化石燃料を燃やして作られています。

水素発電の実現に向けて、各企業が技術開発を進めています。

● 水素混焼30%に成功

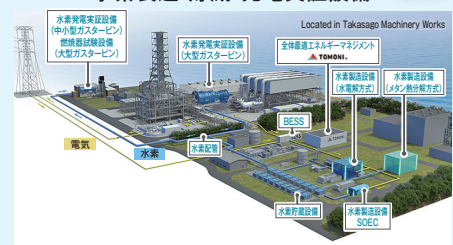
国内重工メーカーでは、70万kWの出力に相当する条件で30%（体積比）の水素混焼試験に成功しています。さらに、早期商用化に向けて、大型ガスタービン実機を用いた水素30%混焼発電の実証を行うため、水素の製造から発電までにわたる技術を一貫して検証できる設備の整備に向けた取組が始まっています。

● 小型器での水素専焼に成功

国内重工メーカーは、水素と天然ガスの混焼及び水素専焼による1 MW級ガスタービン発電の実証事業を行っており、2018年には兵庫県神戸市において、世界で初めて水素100%の燃料によるガスタービン発電での市街地への熱電供給を成功させています。

このほか、国内の企業が海外の大型水素発電のプロジェクトに参画するなど、日本は水素発電分野で技術的に先行しています。

水素製造・貯蔵・発電実証設備



©三菱重工業（株）

水素ガスタービンコージェネレーション実証



©川崎重工業（株）

(2) 産業分野(熱需要・原料)

2050年には、電化が困難な産業分野の熱需要や原料にグリーン水素が活用され、脱炭素化に貢献することが期待されます。

長期 産業分野の熱需要や原料としての水素活用【～2050年頃】

2050年頃までには、産業プロセスで必要となる熱源として、グリーン水素の活用が期待されます。産業分野の高温の熱需要は、経済的・熱量的・構造的に電化が難しいものも多く、水素等を燃料とすることが検討されています。

また、鉄鋼分野の脱炭素化のために、製鉄プロセスにおいて水素を「還元材」として利用することが検討されており、国内で研究が進められています。

実現に向けては、技術の革新に加えて大規模で安価な水素の供給が進んでいることも重要です。

なお、産業分野においても、次ページで紹介する合成メタン・合成燃料等の活用が期待されています。既存の設備やインフラが利用可能なことから、段階的に脱炭素化が進むことが期待されます。

熱エネルギーの脱炭素化

エネルギーというと、電気に目が行きがちですが、熱エネルギーはボイラーや燃焼炉などの産業用途や、建物の給湯、暖房などで幅広く利用され、主に都市ガスや石油製品等を燃料としています。

可能なものは再エネによる「電化」をした上で、必要となる熱エネルギーの脱炭素化をしていくことが重要です。

熱の脱炭素化の選択肢は、水素導管の敷設等による直接利用のほか、水素を使った合成メタン等の合成燃料の活用、ガス管への水素混合など複数あり、今後の技術開発動向により議論をしていく必要があります。

また、熱の脱炭素化においては、電力系統とガス管の複層的なエネルギーインフラによるレジリエンスの観点も踏まえた議論も必要です。

COURSE50 (コース50) プロジェクト



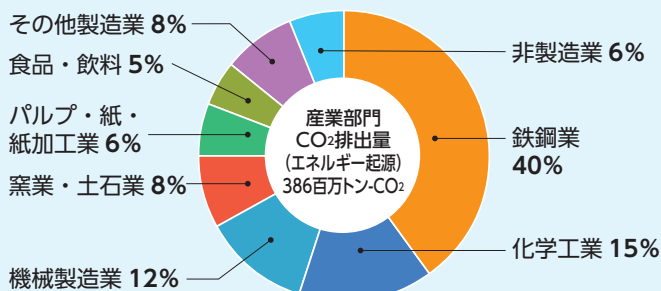
● 鉄鋼業での水素活用

鉄鋼業は他の産業の基盤となる基幹産業ですが、CO₂排出量(エネルギー起源)は、産業部門全体の約4割を占めます。特に「高炉を用いた製鉄プロセス」において、多くのCO₂を排出しています。

「高炉を用いた製鉄プロセス」では、鉄鉱石に含まれる酸素をとり除く「還元」という工程があり、コークスと呼ばれる炭素の塊を還元材に用いています。CO₂排出量削減のための取組として、この還元材に一部水素を活用する「水素活用還元プロセス技術(COURSE50)」の研究が、企業と大学の協力により進められています。

これまでに水素による鉄鉱石還元とCO₂分離回収等の要素技術開発が行われ、現在は各要素技術の組合せによる総合技術開発として、2016年に完成した試験高炉で実証実験等が進められており、2030年頃までに1号機の実用化を目指しています。

産業部門におけるCO₂排出量(2019年度)



出典:国立研究開発法人国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ(2019)」

実証実験が行われている試験高炉



©NEDO・日本鉄鋼連盟: COURSE50



(3) 業務・家庭分野(熱需要)

2050年には、グリーン水素がメタネーション*や水素の直接利用などに活用され、業務・家庭分野の熱需要の脱炭素化に貢献することが期待されます。

※水素とCO₂から都市ガスの主成分であるメタンを合成する技術

初期 燃料電池の活用【～2025年頃】

東京には多くの建物が集積しており、建物における給湯や暖房などに熱エネルギーが利用されています。

足元では、燃料電池を活用したCO₂排出削減を促進しながら、メタネーションをはじめとした熱の脱炭素化技術の開発を促進することが重要です。

中期 メタネーションの導入【～2030年頃】

2030年頃には、メタネーションの導入が期待されます。国は、2030年には既存インフラにメタネーションによる合成メタンを1%導入することを目指すとしています。

あわせて、グリーン水素製造の低コスト化などの技術進展やサプライチェーン構築、純水素型燃料電池による水素の直接利用等により、段階的に脱炭素化が進むことが期待されます。

長期 熱の脱炭素化実現【～2050年頃】

2050年頃までには、メタネーションの普及やグリーン水素の直接利用(燃料電池や燃焼での利用)等により、都市ガス等の脱炭素化が進み、業務・家庭分野における熱の脱炭素化が期待されます。

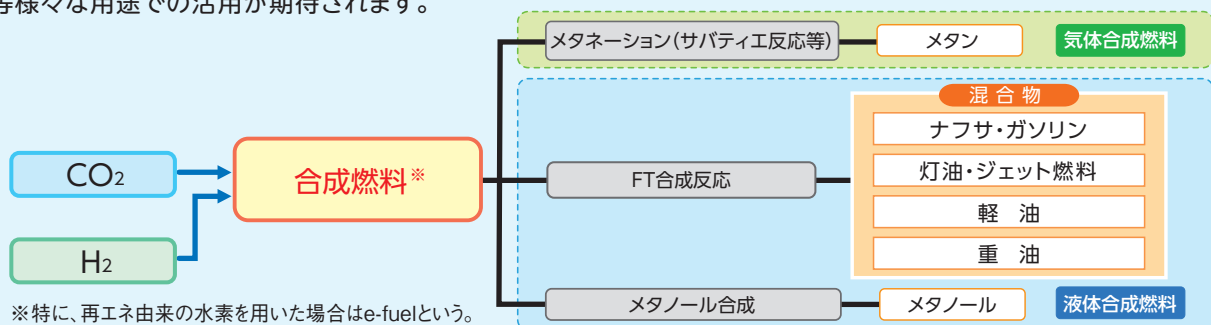
CO₂の有効活用「CCU」

CO₂を削減する方法として、発電所や工場などで排出されるCO₂や大気中のCO₂を回収・利用する技術であるCCU*が注目されています。この技術が実用化されれば、水素と回収したCO₂を原料として、カーボンニュートラルな合成燃料や化学品等の製品を製造することができます。

※Carbon dioxide Capture and Utilization

● 合成燃料

CO₂と水素を原料として合成して製造される燃料で人工的な原油とも呼ばれ、自動車や航空機、船舶の燃料、熱利用等様々な用途での活用が期待されます。



※特に、再エネ由来の水素を用いた場合はe-fuelという。

資源エネルギー庁ウェブサイト(https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/gosei_nenryo.html)を参考に東京都作成

● 合成メタン(メタネーション) ※ 気体燃料

CO₂フリー水素を活用することで、ガスのカーボンニュートラル化に貢献できます。合成メタンを、都市ガスの導管に導入することで既存インフラ・設備を活用できます。

また、合成メタンは水素キャリアのひとつとしても期待されています。

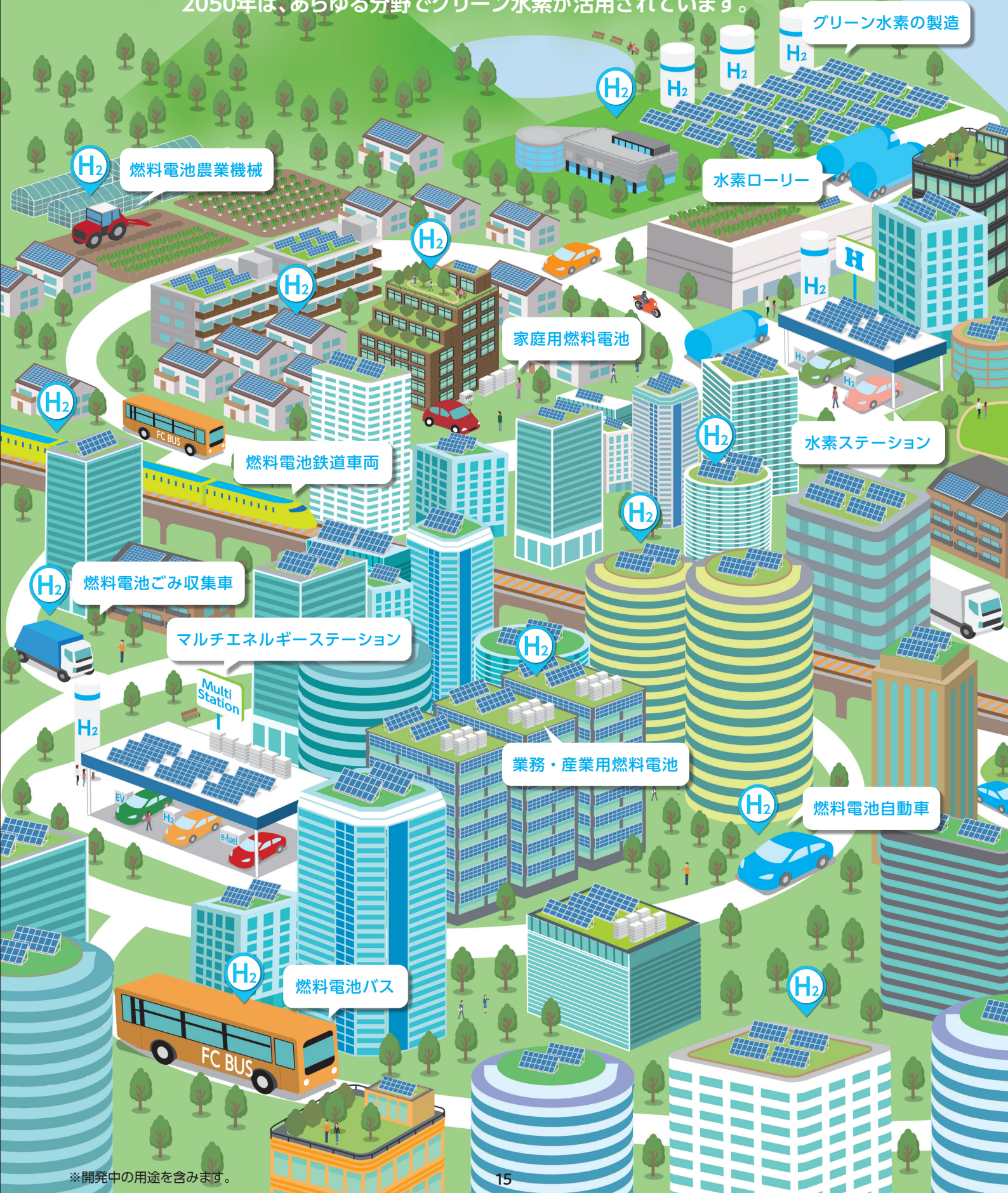
● e-fuel ※ 液体燃料

ガソリン等の代替として利用できるため、既存インフラを活用することができます。

また、硫黄分や重金属分が少ない、気体燃料と比較してエネルギー密度が高いといった利点があります。

Image Scene of Green Hydrogen in 2050

2050年は、あらゆる分野でグリーン水素が活用されています。





COLUMN コラム

水素は古くて新しいエネルギー

1766年にイギリスの化学者キャベンディッシュは、金属片に硫酸や塩酸を反応させると、空気より軽く、燃えやすい気体が発生することを確認しました。このとき発見されたのが「水素」です。

また、1839年には同じくイギリスのグローブ卿が、燃料電池の発電実験に成功しました。

水素と酸素の化学反応から電気エネルギーを取り出す仕組みは、現在の燃料電池の原型となるものでしたが、蒸気機関の進化に隠れ、実用化には至りませんでした。

生活インフラとしての利用

水素は、やがて動力や燃料として実際の生活に利用されました。

●木炭自動車

燃料電池自動車より遥か以前に、水素を動力の一部とした車がありました。木炭や薪を不完全燃焼させ発生するガス（一酸化炭素、水素等）を燃料とする「木炭自動車」です。

戦時中にガソリンなどが不足したことから、日本でも導入されましたが、燃料としては低品質であり、また、頻繁なメンテナンスが必要でした。その後、ガソリンの供給回復とともに使われなくなりました。

木炭自動車



©東京都交通局

●合成ガス

文明開化期の日本では、ガス灯の整備が進みましたが、このときに使用されたのが、高温の石炭などに水蒸気を作用させて製造される合成ガス（一酸化炭素、水素等）でした。

合成ガスは照明における利用から、やがて炊事などの燃料として利用が進みました。家庭に広く普及しましたが、熱量が高く環境性にも優れる天然ガスに置き換わっていきました。

ガス灯



©東京ガス ガスミュージアム

最新技術と水素

水素は、最先端の分野でも欠かせない存在となっています。

●ロケット

宇宙開発には、人類の将来の発展に向けた無限の可能性が秘められています。宇宙空間への輸送に必要な宇宙ロケット打ち上げには、比推力（ロケットの燃費）に優れた液体水素が燃料として使われています。よく耳にする「H-IIAロケット」の「H」は水素の頭文字を表したものです。

H-IIAロケット



©JAXA

昔から利用されていた水素ですが、現在も未来のエネルギーとして、期待されています。



第3章

2030年カーボンハーフに向けた取組の方向性

2050年の脱炭素社会の実現に向けては、
マイルストーンである2030年までの行動が極めて重要です。
2030年に向けて、水素エネルギーをどう広げていくべきでしょうか。
東京都の取組の方向性をまとめました。



1.2030年カーボンハーフに向けた取組の方向性(全体像)

前章では、2050年の脱炭素社会において水素がどのように使われているのか、目指す姿を紹介しました。本章では、これを実現するための、2030年に向けた、取組の方向性を紹介します。

2030年までの10年間で極めて重要

IPCC(気候変動に関する政府間パネル)1.5℃特別報告書では、世界の平均気温の上昇を1.5℃に抑えるためには、世界のCO₂排出量を2050年頃までに実質ゼロ、2030年までに約半減させることが必要とされています。

2030年までの今後の10年間の行動が極めて重要であり、今がラストチャンスとなります。東京都は、行動を加速・強化するため、**2030年までに温室効果ガス排出量を半減する「カーボンハーフ」**を表明しました。

	2030年目標
都内温室効果ガス排出量(2000年比).....	50%削減
都内エネルギー消費量(2000年比).....	50%削減
再生可能エネルギーによる電力利用割合.....	50%程度

グリーン水素の利用に向けた基盤づくりを進める

2030年カーボンハーフに向けて、東京都は水素施策の展開を加速させていきます。

将来のグリーン水素の本格活用に向けて、今から都内でも活用事例を増やしていくことが必要です。

また、グリーン水素の普及が進んでいない理由を分析し、その解決に必要な対応策を進め、利用に向けた基盤づくりを進めることが求められます。あわせて、グレー水素の利用については、可能なものから、より低炭素な水素に移行するよう、誘導することも重要です。

第3章2では、東京都のグリーン水素の普及に向けた取組の方向性を紹介します。

水素需要を拡大し、水素エネルギーの社会実装を加速させる

一方で、前章に記載のとおり、グリーン水素の普及に向けては、まずは水素需要を拡大し、水素エネルギーの社会実装を加速させることが重要です。

また、水素需要の創出においては、既に導入が始まっている運輸・業務・家庭だけでなく、産業や発電等、他の分野でも水素活用が必要であり、そのためには関係企業等との一層の連携が必要です。

第3章3では、先行して実装化が進んでいる運輸分野での水素活用について、第3章4では、その他、様々な分野での水素活用について、取組の方向性を紹介します。

「東京水素イニシアティブ」会議の開催

2020年12月、東京都は国内外で水素ビジネスを展開する企業に対し、知事から東京及び首都圏における水素利用の拡大に向けた一層の取組と、水素技術の更なる社会実装に向けた連携を呼び掛ける「東京水素イニシアティブ」会議を開催しました。このオンライン会議を契機として、水素利用の拡大に向けて、水素関連企業等と一層連携を図っていきます。





2030年に向けた取組の方向性(全体イメージ)

前章で示した「2050年の目指す姿」の実現に向けて、同じく前章で示した「初期(2025年頃)」・「中期(2030年頃)」における水素エネルギーの普及状況をマイルストーンとして、取組を進めていきます。

これを踏まえた2030年に向けた取組の方向性(全体イメージ)を以下のとおり整理しました。

2050年
目指す姿

脱炭素社会の実現

第2章

初期～中期
(2030年頃)の見通し

●あらゆる分野でグリーン水素を本格活用

- ・グリーン水素が活躍し、再エネ大量導入を支える
- グリーン水素利用の基盤づくりが進んでいる

●グリーン水素が多様な分野の脱炭素化に貢献

- ・運輸分野の脱炭素化に貢献
 - ・様々な分野の脱炭素化に貢献(発電、産業、業務・家庭)
- 乗用車・バス・トラックや船舶などで水素が活用されている
- 燃料電池の活用拡大や、水素発電やメタネーション等の導入開始
(サプライチェーン構築が重要)

2030年
に向けた取組

カーボンハーフの実現

第3章

●グリーン水素利用に向けた基盤づくり

- ・グリーン水素の普及拡大
- コスト低減や環境価値の評価・活用に向けた取組で、グリーン水素利用の基盤づくり

●多様な分野での水素の需要拡大・社会実装化

- ・運輸分野での水素利用拡大
 - ・様々な分野での水素利用拡大
- 燃料電池自動車・バスの導入拡大や、トラック等の大型商用車の早期実装化
水素ステーションの整備拡大
船舶などの車以外の輸送手段での活用促進
- 燃料電池等の活用拡大、
発電・産業など多分野での導入促進

2022年

2. グリーン水素の普及拡大

水素は利用の段階でCO₂を排出しませんが、化石燃料由来のグレー水素では製造時にCO₂が排出されるため、今後はこのCO₂排出を削減していくことが重要です。

第2章で紹介したとおり、2030年頃にはグリーン水素の利用の基盤づくりが進んでいることが期待されます。これに向けて、東京都はグリーン水素の導入事例を積み上げ、製造コストの低減や環境価値の評価・活用等に向けた取組を進めていきます。

1 現状と課題

▶ グリーン水素の活用促進が重要

東京都は、企業や都内自治体によるグリーン水素活用を促進するため、補助制度により導入を支援しています。

一方で、現在、日本を含め世界で生産されている水素の大部分は、化石燃料由来のグレー水素です。都内においても、グリーン水素を活用している施設はごく一部にとどまっており、今後この活用事例を増やしていく必要があります。

▶ グリーン水素の利用を進めるための課題

グリーン水素の利用を進めるには、次の複数の課題を克服する必要があります。

(1) 製造コスト

現在、グリーン水素は製造コストが高く、本格活用に向けてはコスト低減が必要です。

(2) 環境優位性の認知度

水素は様々な製造方法があること(グレー、ブルー、グリーン)、また、グレー水素等と比べたグリーン水素の環境優位性について十分に理解されていません。

(3) 環境価値の評価

グリーン水素の環境価値が十分に評価されていないため、事業者がグリーン水素を積極的に選択するインセンティブが乏しい状況です。

(4) グリーン水素の製造・調達

都内で十分なグリーン水素を製造・調達するには、都外の再エネの活用を検討することも必要です。

(5) エネルギーマネジメント技術の確立

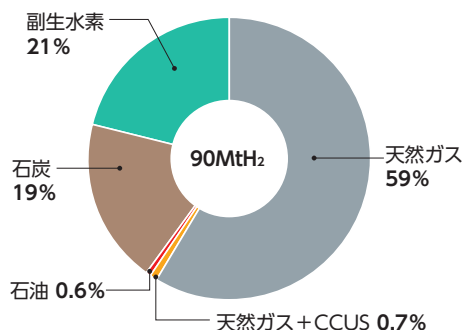
再エネの有効活用としてのグリーン水素の役割を十分に果たすには、電力システムに対して、出力変動の大きい再エネ電力を需給調整するなど、適切なエネルギーマネジメントが必要です。

補助事業による導入事例



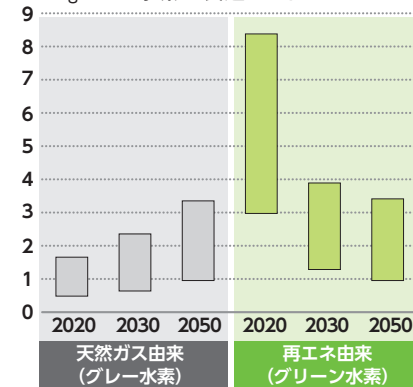
©東芝エネルギーシステムズ(株)

世界の水素生産量(2020年)



出典: IEA, Global Hydrogen Review 2021より東京都作成

USD/kgH₂ 水素の製造コスト



出典: IEA, Global Hydrogen Review 2021より東京都作成

グリーン水素製造のコア技術「水の電気分解」

水に電気を流すと水素と酸素が発生する原理は、よく知られています。

再エネ電力と組み合わせることで製造段階でもCO₂が発生しないことから、グリーン水素の製造技術として活用されており、現在は、低コスト化・高効率化に向けて様々な研究が行われています。

【低コスト化・高効率化に向けた研究】

- 水素の大量製造を可能とする水電解装置の大型化
- 高コストとなる貴金属部材について代替材料を利用
- より少ない電気エネルギーで水素を製造する、高温水蒸気の電気分解

世界最大級の水電解装置
(福島水素エネルギー研究フィールド)



©NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)



2 施策の方向性

▶ グリーン水素活用に向けた基盤づくりを推進

グリーン水素の導入事例を積み上げ、製造コストの低減や環境価値の評価・活用に向けた取組等により、2030年以降のグリーン水素本格活用に向けた基盤づくりを行う。

3 今後の取組内容

▶ 水素製造設備の低コスト化・高効率化 都内での導入促進

東京都は、引き続き水電解装置や純水素型燃料電池等の導入支援を行い、これにより、都内の施設におけるグリーン水素の活用事例を増やしていくとともに、グリーン水素製造のコア技術である水電解装置の低コスト化・高効率化を促進します。

▶ グリーン水素の環境優位性のPR

東京2020大会や、都内のグリーン水素活用施設などにおける活用事例について、ホームページやイベント等で積極的なPRを行います。

さらに、福島県や研究機関等との連携により、福島県内で製造されたグリーン水素の都内での活用及びそのPRを図っていきます。



▶ 環境価値の評価・活用に向けたインセンティブ等の検討

今後、再エネ電力の製造コストが低減することで、グリーン水素もコストが低減することが見込まれますが、グリーン水素の環境価値を評価することで導入を促進し、グリーン水素の更なるコスト低減を政策的に誘導することも重要です。

このため、都の導入支援制度において活用する水素のグリーン化（製造源）に応じてインセンティブを強化することや、グリーン水素の認証やクレジット化の早期導入を促進することなど、環境価値の評価・活用に向けて取組を検討していきます。国に対しても、環境価値の評価確立や、カーボンプライシングの導入などの規制的手法を含むインセンティブ策・仕組みの創設を要望していきます。

また、今後、都の環境関連の制度において、グリーン水素活用設備の導入等を評価することなどの検討も進めていきます。

東京2020大会での水素活用

東京2020大会では、聖火台及び一部の聖火リレートーチに大会史上初めて水素を活用しました。

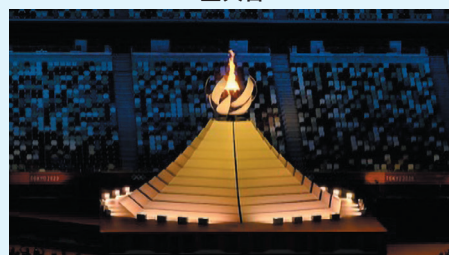
また、選手村内のリラクゼーションハウスや居住棟の一部においても、同様に水素を活用しました。これらの水素については、福島県において再エネを用いて製造された水素も活用されました。今後、この活用事例(大会のレガシー)の発信を積極的に行っていきます。

選手村内のリラクゼーションハウス



©Tokyo 2020/Uta MUKUO

聖火台





▶ 都外の再エネを用いたグリーン水素の製造・調達方法の検討

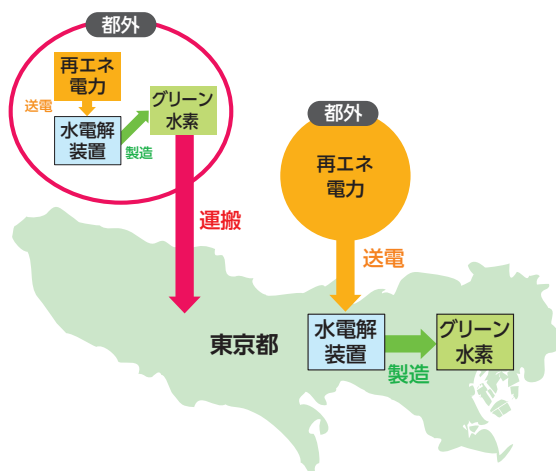
都内の再エネを用いたグリーン水素の普及拡大は重要ですが、一方で、前述のとおり都内で十分なグリーン水素を製造・調達するには、都外の再エネの活用も含めて検討する必要があります。

具体的には、都外の再エネ電力を活用して都内でグリーン水素を製造する、又は都外で製造されたグリーン水素を都内へ運搬するといった方法が考えられます。

また、将来的には水素の環境価値を用いた取引等も考えられます。

東京都は、今後、水素需要の拡大が見込まれる中でグリーン水素の供給を増やしていくため、都外の再エネの活用拡大を図るとともに、水素の環境価値の評価・活用に向けて前述の取組を行うほか、環境価値の評価確立を国にも働きかけるなど、より効果的な方法について検討していきます。

都外の再エネを用いたグリーン水素の製造・調達のイメージ



▶ 推進事業や研究によるエネルギーマネジメントの検討

八王子市南大沢地区においては、再エネ大量導入時代を見据え、電力の需給調整を行うことで地域の再エネを無駄なく利用する「地域における再エネシェアリング推進事業」を実施しています。今後、事業内で設置するグリーン水素活用設備等を効果的に運転し、検討を深めていきます。

この他、東京都環境科学研究所でも、水素を活用した建物等での効率的なエネルギー利用を目指す研究を行っています。

地域における再エネシェアリングのイメージ



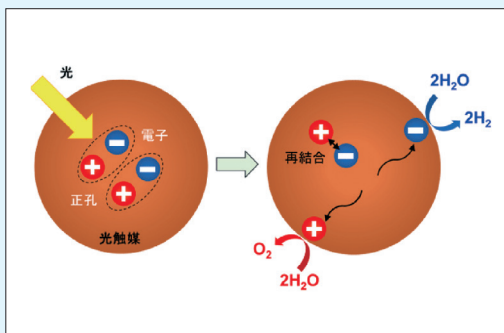
革新的技術：光触媒による水素製造

化学反応において反応速度を速める物質を「触媒」といい、化学工業などで広く用いられています。太陽光を吸収して触媒作用を示すものが「光触媒」であり、水を水素と酸素に分解する反応などが知られています。

【原理】…太陽光を吸収すると、触媒内部では負電荷をもった電子と、正電荷をもった正孔が発生します。これらが光触媒表面に移動し、水と酸化還元反応を起こすことで水素と酸素が発生します。

光触媒を用いると、電気分解とは異なり、太陽光から直接水素を製造することができます。CO₂も発生しないことから、光触媒による水素製造は将来のグリーン水素の製造方法の一つとして期待されており、実用化を目指し、現在の課題である効率の向上等に向けて世界中で研究が進められています。

光触媒での水素の発生原理



©国立研究開発法人 産業技術総合研究所

動き出した世界の グリーン水素製造プロジェクト

近年、水素関連の取組が世界で加速しており、
グリーン水素を製造するプロジェクトについても一気に動き出しています。

国外

●ドイツ

日本の重工業メーカーも含めた3社により、火力発電所跡地を活用したグリーン水素ハブ(製造・供給事業)について、実現可能性の調査が行われています。

【水素製造装置:100MW】

●オランダ

欧州系石油メジャー等により、洋上風力発電とグリーン水素製造などの一体開発プロジェクトが進められています。

【洋上風力発電:759MW(2023年時点)】

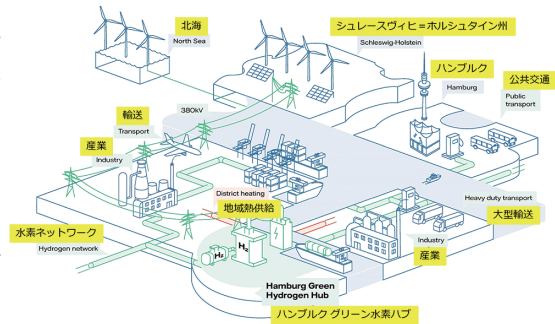
●オーストラリア

豪州の電力会社と国内エネルギー事業者等により、グリーン水素を大規模に製造・液化して日本へ輸出するプロジェクトの事業化調査が進められています。【グリーン水素製造量:800トン/日以上(2031年~)】

●サウジアラビア

米国とサウジアラビアのエネルギー事業者等により、世界最大級の水素供給能力をもつグリーン水素製造施設の建設の計画が進められています。【太陽光発電及び風力発電:4GW / グリーン水素製造量:650トン/日】

グリーン水素ハブの構想図(ドイツ)



©三菱重工業(株)

国内

●福島県浪江町

国内の重工業メーカー等による実証研究事業*において、福島県浪江町に水素製造研究施設が建設され、大規模な水電解装置でグリーン水素を製造する試験などが行われています。

【太陽光発電:20MW / 水素製造装置:10MW】

●山梨県甲府市

山梨県企業局等による実証研究事業*において、山梨県甲府市の米倉山電力貯蔵技術研究サイトにグリーン水素を製造試験するシステムが構築され、水素製造装置の大型化・モジュール化に向けた試験などが行われています。

【太陽光発電:10MW / 水素製造装置:2.3MW】

●大分県玖珠郡九重町

国内のゼネコンにより、大分県玖珠郡九重町に地熱発電を利用してグリーン水素を製造するプラントが建設され、需要先へ供給するまでの一連のプロセスを実証する試みが進められています。

【地熱発電:125kW / グリーン水素製造量:10Nm³/h】

この他、各地で家畜の糞尿など多様な原料から水素を作り出す取組が進められています。

*NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)事業として実施

水素製造研究施設



©NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)

米倉山電力貯蔵技術研究サイト



©山梨県企業局

グリーン水素製造実証プラント



©(株)大林組

3. 運輸分野での水素利用拡大

第2章で紹介したとおり、2030年頃の運輸分野では大型車両や船舶などの輸送機器での水素活用が期待されますが、これに向けて、まず足元では、運輸分野のCO₂排出量の約8割を占める自動車の脱炭素化を進めていきます。

燃料電池車は、走行時にCO₂を一切排出しないことに加え、大型の車両や長距離の走行に適していることや、水素の充填時間が短いなどの長所を持つことから、燃料電池自動車（乗用車）や燃料電池バスの一層の導入拡大や燃料電池トラックなどの商用燃料電池車両の早期の実装化を進めていきます。

また、自動車の普及により燃料電池の技術的革新やコストの低減が図られることから、次の段階として、船舶等、自動車以外の輸送手段での水素活用を後押ししていきます。

1 現状と課題

▶ 燃料電池車両の普及拡大

身近な交通手段であり、車両の量産開発が進む燃料電池自動車や燃料電池バスの導入を支援しています。また、大学や区市などと連携し、燃料電池ごみ収集車の開発・試験運用を実施しています。

■ 燃料電池自動車導入実績

	実績値(2022年2月末時点)	2030年目標値
普及台数	1,341台* ※補助金交付決定ベース	乗用車新車販売 100%非ガソリン化

燃料電池自動車 (FCV)



©トヨタ自動車(株)

■ 燃料電池バス導入実績

	実績値(2022年2月末時点)	2030年目標値
普及台数	93台	ゼロエミッションバス 300台以上

燃料電池バス (FCバス)



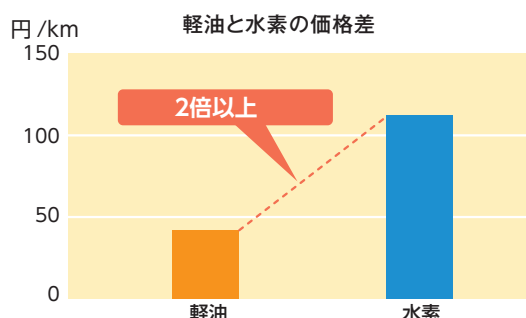
▶ 燃料電池車両普及拡大に向けた課題

燃料電池自動車（乗用車）は、徐々に導入が進んでいますが、先進的な技術のため、グローバルに販売するメーカーや車種が限定的なことなどから、導入台数が2014年度に設定した目標を下回っており、多目的スポーツカー（SUV）やワンボックスカーなど消費者のニーズに応える車種の拡大が望まれます。

現在、燃料電池バスは、ディーゼルバスに比べて高額な上、水素と軽油との燃料費差も大きいいため、自立的な普及に向けては車両価格と燃料費の一層の低減が必要となります。

バス以外の商用燃料電池車両については、民間事業者が数台規模の燃料電池トラックの走行実証を行っている段階であり、実装化に向けた後押しが必要です。

また、今後は、燃料電池搭載車両に加え、内燃機関車両での水素や合成燃料（e-fuel）の活用も運輸分野の脱炭素化の選択肢となる可能性があります。



※軽油価格:2020年度大口需要者向け軽油ローリー渡価格(平均)
(資源エネルギー庁ウェブサイトを参考に東京都算出)
※水素価格:都内水素ステーション販売価格(平均)

燃料電池トラック (FCトラック)



©トヨタ自動車(株)



▶ 燃料電池車両を支える水素ステーション整備

燃料電池車両の一層の普及のためには、近くに水素ステーションがあり、いつでも安心して充填できる環境整備が必要です。

東京都は、水素ステーションの整備費と運営費に対する幅広い補助を設け、整備拡大を強力に進めています。

都内の水素ステーション数は、2021年度末時点で23か所（整備中1か所を含む。）あり、うち、燃料電池バスに充填可能なものも9か所あります。

▶ 水素ステーション整備拡大に向けた課題

臨海部を中心に整備が進んでいますが、区部の内陸部や多摩地域などには、まだまだ水素ステーションが不足しています。

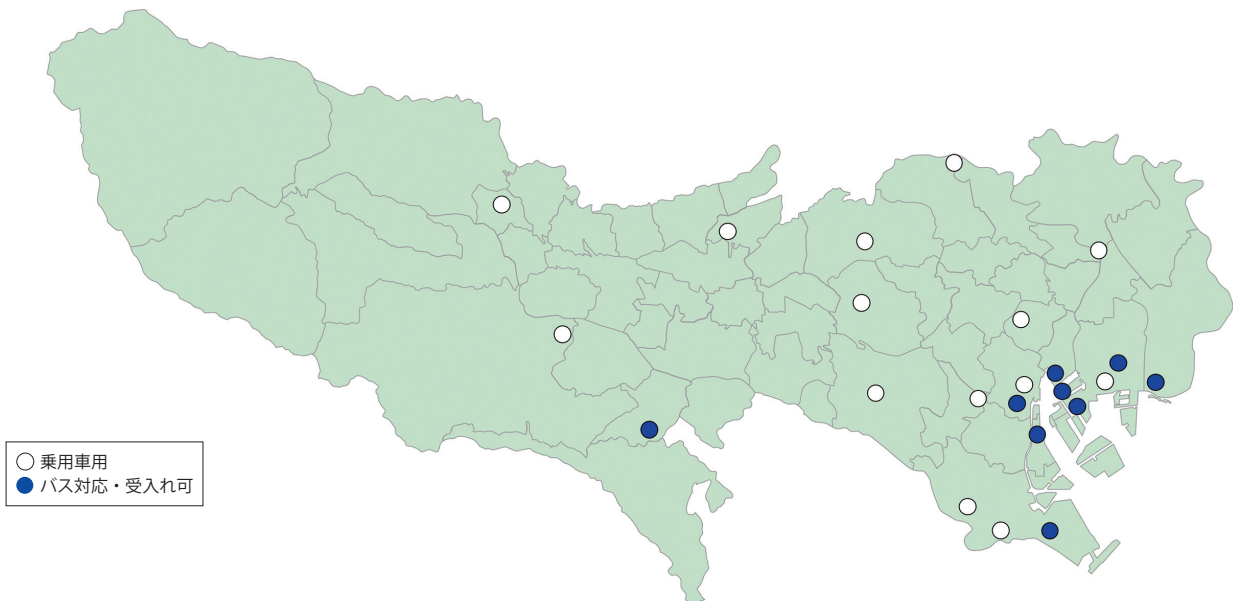
厳しい法規制の存在もあり、整備・運営コストともにガソリンスタンドと比較して高いほか、広い面積が必要なため、都内においては用地確保が簡単ではないといった事情もあります。

また、既存のガソリンスタンドや中小・地場の事業者などが事業参画できる環境づくりも重要です。

加えて、水素ステーションの事業性を高めるためにも、乗用車以外の燃料電池車両の導入のスピードを速め、水素需要を高める必要があります。

現在、充填用水素として副生水素や廃プラスチック由来の水素などを用いている水素ステーションもありますが、多くは化石燃料を改質したグレー水素であるため、将来的には、グレー水素をグリーン水素化していくことも必要です。

東京都内の水素ステーション整備状況
(2021年度末時点で23か所:整備中1か所を含む。)



2 施策の方向性

▶ 商用燃料電池車両の導入を核とした水素需要の一層の拡大

- 燃料電池自動車（乗用車）や燃料電池バスの更なる導入拡大に加え、トラックなどの大型商用燃料電池車両の早期実装を実現し、自動車による一層の水素利用拡大を図る。
- 既存ガソリンスタンド等への水素ステーションの併設や、燃料電池バス・トラック等の需要にも応える水素ステーションの整備などにより、水素の充填環境を充実させる。
- 先行して整備された水素ステーションの事業性の確保に向けた支援

▶ 燃料電池車両の普及による技術開発や水素価格の低減により船舶等、自動車以外の輸送手段での水素利用を後押しする。

3 今後の取組内容

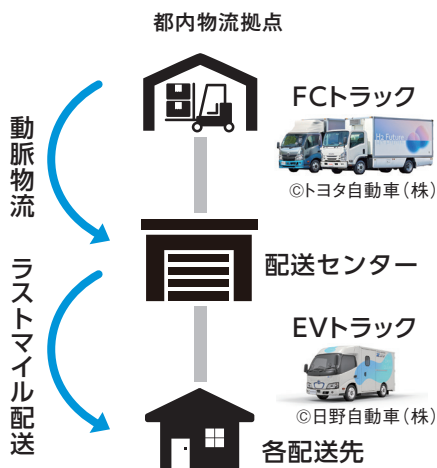
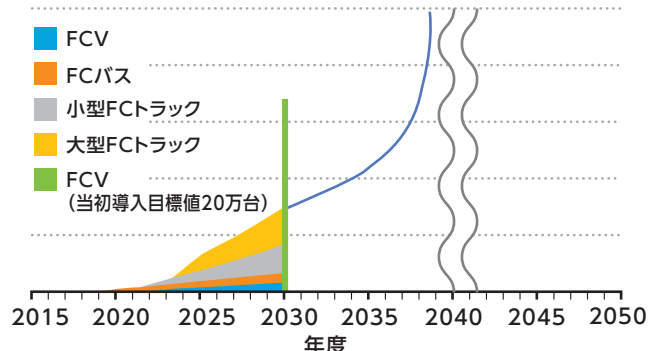
▶ 自動車による一層の水素利用拡大に資する取組を展開

燃料電池自動車(乗用車)の利用の幅を広げるため、レンタカー・カーシェア等の業務用車両としての利用拡大を図っていきます。

燃料電池バスについては、導入台数に応じたインセンティブの付与や、軽油よりも高い水素充填価格を補う支援策などを通じて更なる普及拡大を図ります。

水素利用量のポテンシャルが大きいその他の商用車両については、車種のニーズや開発状況等に合わせて支援策を講じ、早期実装化を図ります。

自動車による水素需要量(想定)



燃料電池ごみ収集車



燃料電池フォークリフト



©(株)豊田自動織機

開発が進みつつある燃料電池トラックの早期導入を推進

メーカー等と連携し、早期導入を推進

▶ 燃料電池車両の普及に不可欠な水素充填環境の充実化

一層の規制緩和、支援策の拡充

大型燃料電池車両にも対応する水素ステーションを適地に整備し、需給両面から水素利用の一層の普及拡大を図ります。

そのためにも必要となる、水素関連設備と公道等との離隔距離規制の一層の緩和や、高コストの要因となっている法定検査の簡素化など、ガソリンスタンド並みの規制に近づけるよう、今後も強く国に求めています。

また、引き続き必要な整備費用や運営費の支援を行っていくほか、所有地の積極的な活用や、都内の高額な土地利用コストを緩和するための土地賃借料補助率の引き上げ、狭小地での設置が期待される小型水素ステーションの整備支援など、あらゆる角度から水素ステーションの整備拡大を後押しし、都内のステーションが今の倍以上整備されることを目指していきます。

バス対応水素ステーション

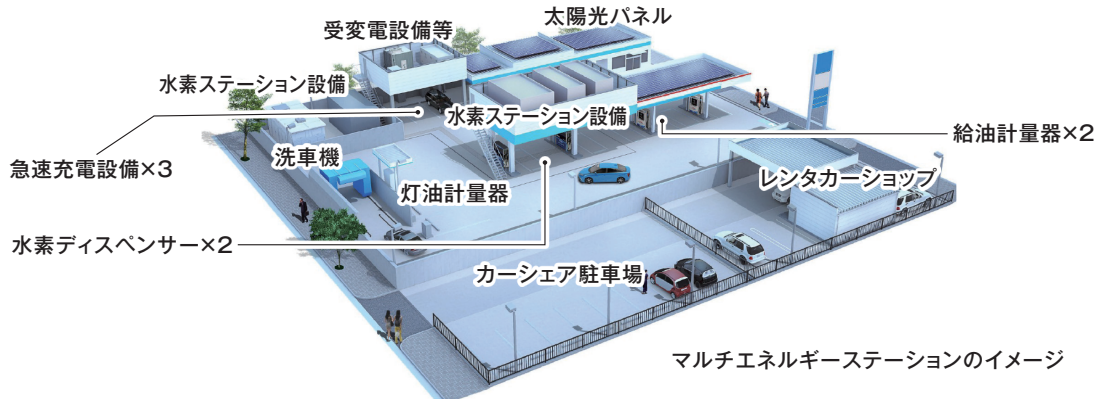


©京王電鉄バス(株)



マルチエネルギーステーション化、大容量充填への対応

まとまった土地の確保が難しい都内においては、既存のガソリンスタンド等の活用も重要です。環境配慮型の地域のエネルギー供給拠点としての役割も担えるよう、既存ガソリンスタンド等に水素ステーションの併設や急速充電器等の設置、ZEVレンタカー・カーシェアの導入を図り、マルチエネルギーステーション化を図っていきます。



マルチエネルギーステーションのイメージ

現在、国で実証中の大型燃料電池車両の充填規格の確立を見据え、大型トラックに対応する大容量充填能力を有する水素ステーションの整備を促進していきます。

また、既存の水素ステーションの大型車両への充填対応化や機能向上、設備更新等に対する支援を検討していきます。

水素ステーションの脱炭素化

水素ステーションで充填される水素自体の脱炭素化のため、太陽光発電等の再生可能エネルギーを使用して水電解することでグリーン水素を製造するといった水素ステーションの脱炭素化に向けた取組への評価やインセンティブ付与等を検討していきます。

▶ 水素燃料船等の商用化促進

運輸分野での水素活用は、自動車だけではなくありません。将来は船舶や航空機での活用も期待されています。

船舶については、国際海事機関（IMO）による排出ガス規制の強化に伴い、環境負荷の小さい燃料への転換が進められており、今後、ゼロエミッション船舶の一つとして、水素を燃料とする船舶の導入も期待されます。東京都は、入港料を免除するインセンティブ制度を導入し、水素燃料船等の商用化と早期就航を後押ししています。



水素エンジン車

現在、市販されている水素を使って走行する自動車は、水素を燃料電池で化学反応させて得た電力により、モーターを回して走ることから、燃料電池自動車と呼ばれます。

一方で、ガソリンの代わりに水素を直接燃焼させてエネルギーをつくり走行する水素エンジン車の開発が進められています。水素エンジン車は燃料電池自動車と異なり、従来のエンジン技術を活用することができます。

市販化はされていませんが、開発車両でレースに出場するといった取組も実施されています。また、二輪車等での水素エンジン活用の検討も始まっています。

鉄道での水素活用

国内の鉄道会社では、自動車メーカー等と連携して大量輸送機関である鉄道における脱炭素化を進めるため、水素を燃料とし、燃料電池と蓄電池を電源とするハイブリッドシステムを搭載した車両の開発を行っています。

2022年3月に実証試験が開始されました。

水素エンジン



©トヨタ自動車（株）

レースに出場した車両



©トヨタ自動車（株）

燃料電池を活用した車両



©東日本旅客鉄道（株）

4. 様々な分野での水素利用拡大

第2章で紹介したとおり、2030年頃には、水素は発電の燃料や産業・業務・家庭分野での熱需要など、様々な分野の脱炭素化に貢献することが期待されます。

これに向けて、まずは燃料電池等の活用拡大により、業務・家庭分野におけるCO₂排出削減を図るとともに、発電・産業分野等での将来的な水素導入に向けた開発を促し、水素の需要を拡大していく必要があります。

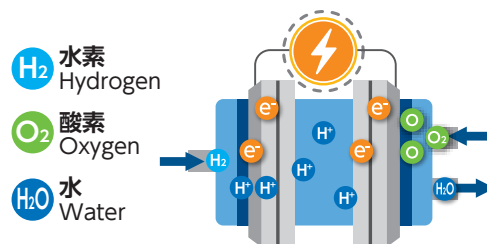
1 現状と課題

燃料電池の活用拡大

燃料電池は、水素利用における最重要技術の一つで、電気化学反応により、水素から電気・熱を取り出すことができます。このメカニズムにより、高い発電効率、小型化、排熱利用が可能であるなどの特徴を有しています。

東京都では、既に市販化されている家庭用燃料電池（エネファーム）、業務・産業用燃料電池、純水素型燃料電池の導入を支援しています。

燃料電池の仕組み



■家庭用燃料電池設置実績

	実績値(2020年度末時点)	2030年目標値
普及台数	約6.7万台	100万台

■業務・産業用燃料電池設置実績

	実績値(2020年度末時点)	2030年目標値
kW数	約2,500kW	30,000kW

燃料電池の活用拡大へ向けた課題

燃料電池の更なる普及拡大に向けては、一層の価格の低減が必要です。

また、都市ガス等を改質して水素を作るタイプの燃料電池は、改質時にCO₂が発生することも課題です。

燃料電池の多用途化、多分野での水素の燃焼利用

現在、燃料電池は、家庭用燃料電池（エネファーム）や燃料電池自動車などで活用されていますが、ここで使われている燃料電池システムは、ドローン、農業機械、建設機械、小型船舶、港湾機器等様々な用途に展開することが可能であり、今後、活用の幅を広げていく必要があります。

また、燃料電池の活用以外にも、水素は直接燃焼させてエネルギーを得ることも可能であり、発電、大型船舶、航空機、産業プロセスなど多分野での実用化に向けた開発を促進していく必要があります。

2 施策の方向性

▶ 燃料電池をはじめ様々な分野での水素の活用を促し、需要を拡大

- 燃料電池について引き続き導入支援を行い、機器の普及及び価格低減を促すとともに、燃料そのものの脱炭素化を促進する。
- 様々な分野での水素利活用促進のため、関連企業・国等との一層の連携を図る。

3 今後の取組内容

▶ 燃料電池の導入支援を継続

家庭用、業務・産業用燃料電池等の導入支援を継続し、更なる普及を図るとともに、価格低減や発電効率の向上、小型化といった技術開発を促進していきます。

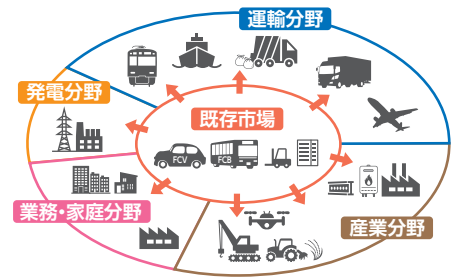
都市ガス改質等の水素を燃料とする機器の課題解決のため、メタネーション(第2章3(3))や使用場所でのCCUSの早期導入を促していくとともに、引き続き、純水素型燃料電池の普及拡大などを進めていきます。



▶ 様々な分野での水素利活用の促進（燃料電池の多用途化、多分野での水素の燃焼利用）

燃料電池技術の多用途化及び多分野での水素の燃焼利用については、実用化促進に向けて、関連企業や国、自治体等と連携を図るとともに、技術開発の動向に応じた導入促進、最新技術の積極的な発信、国に対する技術開発支援の要望等を行っていきます。

また、サステナブルエネルギーファンドを活用し、水素関連事業を含むクリーンエネルギー拠点等の整備を促進していきます。



▶ 東京2020大会のレガシーとなるまちづくり

東京2020大会では、選手が利用するリラクゼーションハウスの電源などに水素が使われました。

そして、東京2020大会時に選手村であった晴海の再開発地区では、実用段階では国内初となるパイプラインを通じた街区への水素供給等が予定されています。このような、まちづくりを通じた水素活用についても、今後促進していきます。

晴海の再開発地区のイメージ



©晴海五丁目西地区第一種市街地再開発事業特定建築者

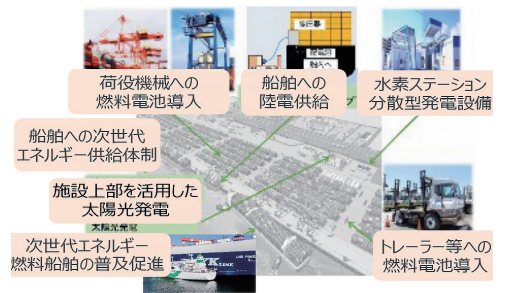
▶ 臨海部における取組

臨海部は脱炭素社会への貢献が期待されるエリアであることから、今後、次のような取組を実施します。

東京港における官民の連携のもと、カーボンニュートラルポート形成計画を策定し、水素利用などによる脱炭素化に取り組んでいきます。

また、臨海副都心の建築物などにおける水素エネルギー活用に向けたモデルを構築することで、民間事業者における普及を促進します。

カーボンニュートラルポートイメージ



出典:「未来の東京」戦略 version up 2022 を基に作成

多用途での水素利用例

● 燃料電池発電機

高い発電能力を有する燃料電池は、可搬形の発電機での活用も検討されています。実用化されれば、土木・建設工事の現場や、災害発生時の生活電源など幅広い分野での活用が可能になります。

FCモジュール

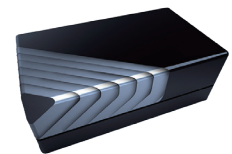
現在、燃料電池システムをパッケージ化し、容易に活用可能なFCモジュールとして販売する取組もあることから、今後、様々な業界における燃料電池の多用途展開が期待されます。

燃料電池式可搬型水素発電装置



©デンソー(株)

FCモジュール



©トヨタ自動車(株)

● 水素燃料ボイラー

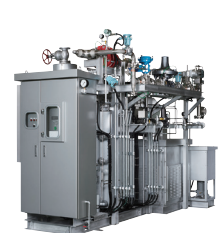
水素は燃焼による利用も期待されており、水素専焼の小型ボイラーなどで企業による開発、市場投入が進められています。

水素のみを燃料とするボイラーは、燃焼時にCO₂を排出しないほか、燃焼時に生じる窒素酸化物(NO_x)が少ないタイプの機器では、大気汚染対策との両立も可能です。

そこで、東京都は2021年に「東京都低NO_x・低CO₂小規模燃焼機器認定制度[※]」の対象として、新たに水素燃料ボイラーを追加し、認定を行っています。

[※]小規模燃焼機器から排出されるNO_xやCO₂を削減するため、NO_xとCO₂の排出が少ない小規模燃焼機器を認定する制度

水素燃料ボイラー



©三浦工業(株)





第2章で紹介したとおり、2030年頃には水素エネルギーの社会実装の進展が期待されます。これに向けて東京都は、都民や団体等に対する効果的な情報発信を行っていきます。

1 施策の方向性

▶ 水素エネルギーの一層の普及と理解促進に向けた取組を展開

- 多様な主体と連携し、幅広い世代への普及啓発を推進する。
- オンラインを活用し、継続的にアプローチを図る。

2 今後の取組内容

▶ 官民両輪によるムーブメントの醸成

2017年、100以上の民間団体、都内自治体と東京都で、「Tokyoスイソ推進チーム」を立ち上げ、「水素エネルギーの見える化」などによる普及啓発に取り組んできました。今後、水素エネルギーの社会実装に向け、仲間づくりの支援など企業間の連携を促進していきます。



発足式

▶ 他県や研究機関等との連携

2016年、東京都・福島県・(国研)産業技術総合研究所・(公財)東京都環境公社は、CO₂フリー水素の利用拡大に向けた協定を締結し、これまで都内での福島県産水素の活用や、環境イベントにおける相互PRなどを行ってきました。

さらに、2020年に東京都と(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は、水素エネルギーの普及促進に係る協定を締結し、セミナーの開催や環境学習などにおいて連携して取り組んでいます。

東京2020大会開催時には、再生可能エネルギーを用いて福島県で製造された水素を選手村のリラクゼーションハウスや居住棟の一部で活用しました。

今後も技術的知見の共有や広報・啓発活動で連携していくとともに、再生エネ由来水素の普及拡大に向けた取組を推進していきます。



水素カード(東京2020大会選手村)

▶ オンラインによる情報発信

新型コロナウイルス感染症の影響で、オンラインを活用する機会が増えています。水素エネルギーの普及啓発においても、オンラインによるイベントやセミナーの開催により情報発信を行いました。

今後も、ホームページなど情報発信のためのプラットフォームの充実を図り、水素の意義や安全対策、最新研究や新技術までをテーマとして、オンラインコンテンツの定期的な配信などにより、幅広い世代へ継続的なアプローチを行っていきます。



小学生向けオンラインイベント(2021年度)

水素情報館「東京スイソミル」

目に見えない水素のことや水素社会の将来像を、見て触って体験しながら楽しく学べる総合的な学習施設です。

2016年に開設し、子どもから高齢の方にも分かりやすく情報を提供しています。

水素情報館 東京スイソミル



©(公財)東京都環境公社

COLUMN コラム

2030年頃のエネルギー利用での 水素需要はどのくらい？

現在、エネルギーとしての水素利用は限定的ですが、将来的には様々な分野で活用されるポテンシャルを有しています。こうした今後の水素需要の拡大が、技術開発やサプライチェーン構築、コスト低減などの後押しとなり、水素エネルギーの実装化を加速させる好循環となることが期待されます。では、2030年頃、大量に安価な水素が調達されることを前提とした場合、エネルギーとして利用される水素はどのような分野でどの程度活用されているのでしょうか？

●燃料電池車両等

第2章2で紹介したとおり、自動車等の脱炭素化の方法として、水素活用が期待されています。

都内における2030年の水素需要量は、都内の燃料電池自動車・バス・トラック(小型・大型)の導入予測から約0.7億Nm³と推計されます。

また、この他、既に商用化されている燃料電池フォークリフトをはじめとして、ごみ収集車や船舶など、今後、様々な輸送機器で水素需要が見込まれるため、**より多くの水素需要が期待されます。**

●メタネーション

第2章3(2)、(3)で紹介したとおり、熱の脱炭素化の方法として、水素活用が期待されています。

国は「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」等において、2030年には、既存インフラにメタネーションによる合成メタンを1%導入することを目標ととしています。この想定に基づく合成メタン導入量は国全体で4億m³、メタネーションに必要な水素量は国全体で16億m³と推計されています*。

都内においては、上記の値と、現在の国内における都市ガスの最終エネルギー消費量の都内割合から、約0.5億m³の合成メタンの導入が見込まれ、メタネーションに必要な水素量は**約2億m³**と推計されます。

※第4回メタネーション推進官民協議会資料

●水素発電

第2章3(1)で紹介したとおり、水素発電の実用化が期待されており、各企業による開発等が行われています。

国は、「2030年度におけるエネルギー需給の見通し」及び同関連資料において、2030年における利用の見通しとして、水素・アンモニア*の商用の国際サプライチェーンが構築され、水素・アンモニア発電が一定程度開始すると仮定して、電源構成の1%程度の発電を見込むと試算しています。

また、これに伴う国際サプライチェーンから発電部門への供給量は、同関連資料において、国全体で水素30万トン(約34億Nm^{3*})、アンモニア300万トン(約39億Nm^{3*})と推計されています。

なお、現在の国内における電力の最終エネルギー消費量の都内割合から、上記の水素量を按分して推計した場合、**約3億Nm³**が都内の電力消費のために活用される水素量(アンモニアは約4億Nm³)となります。

※Nm³換算は東京都による計算

●その他(エネルギー利用以外での利用)

エネルギー利用以外では、石油精製における脱硫工程や口紅の製造過程など、産業分野における様々な原料として、水素が使用されています。

身の回りの製品の製造工程を調べてみると、実は原料に水素が使われているものがあるかもしれません。

※本コラムでの水素需要量は、一定の条件下での東京都による推計値です。前提条件や今後の技術開発等により変動します。

2030年及び2050年に向けた水素ロードマップ

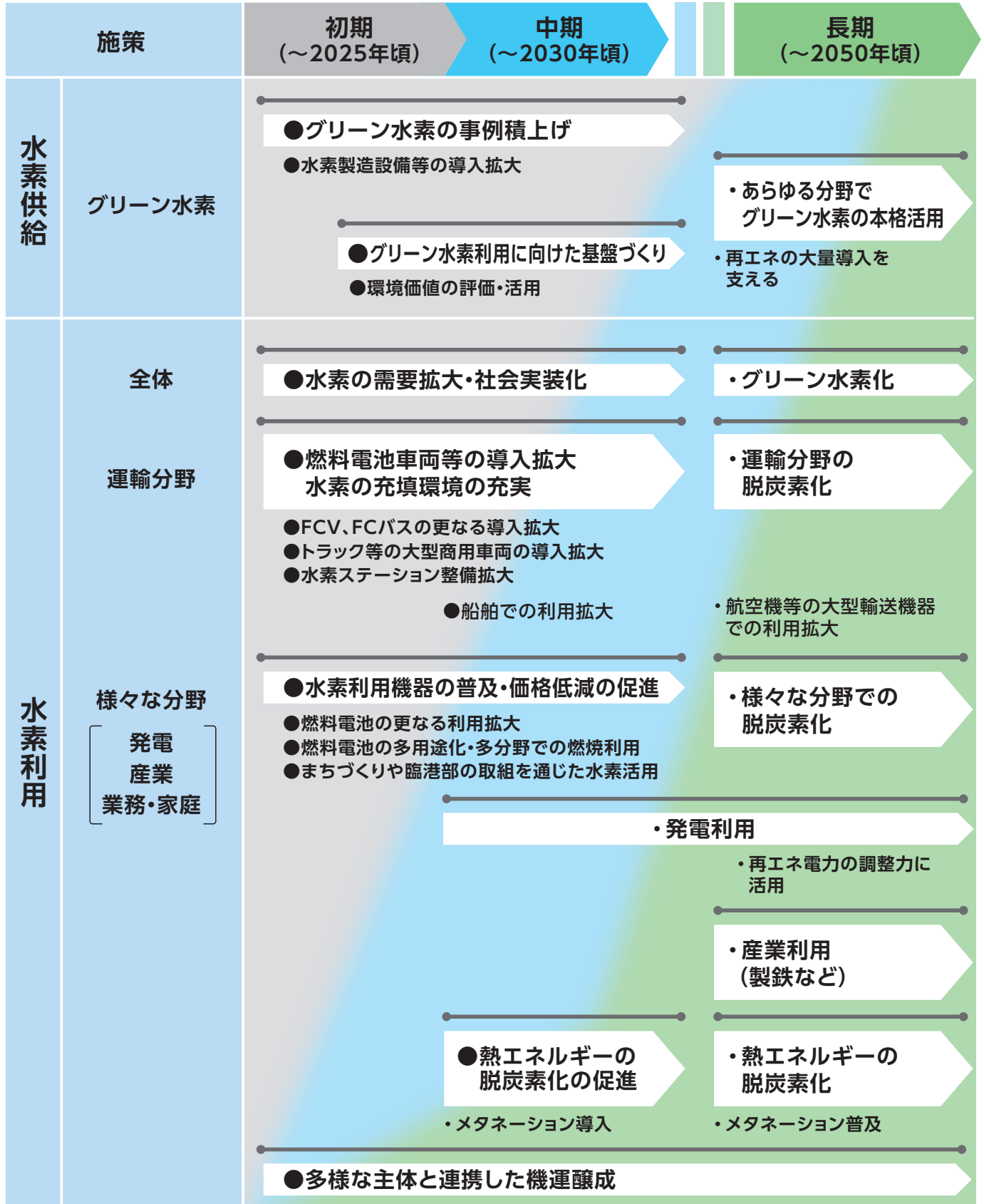


東京都は、2030年のカーボンハーフに向けて水素の需要拡大と社会実装化を促進するとともに、2050年にグリーン水素が脱炭素社会実現の柱となるよう、その基盤づくりを進めていきます。

水素関連の技術開発や市場投入の動向等を踏まえながら、関係する企業、国、自治体等と一層の連携を深め、需給両面での水素の普及拡大を加速していきます。

● 初期・中期における東京都の取組の方向性

● 長期的な目指す水素社会、企業の開発動向等



参考文献

- ・ 経済産業省 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（2020年、2021年）
- ・ 経済産業省 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会 資料（2021年、2022年）
- ・ 経済産業省 第6次エネルギー基本計画（2021年）
- ・ 経済産業省 2030年度におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）（2021年）
- ・ 経済産業省 総合エネルギー統計
- ・ 経済産業省 都道府県別エネルギー消費統計
- ・ 経済産業省 水素・燃料電池戦略ロードマップ（2019年）
- ・ 経済産業省 水素・燃料電池戦略協議会資料（第18回～第27回）（2020年、2021年）
- ・ 経済産業省 メタネーション推進官民協議会 資料（2021年、2022年）
- ・ 経済産業省 ウェブサイト スペシャルコンテンツ
- ・ 国土交通省 水素燃料電池船の安全ガイドライン（2021年）
- ・ 環境省ウェブサイト 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
- ・ IEA（2021）Global Hydrogen Review 2021
- ・ （株）富士経済 2021年版 水素利用市場の将来展望
- ・ 独立行政法人日本貿易振興機構（ジェトロ）ウェブサイト
- ・ NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）ウェブサイト
- ・ 岩谷産業（株）ウェブサイト
- ・ ENEOS（株）ウェブサイト
- ・ （株）大林組 ウェブサイト
- ・ 川崎重工業（株）ウェブサイト
- ・ 千代田化工建設（株）ウェブサイト
- ・ デンヨー（株）ウェブサイト
- ・ トヨタ自動車（株）ウェブサイト
- ・ 東日本旅客鉄道（株）ウェブサイト
- ・ 三浦工業（株）ウェブサイト
- ・ 三菱重工業（株）ウェブサイト

東京水素ビジョン

編集・発行／2022年3月

東京都環境局地球環境エネルギー部次世代エネルギー推進課
〒163-8001 東京都新宿区西新宿二丁目8番1号
TEL (03) 5388-3570



東京都