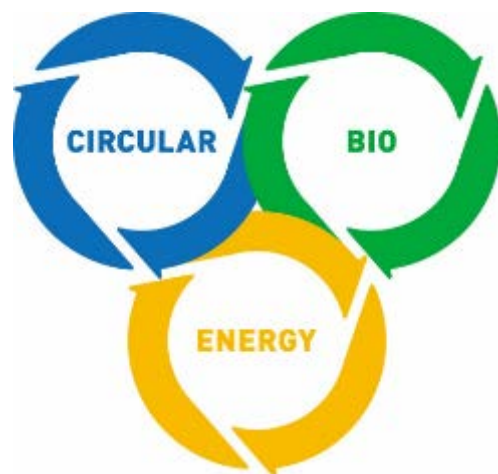


# モビリティ／水素分野の技術動向について

## 第2回グリーンイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ



2020年8月21日

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）

技術戦略研究センター（TSC）

エネルギーシステム・水素ユニット

再生可能エネルギーユニット

環境・化学ユニット

デジタルイノベーションユニット

# モビリティ分野

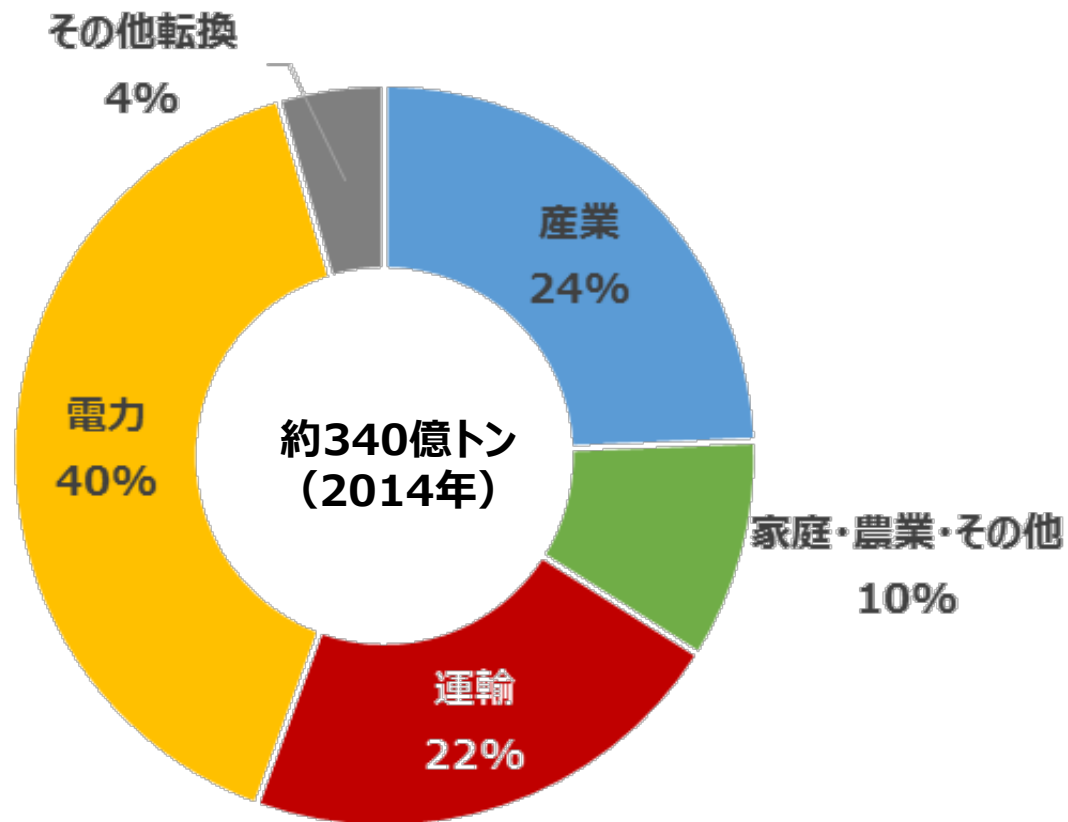
## 革新的環境イノベーション戦略におけるテーマ

- ⑬自動車、航空機等の電動化の拡大（高性能蓄電池等）と環境性能の大幅向上
- ⑭燃料電池システム、水素貯蔵システム等水素を燃料とするモビリティの確立

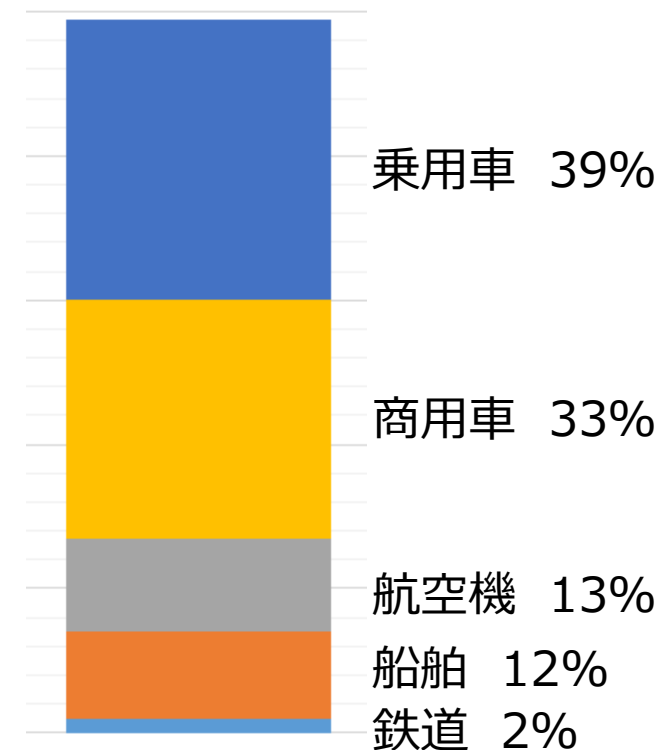
# 「モビリティ」分野の必要性

■ 運輸部門は世界のCO<sub>2</sub>排出量の約2割を占め、CO<sub>2</sub>排出削減に向けた取組が不可欠。

## ✓ 各部門における世界のCO<sub>2</sub>排出量[%] (Direct Emission)



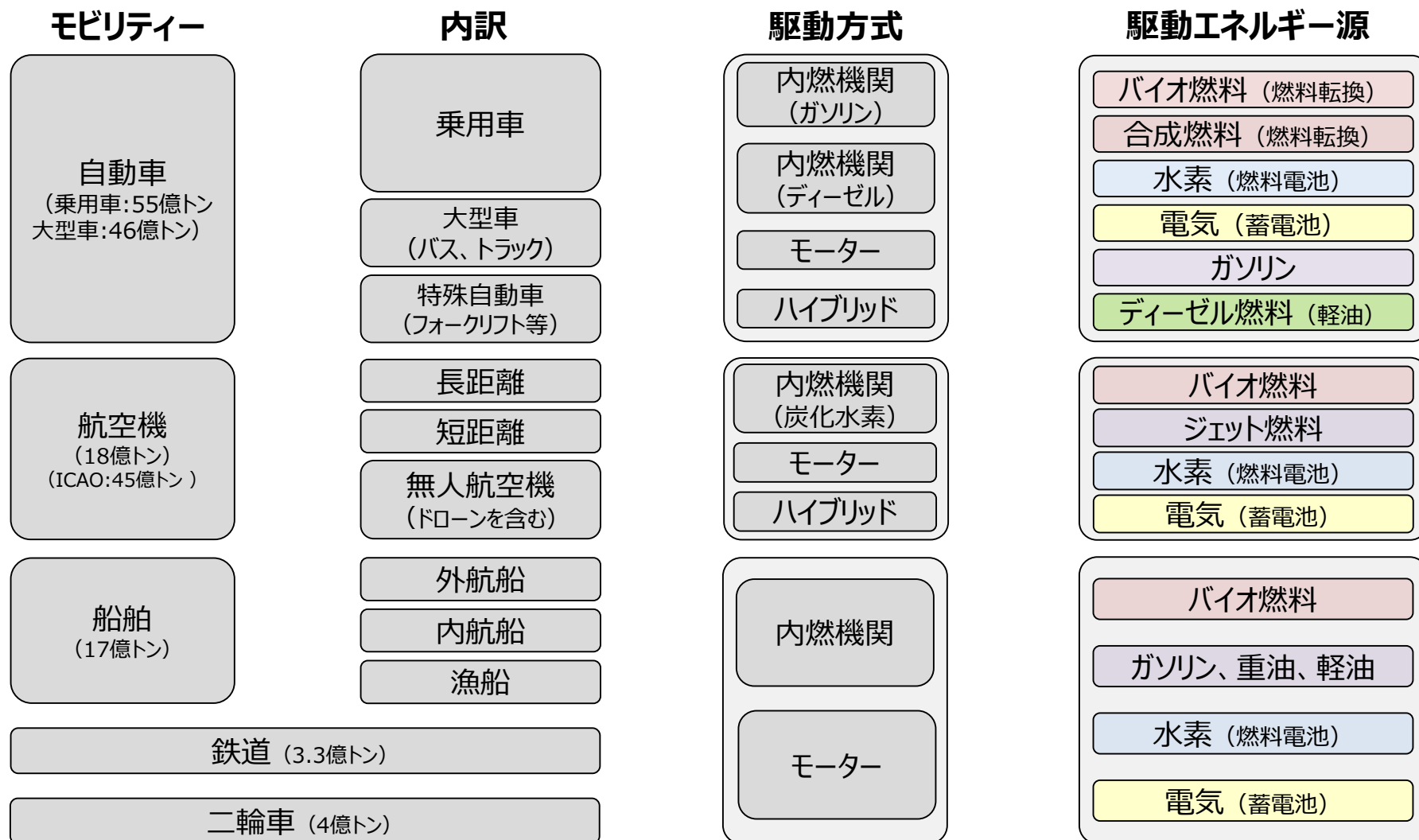
## ✓ 運輸部門における世界のCO<sub>2</sub>排出量[%] (Well to Wheel)



出典：IEA Energy Technology Perspectives 2017を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2020）

# 「モビリティ」分野の全体俯瞰 -世界の2050年イメージ-

- 運輸部門を俯瞰すると、自動車、航空機、船舶、鉄道といったモビリティに対して、**2050年における駆動エネルギー源は、**従来燃料からバイオ燃料や合成燃料への転換に加え、電気、水素等の利用による**低炭素化が進んでいく。**



※ ( ) 内は、世界CO2排出量の2050年時点予測

[IEAのETP 2017(Low-carbon opportunities for each transport mode)、RTSシナリオなどを元にNEDO TSCで作成、Well to Wheel Emission]

# 「モビリティ」分野の各国政策

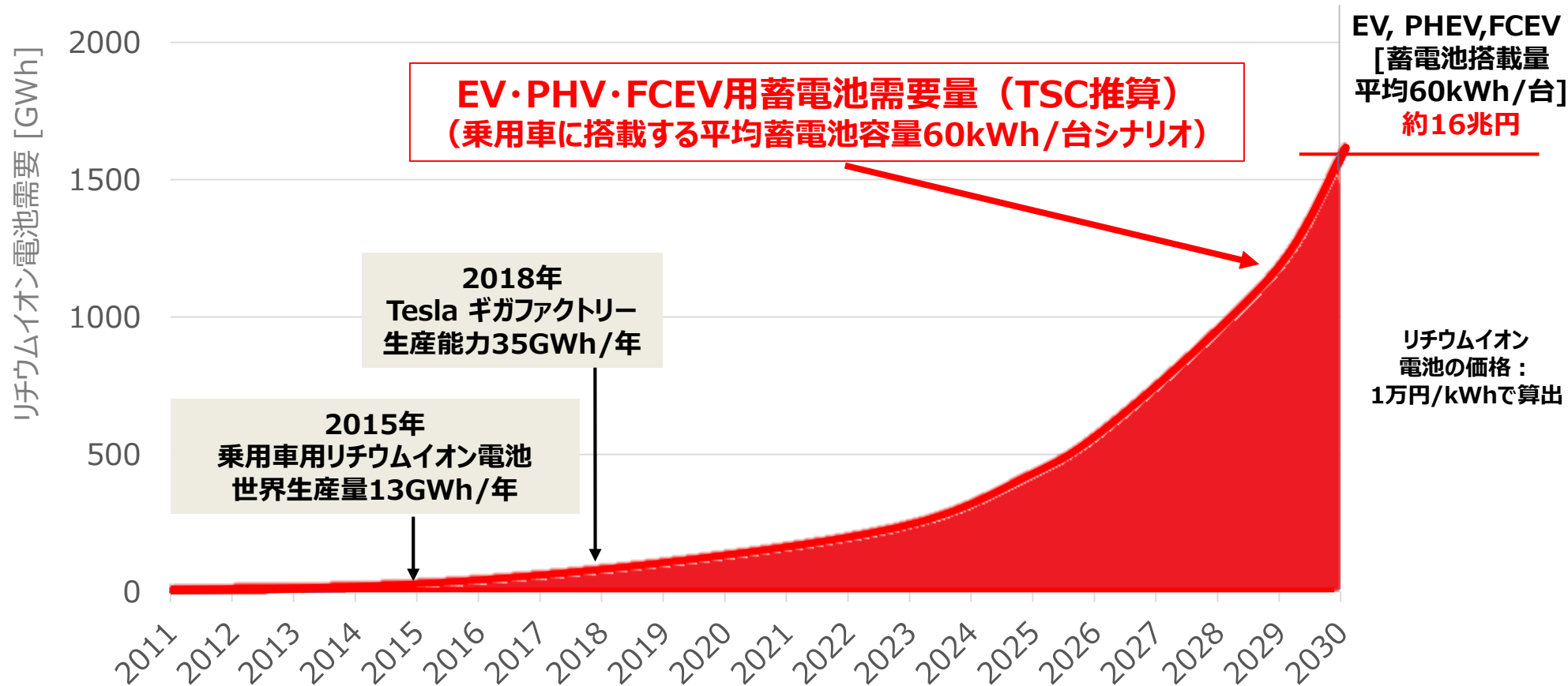
- 各国政府は、規制や優遇措置により環境政策と産業政策を絡めて自国の状況に応じた様々な政策を展開しているが、**モビリティの低・脱炭素化を推進する方向性は共通**している。
- また、航空機や船舶に関しては、国際機関が2050年に向けた規制・義務化を主導している。

| モビリティ | 政策                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 自動車   | <div> <div>  <p><b>「自動車新時代戦略中間整理」</b>（2018）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2030年までに乗用車の新車販売に占める次世代自動車を5～7割とすることを目指す。</li> <li>・2050年までに世界で供給する日本車について世界最高水準の環境性能を実現する。</li> </ul> <p><b>「水素基本戦略」</b>（2017年）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・FCVは2030年までに80万台程度の普及 ・水素ステーションは2030年までに900箇所相当。</li> <li>2020年代後半の事業自立化 ・FCバスは2030年度までに1200台程度の導入を目指す。</li> <li>・FCトラックの開発・商用化等を目指す。</li> </ul> </div> <div>  <p><b>ZEV規制</b>（カリフォルニア州他10州）</p> <p>自動車メーカーが州内で自動車を販売する場合、無公害車ZEVを一定比率以上販売することを義務付け。2018年から中規模メーカーも対象。クレジット取得可能な対象車をEV、FCEV、PHV、水素エンジン車に限定。</p> </div> <div>  <p><b>欧州</b>：2017年10月、欧州委員会の下、<b>欧州バッテリーアライアンス（EBA）</b>を設立。</p> <p>電池のバリューチェーン全体での競争力のある電池産業の創出を目指す。</p> <p>英国、仏国、オランダ、ノルウェー、インド他 2025年、2030年、2040年等に内燃機関自動車販売禁止。</p> </div> <div>  <p><b>「ダブルクレジット規制」</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・NEV（新エネルギー車）規制とCAFC（企業平均燃費）規制からなるダブルクレジット規制を2021年以降に導入。NEV規制は、NEV（EV、PHV、FCV）の種類、航続距離、燃費・電費等により計算される、クレジットを年ごとに決められた割合で取得することが課される規制。</li> </ul> </div> </div> <div> <div>日本：総合的にCO2排出削減</div> <div>米国：蓄電池の技術開発を推進</div> <div>欧州：蓄電池産業の創出を目指す</div> <div>英、仏、蘭、ノルウェー印他：2025,2030,2040年までに内燃機関車販売禁止</div> <div>中国：EV、PHV、FCVの普及戦略 2025年までに技術のキャッチアップ</div> </div> |
| 航空機   | <div> <p><b>国際民間航空機関（ICAO）</b></p> <p><b>「Carbon Neutral Growth 2020」</b>・2020年以降、総排出量を増加させない</p> <p><b>「CORSIA」</b>・燃費効率の高い航空機の導入やバイオジェット燃料導入によるCO<sub>2</sub>排出削減を2021年から自主規制、2027年から義務化</p> <p><b>国際航空運送協会（IATA）長期目標</b>・2050年までに炭素排出量を2005年レベルから半減</p> </div> <div>2050年までに炭素排出量を半減</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 船舶    | <div> <p><b>国際海事機関（IMO）</b></p> <p><b>「GHG削減戦略」</b>（2018年4月採択）</p> <p>①2030年までに国際海運全体の燃費効率（輸送量あたりのCO<sub>2</sub>排出量）を40%以上削減、②2050年までに国際海運からのGHG総排出量を50%以上削減、及び③今世紀中なるべく早期にGHG排出ゼロを目指す※2008年基準</p> <p><b>「国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ」</b>（国土交通省、2020年3月策定）2028年までの商業運航</p> </div> <div>2050年までに炭素排出量を半減</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

# 乗用車用リチウムイオン電池の需要推移

- 乗用車用のリチウムイオン電池の需要は、電動車の需要拡大に合わせて伸びていき、**2030年には、2015年の100倍以上**になると試算しており、**電池パックの市場規模は10兆円規模**になる見込み。

2025年以降のEV目標販売台数を公表している以下の各社の自動車販売数シェア（合計38.9%,2017年）及び目標値（合計1,060万台）を用いて、**2030年に2,700万台（販売）と推算**  
VW（2025年:300万台）、トヨタ(2030年:310万台)、日産（2030年:250万台）、ホンダ（2030年:200万台）



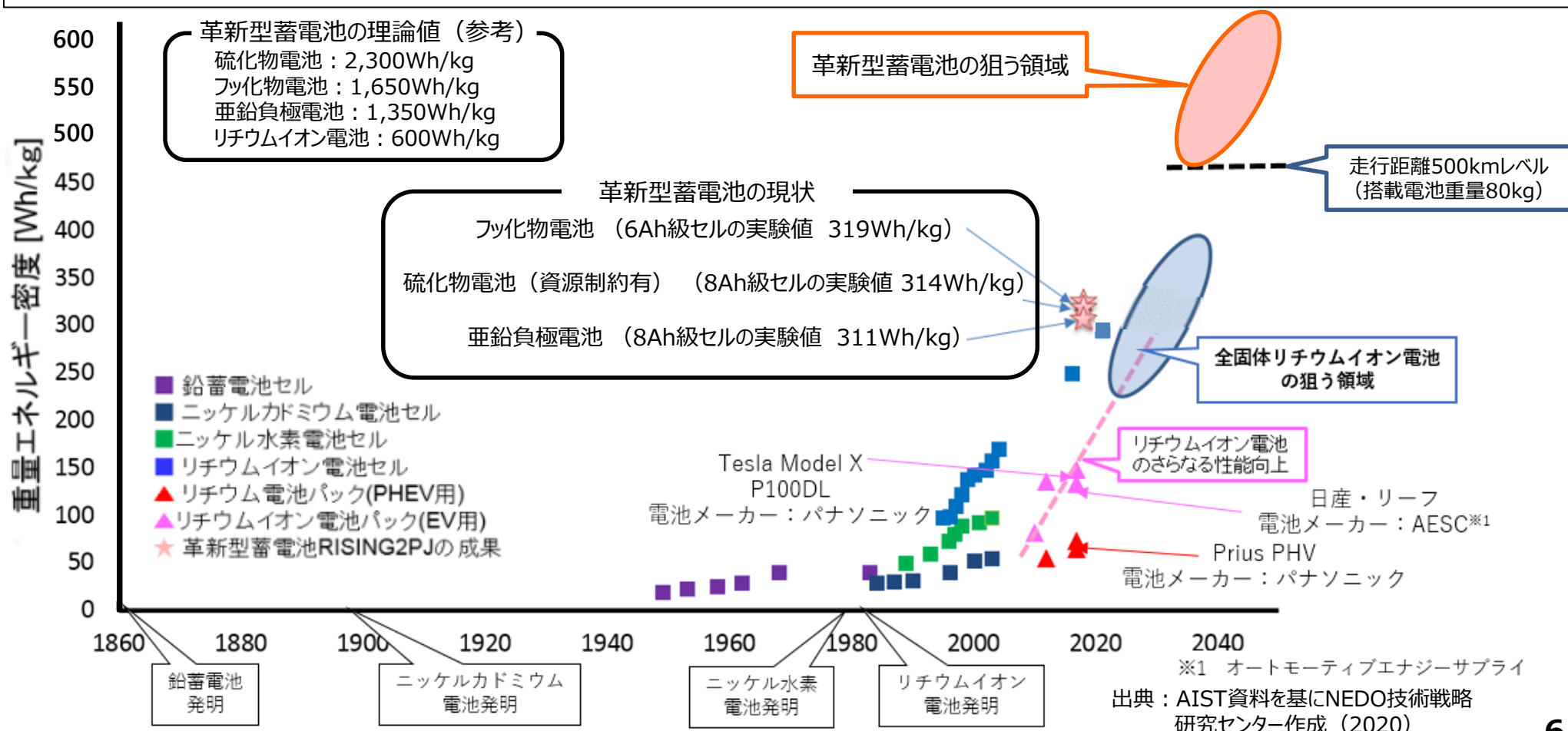
リチウムイオン電池需要量の推移

出典：各種資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2020）



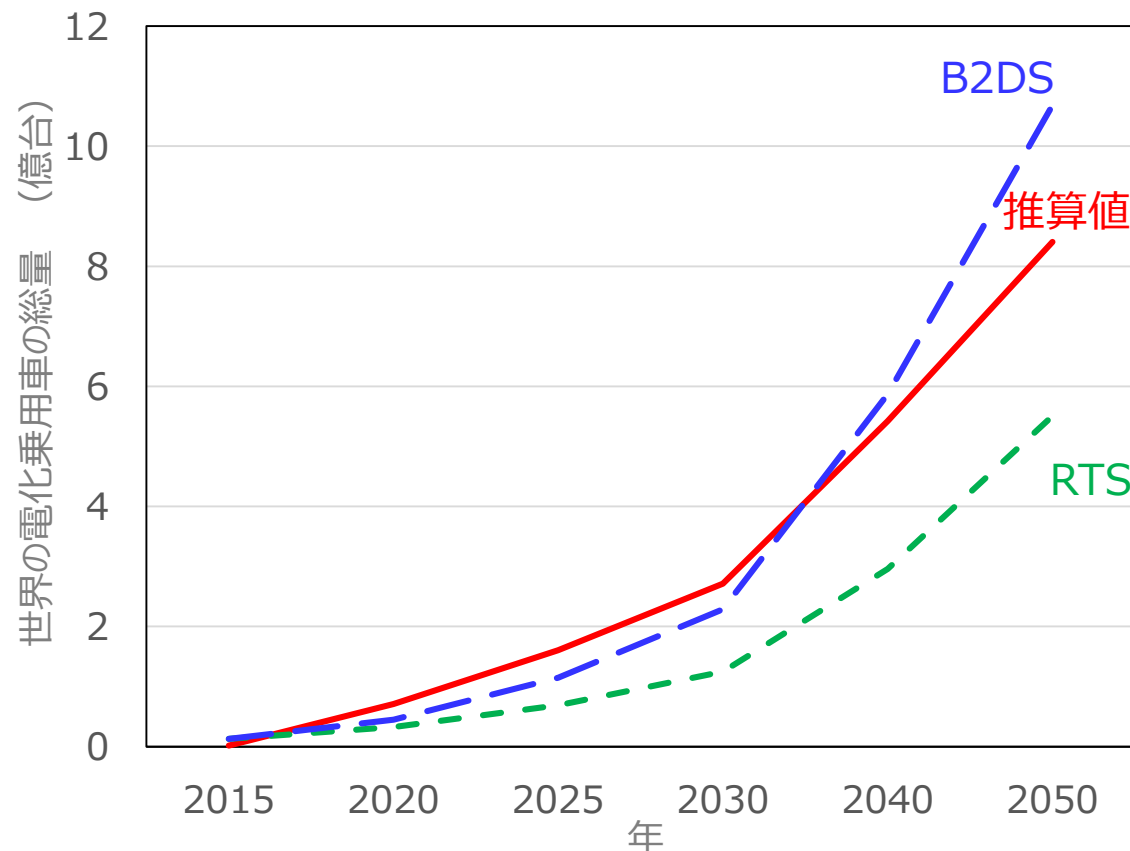
# 「蓄電池」分野の技術動向

- 技術開発としては、エネルギー密度の更なる向上が求められ、開発中の全固体リチウムイオン電池を超える様々な革新型蓄電池の研究開発が進められている。
- 現行のリチウムイオン電池：低抵抗でかつデンドライトの成長を抑える電解液や蓄電池量産化技術の開発が重要。日中韓で競争。
- 全固体リチウムイオン電池（次世代技術）：難燃性で化学的安定性に優れた固体電解質により、高エネルギー密度化と高安全性の両立が可能。特性ばらつきが少ない粉末合成、電解質膜作成および量産プロセスの開発が課題。日本が世界をリード。
- 革新型蓄電池（革新技術）：全固体リチウムイオン電池を凌駕するエネルギー密度。出力密度の向上と長寿命化が課題。資源制約の無い材料で構成できる亜鉛負極電池とフッ化物電池では、日本が世界をリード。
- 出力密度、体積エネルギー密度等も重要な評価指標である。



# 主要メーカーの電化乗用車販売台数目標とIEAシナリオ

- 世界の4つの主要自動車メーカー(トヨタ、ホンダ、日産、VW)による2030年の電化乗用車 (HV、EV、PHEV、FCEV)販売台数目標より、2050年までの電化乗用車の普及台数を推算。
- 2030年時点では、電化乗用車の総量は、IEA EPT 2017のB2DSシナリオの総量を超える可能性がある。
- CO2削減の観点では、2050年にCO2排出量50億トンに相当するB2DSシナリオの電化自動車台数を上回るように、**電化乗用車の導入普及をより加速することが重要**。



## [参考]

IEA ETP 2017 の2030年における電化乗用車の割合  
(総量基準)

RTSシナリオ：10%

B2DSシナリオ：20%

IEA ETP 2017 の2050年におけるCO2排出量

RTSシナリオ：500億トン (全体)、55億トン (乗用車)

B2DSシナリオ：50億トン (全体)、9億トン (乗用車)

※2030年までの推算値は、「電化乗用車」と「内燃機関乗用車」について4メーカーの販売台数目標から2015年、2020年、2025年、2030年における累積販売台数目標値を求め、「電化乗用車+内燃機関乗用車」についてRTSの総量との比を2015年、2020年、2025年、2030年で算出し、その比を上述の累積販売台数目標値に乘じることで算出。「電化自動車+内燃機関自動車」の総量はRTSシナリオと等しい。

※2040年、2050年の推算値は、トヨタ自動車(株)が公表している「車両電動化のマイルストーン」の電化乗用車・内燃機関乗用車販売台数目標の増減率をその他の3メーカーにも仮定して算出。「電化自動車+内燃機関自動車」の総量はRTSシナリオと等しい。



# 燃料電池モビリティに関する各国の取組

- 燃料電池モビリティの分野では、**大型商用車を含む多用途展開の動きが、近年世界で加速**。
- 欧州は商用車用を含む、共通燃料電池スタックを開発。米国は商用車向けのコンソーシアムを立上げ。
- 日本は具体的コスト目標とアクションプランに基づき、低コスト化に向けた研究開発と多用途展開を推進。

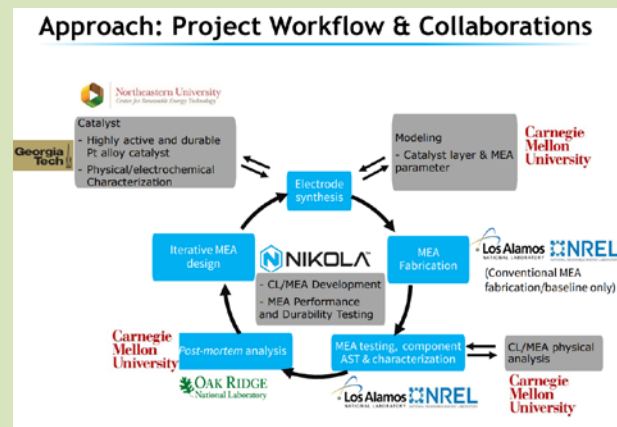
## 欧州 (Horizon Europe)



出典: FCH-JU HP

- 自動車・商用車での使用を想定した「共通スタック」の開発、製造に注力
- 出口意識は“モノ・規格”

## 米国 (DOE)



出典: DOE HP

- 長距離トラックを含む大型商用車用の燃料電池(及び水電解水素製造)の開発で新たなコンソーシアムを立上げ  
(2020年6月23日,5年以上100M\$)

## 中国 (工業信息化部、国务院他)



出典: SinoHykey, Synergy HP, NEDO北京事務所

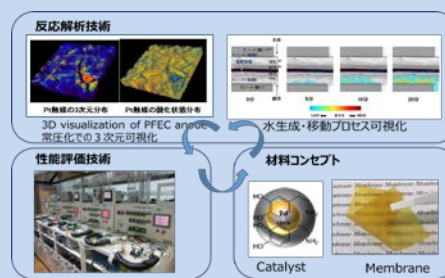
- ロードマップの2025年目標  
“水素燃料電池車産業で世界を牽引”
- 地方政府が水素都市を建設、産業誘致
- 基幹部品を国内製造する方針

## 日本



水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会実現に向けた数字のアクションプラン～(全体)

| 項目     | 2025年    | 2030年    | 2035年    |
|--------|----------|----------|----------|
| 水素供給能力 | 100万トン/年 | 200万トン/年 | 300万トン/年 |
| 水素需要   | 100万トン/年 | 200万トン/年 | 300万トン/年 |
| 水素コスト  | 100円/kg  | 50円/kg   | 30円/kg   |
| 水素利用効率 | 50%      | 60%      | 70%      |
| 水素貯蔵効率 | 50%      | 60%      | 70%      |
| 水素輸送効率 | 50%      | 60%      | 70%      |
| 水素利用効率 | 50%      | 60%      | 70%      |
| 水素貯蔵効率 | 50%      | 60%      | 70%      |
| 水素輸送効率 | 50%      | 60%      | 70%      |

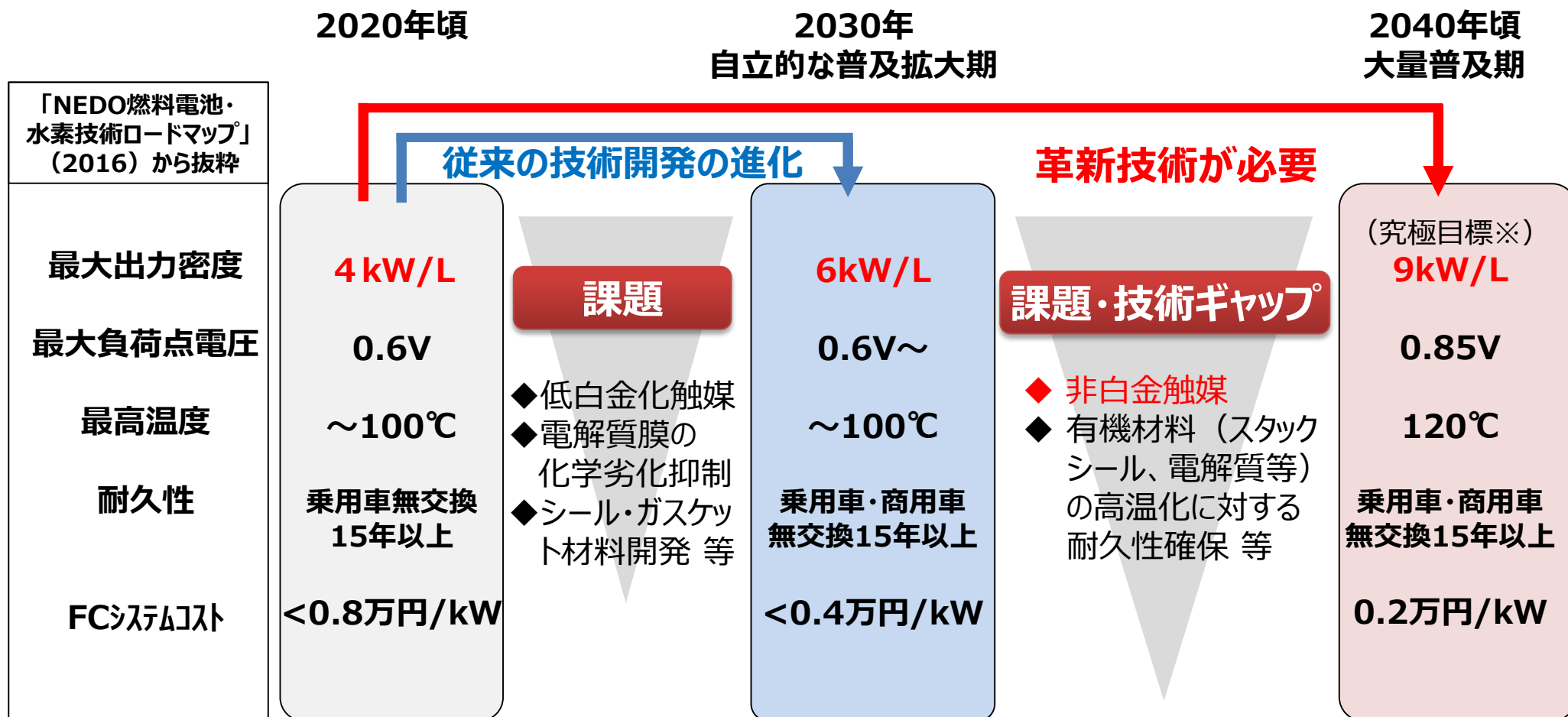


出典: 経済産業省, NEDO, トヨタ, JR東日本, 日野自動車 HP

- 2017年に水素基本戦略を策定。水素分野の国の戦略としては世界初。
- 2014,16,19年に戦略ロードマップを策定・改訂。具体的コスト目標とアクションプランに基づき、低コストに向けた研究開発と多用途展開を推進。

# モビリティ用燃料電池における日本の技術開発目標

- 2040年頃の大量普及期を見据えた究極目標※を設定。
- 究極目標達成に向けては、大きな技術的なギャップがあり、これを達成するためには**革新技术が必要**。



※現在のガソリンエンジン車と同等の出力を同じパッケージスペースで達成することを想定した目標値

- 日本の強みは、高度な計測解析・シミュレーション技術と、世界に先駆け量産型FCVを販売し社会実装で培った「技術課題」を把握していること。
- この「技術課題」のうち、「**協調領域**」の技術課題を広く産業界やアカデミアと共有。
- **燃料電池解析評価プラットフォームの構築**により、産官学一体で課題解決・革新技術創出に取り組む体制を構築することが必要。また、産官学連携の場が、同時に**人材育成の場**になることも重要。

## ＜産学官連携での課題共有＞

| 普及に必要な対策課題                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TOYOTA                                         | HONDA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>スタック</b><br>低コスト化<br>↑<br>高耐久化<br>↓<br>高性能化 | 生産性の向上<br>・電解質膜 : 合成プロセスの開発<br>・電極触媒 : 大量生産技術<br>・MEA : CO <sub>2</sub> Roll to roll, GDL一体成型<br>・セパレータ : 低コストセパレータの生産性向上<br>・ガスカート : 高透過型<br>触媒貴金属量 (Pt) の低減<br>電流密度アップによる構成材料の使用量低減<br>水素パワリティの向上 (電解質膜)<br>不純物耐性の向上 (電解質/触媒)<br>ラジカル生成を抑制するアノード触媒技術<br>金属セパレータの耐食性 (表面処理) と電気伝導性の両立<br>高温低加湿動作化 (電解質)<br>プロトン伝導性の向上 (電解質)<br>触媒活性・利用率の向上 (触媒担体・触媒)<br>触媒触媒送達性の向上 (電極フィッティング) |
| <b>タンク</b>                                     | CF/ライナー材の低コスト化<br>低コスト高速硬化樹脂の開発                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>周辺機器</b>                                    | エアコンプレッサ、W/Pの低コスト化<br>スタック高温動作化に伴う冷却システムの簡素化                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>基盤規格</b>                                    | 加速試験の標準化<br>国際標準化 (ISO)<br>評価プロトコル<br>計測/解析技術                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

材料・部品の高性能化・高耐久化がスタックの低コスト化に繋がる

NEDO FCV課題共有フォーラム

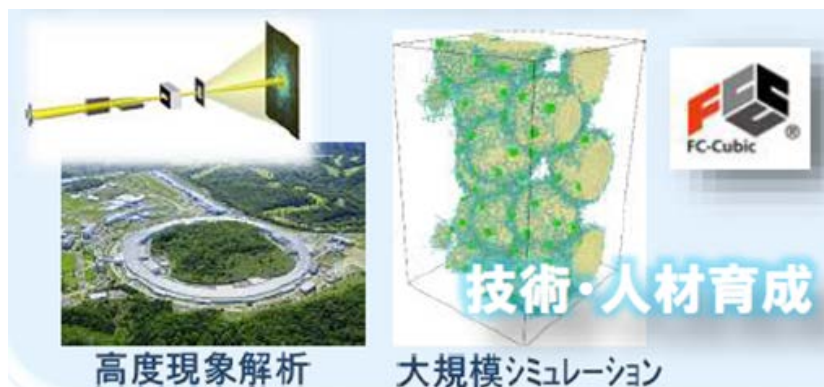
出典：FCV課題共有フォーラム(NEDO)

2019年1月 FCV課題共有フォーラム (NEDO)

2019年7月 水素・燃料電池PJ評価・課題共有ウィーク(METI)

- ・自動車会社や業界団体から、アカデミアや産業界に、**協調領域の技術課題を共有**。
- ・関連する学会（電気化学会、高分子学会、日本ゴム協会 等）でも協調領域の技術課題を共有し、**革新技術に向けたアプローチを議論**。

## ＜燃料電池高度評価解析プラットフォーム＞



- ・燃料電池の反応機構や物質移動性を論じるための高感度・高精度な「計測解析技術」と「シミュレーション解析技術」に関する研究を推進。
- ・産学連携の場で**人材育成に取り組むことも重要**。

出典：技術組合FC-Cubic

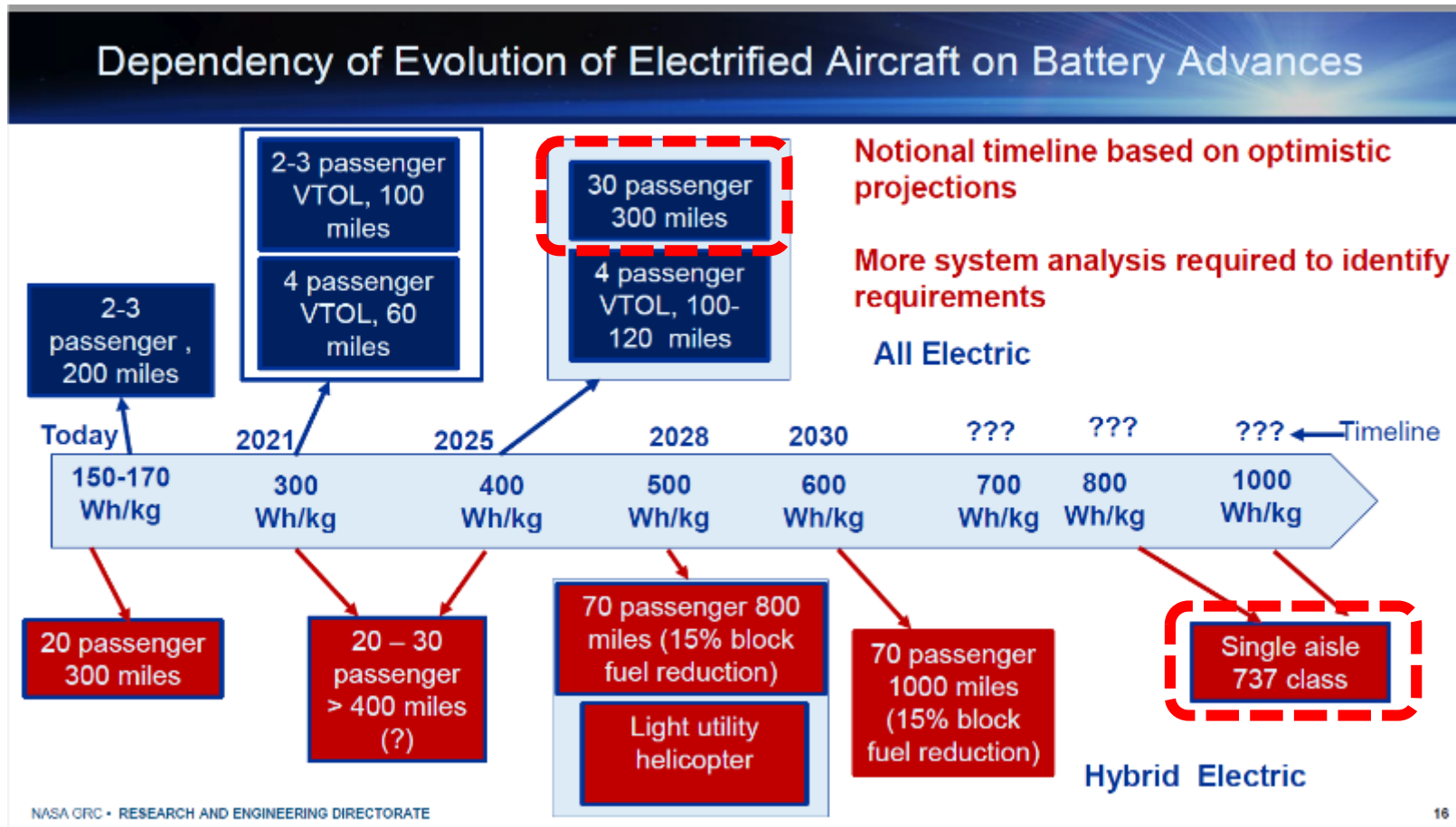


# 「バイオ燃料・合成燃料」分野の技術動向

- 国際民間航空機関（ICAO）が、バイオジェット燃料導入及びクレジット購入によるCO<sub>2</sub>排出削減を2021年から自主規制、2027年から義務化。バイオジェット燃料では米国等が商用化を先導。
- バイオ燃料は、バイオアルコールからの転換、ガス化・FT合成、微細藻類利用が主要技術開発課題。
- 合成燃料は、再エネ・植物由来の水素で、高いエネルギー効率で合成する技術開発が重要。
- 内燃機関の高効率化も研究課題として重要。SIP革新的燃焼技術（AICE）

| 生産プロセス                                 | 特長と課題                                                                                                                                                                                                                   | 国内外の開発状況                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ①Alcohol to Jet                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・原料アルコール価格がコストを支配。</li> <li>・炭素分布制御技術や触媒開発に技術課題あり。</li> <li>・国内実装では海外の安価なアルコール導入が有効。</li> </ul>                                                                                  | 研究開発実証段階<br> LanzaTech等が技術開発を先導<br> 国内石油会社・アカデミアが研究開発を検討                                                |
| ②ガス化・FT合成                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・CAPEXは高いが、LCAは優良。</li> <li>・低コスト化には原材料の無償、逆有償が必要。</li> <li>・原材料の前処理、ガス化クリーニング技術等が技術課題。</li> </ul>                                                                               | 研究開発実証段階<br> Fulcrum は都市ごみから合成油<br> 国内プラントメーカー・アカデミアが触媒や反応プロセスを研究開発                                     |
| ③微細藻類                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・前提として、経済性を良好にするために、高付加価値品や化成品の併産が重要な視点。</li> <li>・経済性向上のために、広大な土地での大量生産が重要</li> <li>・大量培養技術、低エネルギー損失CO<sub>2</sub>供給技術が重要課題。</li> </ul>                                         | 要素技術検証～FSシステム実証段階<br> 日本が強みを持つ技術<br> プラントメーカー等が大量培養技術を、新しい藻体の開発をアカデミアが推進<br>IHIがASTM D7566 Annex7取得 |
| 合成燃料(自動車用)                             |                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| DMC(ジメチルカーボネート)<br>OME(オキシメチレンエーテル) など | <ul style="list-style-type: none"> <li>・前提として、再生可能エネルギーから製造される水素、あるいは、植物からの製造される水素を使用しないと、CO<sub>2</sub>排出削減効果は小さい。</li> <li>・ガソリン代替のDMC、ディーゼル代替のOMEなどの化学物質を、高いエネルギー効率で合成する技術開発がキー技術。100%ドロップイン可能な物質合成が今後の課題</li> </ul> | 日本企業は、合成技術に強み。<br>現在のドイツは開発実証レベル。アウディ、フラウンホーファー国立研などが中心<br>日本は競争ポジションである。                                                                                                                                                                                                     |

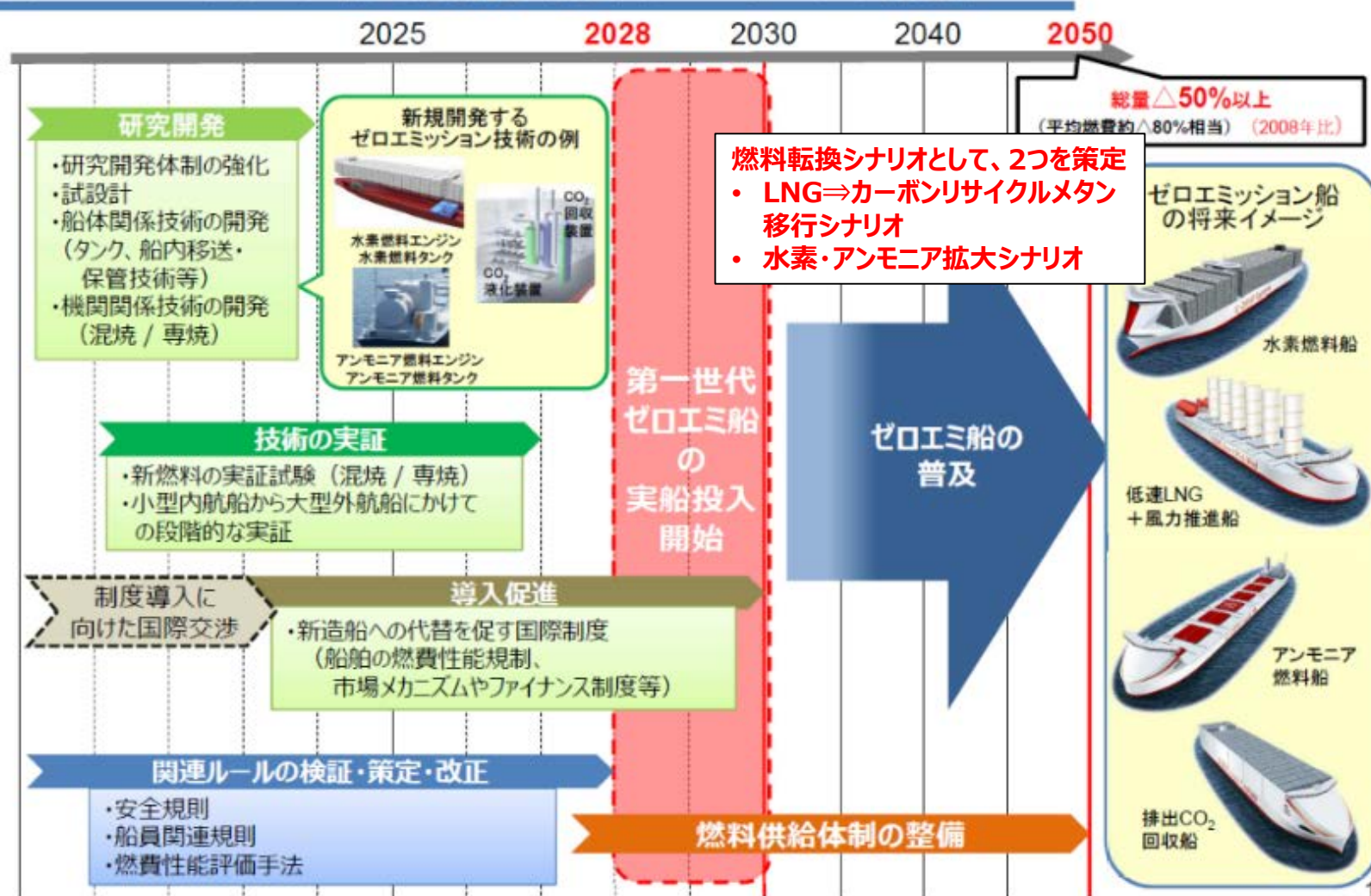
- 航空機の電動化はNASA等で検討され、完全電動航空機、ハイブリッド航空機の方方向性が提示されている。
- 完全電動航空機については、搭載エネルギー量の視点では、小型短距離機に限れば可能性がある。ジェット燃料(ケロシン) と将来の蓄電池のエネルギー重量密度は、総合効率を考慮すると、約8 : 1になる。エンジンおよび燃料と同じ重さのモーターおよび蓄電池の場合で、離陸および約1万mまでの上昇、および、巡航時のエネルギー消費を検討すると、数百km程度の短距離の航空機の可能性。ただし、航空機はエネルギー供給速度等の観点も重要であり、総合的な検討が重要。



# 国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ

- 船舶分野も、2050年のGHG総排出量50%以上削減に向けて、ゼロエミッションを目指した技術開発を検討。

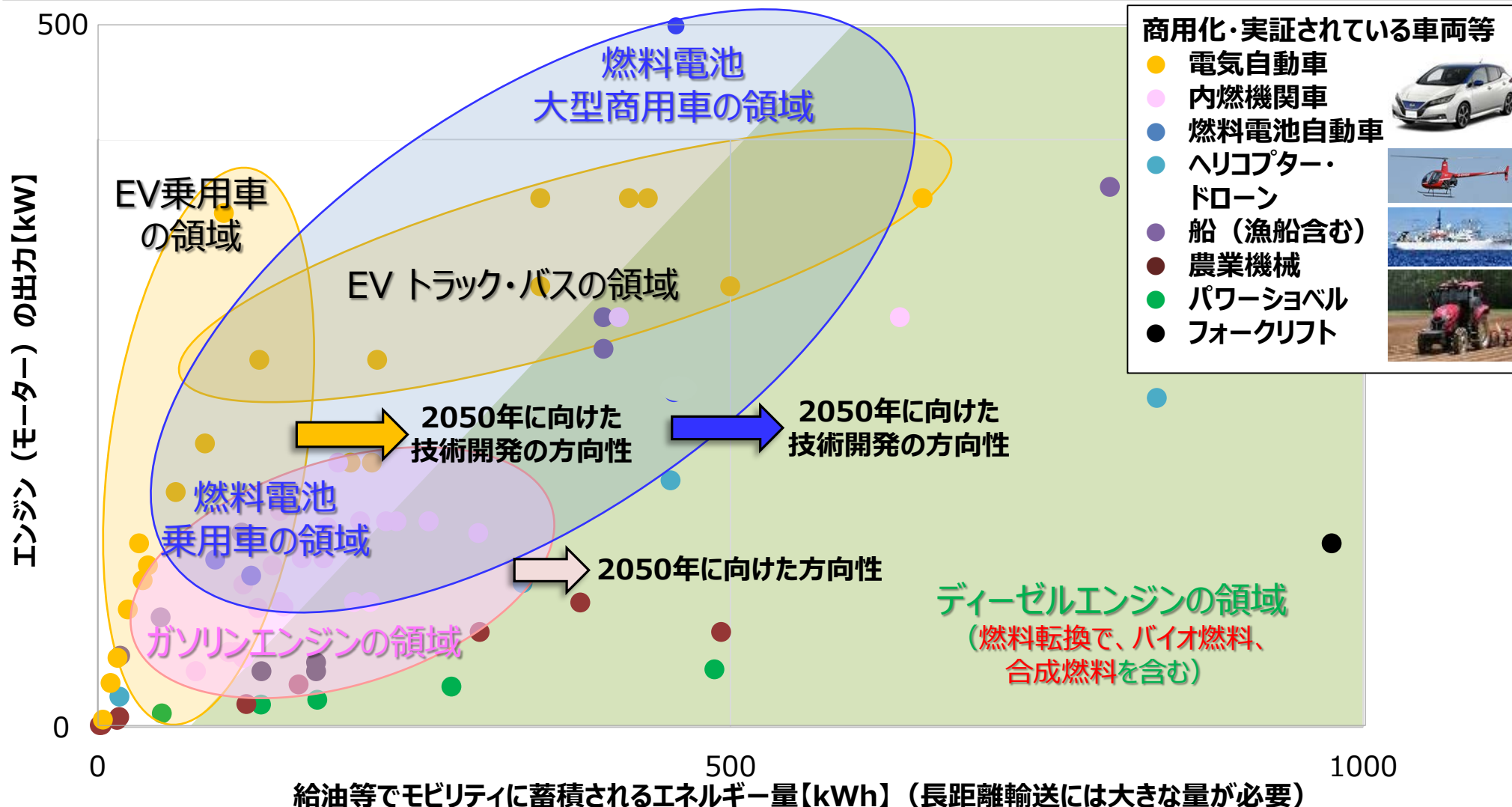
## 7. ゼロエミッション船の実現に向けたロードマップ概略





# 出力と蓄エネ量から見たモビリティの各技術開発の位置づけ

- モビリティの技術開発は**エネルギー密度増加による適用範囲の拡大が共通の方向性**であり、技術革新が求められている。モビリティの用途や距離によって、**求められる出力と航続距離が異なるため、地域特性も踏まえた駆動エネルギー源の適材適所**が進んでいく。
- 航続距離拡大のため**車体軽量化のニーズが大きく**、革新技术を含め材料の観点でも研究開発が重要である。



※エネルギー量は以下の仮定で試算 ・電気自動車：蓄電池容量 ・内燃機関：ガソリンエンジン効率30%、ディーゼルエンジン効率40% ・燃料電池効率51%  
出典：各社HP、各種資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2020）

- 各国政府は、規制や優遇措置により環境政策と産業政策を絡めて自国の状況に応じた様々な政策を展開しているが、**モビリティの低・脱炭素化を推進する方向性は共通**している。また、航空機や船舶に関しては、国際機関が2050年に向けた規制・義務化を主導している。
- 2050年における駆動エネルギー源は、**従来燃料からバイオ燃料や合成燃料への転換に加え、電気、水素等の利用による低炭素化**が進んでいく。
- モビリティの技術開発は**エネルギー密度増加による適用範囲の拡大が共通の方向性**であり、技術革新が求められている。モビリティの用途や距離によって、**求められる出力と航続距離が異なるため、地域特性も踏まえた駆動エネルギー源の適材適所**が進んでいく。
- 2050年に向けて、モビリティの長期的なエネルギー転換・脱炭素化を実現するためには、蓄電池、燃料電池、バイオ燃料、合成燃料等の**各種技術開発を革新技术を含めて着実に推進**していくことが重要である。

## <革新的技術の開発例>

### 【蓄電池】

- フッ化物電池(P.6)
- 亜鉛負極電池(P.6)

### 【燃料電池】

- コンパクト・高効率・高信頼性・低コストな燃料電池の技術開発  
例：非白金触媒の開発、革新的高電位高活性触媒開発、新プロトン輸送機構材料開発 等(P.9)

# 水素分野

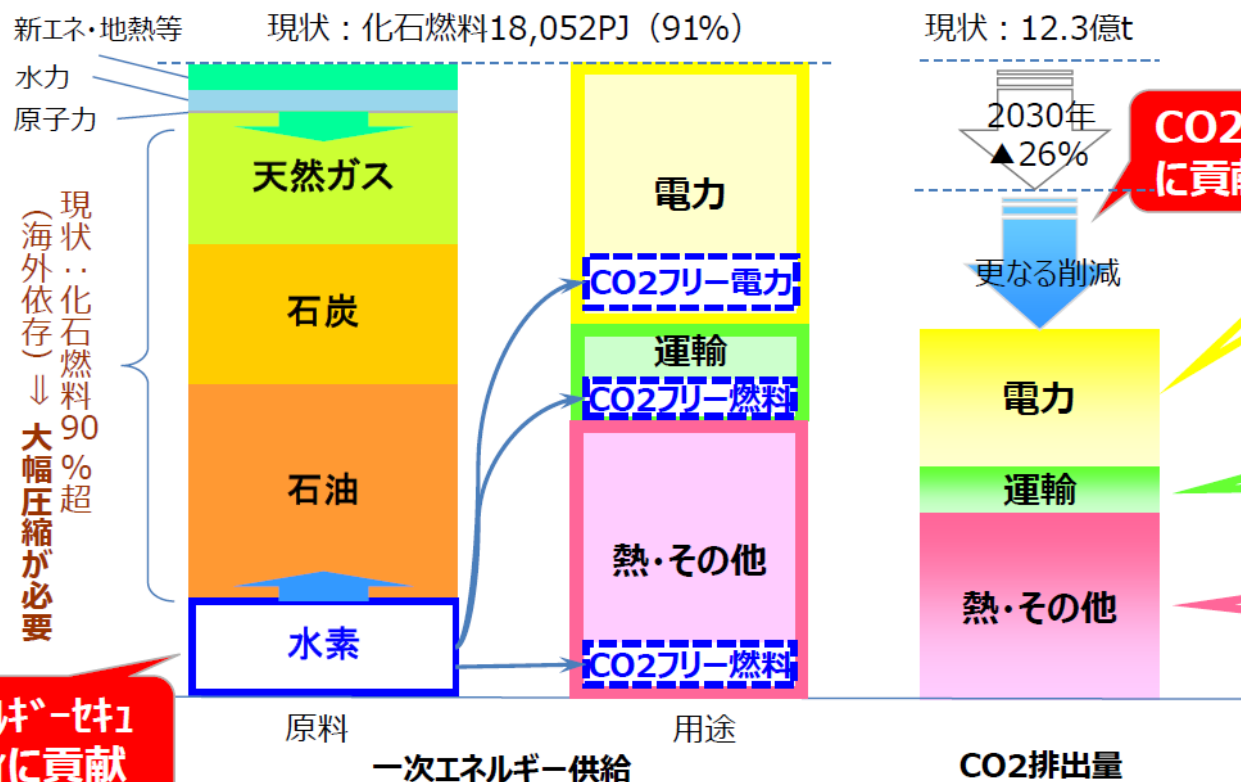
## 革新的環境イノベーション戦略におけるテーマ

- ⑦製造：CO<sub>2</sub>フリー水素製造コスト1/10の実現
- ⑧輸送・貯蔵：圧縮水素、液化水素、有機ハイドライド、アンモニア、水素吸蔵合金等の輸送・貯蔵技術の開発
- ⑨利用・発電：低コスト水素ステーションの確立や、低NO<sub>x</sub>水素発電の技術開発
- ⑬自動車、航空機等の電動化の拡大（高性能蓄電池等）と環境性能の大幅向上
- ⑭燃料電池システム、水素貯蔵システム等水素を燃料とするモビリティの確立
- ⑯水素還元製鉄技術等による「ゼロカーボン・スチール」の実現
- ⑳低コストな定置用燃料電池の開発

# 「水素」分野の必要性

- 水素は、日本のエネルギー供給構造を多様化させ、エネルギーの脱炭素化を実現する手段のひとつ
  - 海外化石燃料依存から、エネルギー源の多様化・エネルギーセキュリティの向上
  - エネルギー利用（電力、運輸、産業等）の脱炭素化

## 水素による一次エネルギー供給構造変革とCO2排出削減



## 水素利用の方向性

- 水素発電による火力電源の低炭素化
- 再エネ大量導入に必要な変動吸収・電力貯蔵
- 運輸部門のCO2排出量の大半(85%)を占める乗用車・貨物車の低炭素化
- 産業分野等での熱利用・プロセスの低炭素化（鉄鋼、石油精製等）

出典：水素・燃料電池戦略協議会 第10回事務局資料（METI、2017）



# 「水素」分野の各国政策

- 日本が世界初の水素国家戦略として「水素基本戦略」を策定
- フランス・韓国につぎ、今年に入ってドイツ、EU等でも前倒しで戦略が発表
- 更に中国でも水素に関する産業計画を公布予定（一部計画は発表済み）



今年7月に水素戦略を発表（日本の政策をフォロー）  
再エネ由来水素の推進を明確化。

「欧州クリーン水素アライアンス」立ち上げ

- ・ 水電解設備 2030年までに40GW
- ・ 暫定的に、天然ガス+CCSで製造のブルー水素も許容

欧州委員会、7,500億EUR（89兆円）の経済リカバリーパッケージを発表（2020年5月）。  
水素含むHorizon Europeに944億EUR（11兆円）を拠出。（2020年6月）



2017年に世界初の水素国家戦略として  
「水素基本戦略」を策定



今年6月に水素国家戦略が承認  
全体で90億ユーロを投資し、水素技術の  
実用化・産業化を目指す。

- ・ 水電解設備 2030年までに5GW  
2040年までに10GW
- ・ 2040年頃までブルー水素も活用



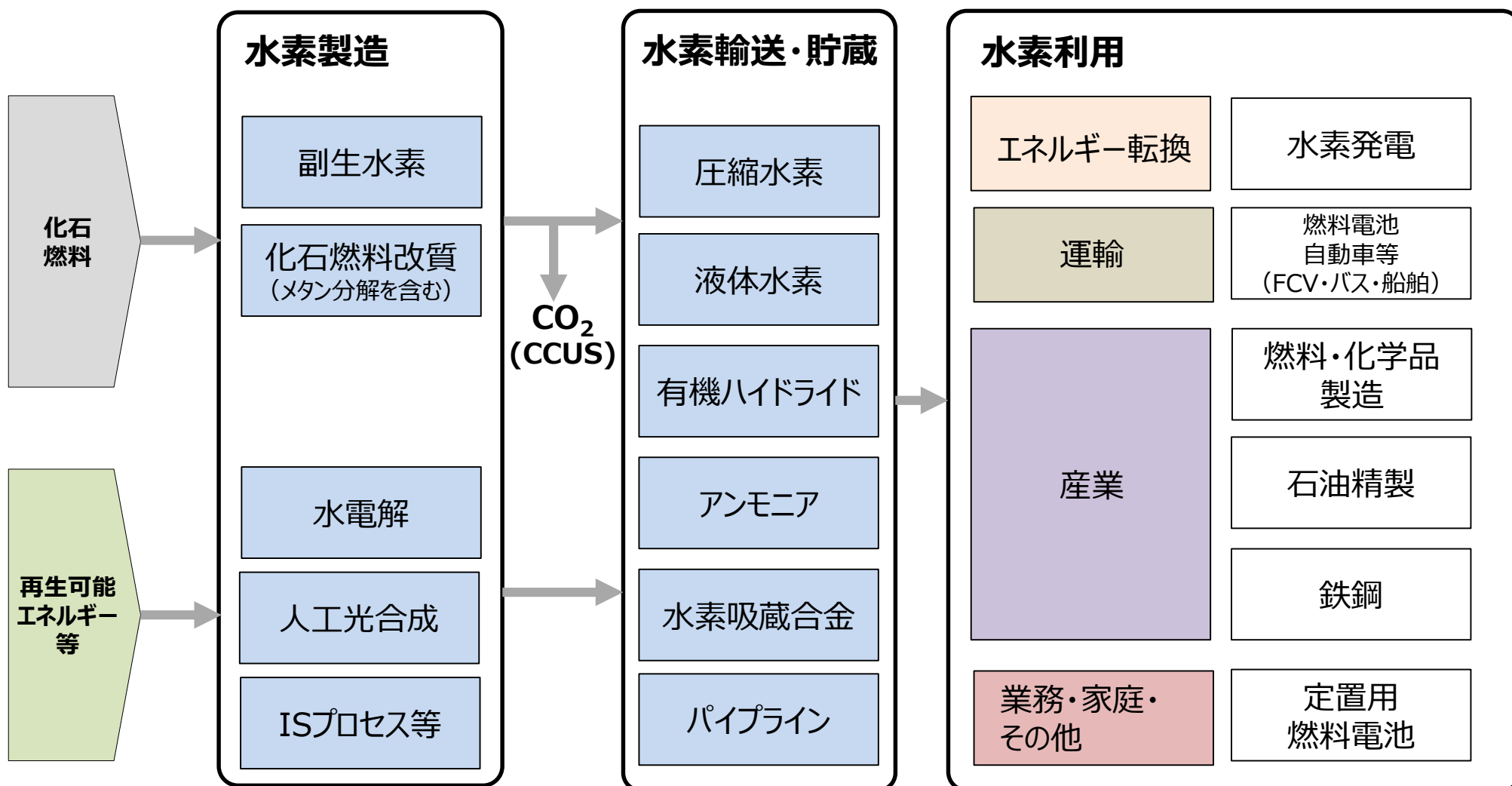
2016年、国務院「第13次五カ年計画戦  
略的新興産業発展計画」で、水素戦略の  
一部を発表  
水素エネルギー貯蔵産業計画が2020年  
中に公布予定



2019年に水素戦略を発表

# 「水素」分野の全体俯瞰

- 水素は、日本の**エネルギー供給構造を多様化**させ、エネルギーの**脱炭素化**を実現する手段のひとつ
  - 海外化石燃料依存から、エネルギー源の多様化・エネルギーセキュリティの向上
  - エネルギー利用（電力、運輸、産業等）の脱炭素化



- 再エネ電力を用いた水電解等によるCO<sub>2</sub>排出量が少ない水素製造技術の開発・実証が国内外で推進
- 水電解水素に関しては、水電解システムのコストと設備利用率に加え、再エネ電力のコストにも影響を受けるため、使用技術と地域特性により、水素コストに大きな差が生じる。例えば、安い再エネ電力のもと、中東では16～41円/Nm<sup>3</sup>H<sub>2</sub>、欧州では30～39円/Nm<sup>3</sup>H<sub>2</sub>という水素製造コスト試算<sup>1)</sup>もなされる。

1) 出典：The Future of Hydrogen (IEA 2019) より1USD=110円で換算

| 水素製造技術 | アルカリ形水電解                                                        | 固体高分子形水電解 (PEM)                                                     |
|--------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 開発段階   | 大規模開発～実証 (TRL9) <sup>2)</sup>                                   | 大規模開発～実証 (TRL8) <sup>2)</sup>                                       |
| 製造効率   | 65% (LHV) <sup>3)</sup>                                         | 57% (LHV) <sup>3)</sup>                                             |
| 実績・動向  | Nel (ノルウェー), Hydrogenics (カナダ), 旭化成等<br>旭化成は国内のほか欧州の実証プロジェクトに参画 | Siemens (ドイツ), Nel (ノルウェー), Hydrogenics (カナダ), ITM Power (英), 日立造船等 |

2) Technology Readiness Level、出典：Hydrogen Supply Chains (2018)

3) 出典：IRENA Hydrogen from renewable power 2018

## 革新的技術開発 (例)

| 水素製造技術 | 固体酸化物形水電解 (SOEC)                                   | アニオン交換膜水電解 (AEM)                               |
|--------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 開発段階   | 研究開発～実証 (TRL5) <sup>2)</sup>                       | 研究開発                                           |
| 製造効率   | ラボレベルでは最も高い<br>(実証では不明)                            | PEMと同等目標 (現状は低い)                               |
| 実績・動向  | Sunfire (ドイツ) が欧州の実証<br>等で採用実績あり<br>国内では東芝が研究開発を実施 | Enapter (ドイツ) が小規模な<br>製品の開発を実施<br>大規模は開発の初期段階 |

- ・ 水電解・燃料電池の両方に利用可能なリバーシブルシステムの開発
- ・ その他、水素化合物から水素を分離する革新的な水素製造技術、人工光合成、水素高純度化透過膜 等



再エネを利用した世界最大級の水素製造施設「FH2R」完成 (出典：NEDO HP) (2020年3月)

※1スタックサイズで10MW  
＝世界最大規模

# 水素の輸送・貯蔵に係る取組み

- CO<sub>2</sub>フリー水素の輸入では、水素長距離輸送技術が極めて重要。
- 日本は、長距離海上輸送に係る技術開発・実証を世界に先駆けて実施。
- 資源国の水素輸出に対する関心が高まっている。

| 水素キャリア   | 特徴と課題                                                                                                    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 液化水素     | 圧縮水素の1/800の体積。高純度水素の供給に適する。<br>液化効率の向上とボイルオフガスの低減が課題                                                     |
| 有機ハイドライド | 常温・常圧の液体化学品として、ケミカルタンカー等による輸送が可能<br>脱水素時の熱の確保が必要                                                         |
| アンモニア    | 他のキャリアと比較して体積水素密度が高い<br>臭気、急性毒性があり取扱いに留意                                                                 |
| パイプライン   | 工業用ですでに実用化（国内輸送が主）                                                                                       |
| 水素吸蔵合金   | 重量当りの吸蔵量が小さく、輸送用には課題。Power to Gas実証等で定置用水素貯蔵としての採用事例が増えつつある。材料によっては安全性が高くなる（着火性なし等）。水素放出に熱源確保が必要。（貯蔵が中心） |

## 革新的技術開発（例）

革新的水素液化技術等の開発  
（高効率・大規模）

新規有機ハイドライド等の合成技術開発  
（エネルギー消費低減）

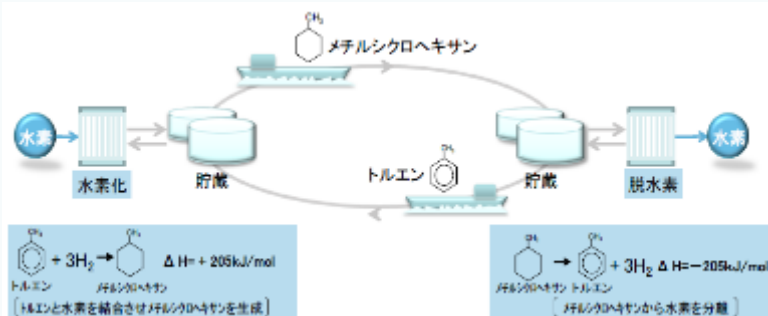
再エネからの小規模アンモニア製造技術

軽量・高容量水素貯蔵材料の開発



## 長距離海上輸送技術の開発・実証 （NEDO「水素社会構築技術開発事業」）

### ✓ 有機ハイドライド（ブルネー－日本）



### ✓ 液化水素（豪州－日本）



## 資源国の水素輸出への関心

サウジアラビア：

- ・ 原油からの水素製造（EOR+CCS）
- ・ 再エネ利用＋水電解

ノルウェー：水素戦略において、水電解や天然ガス改質等で製造した水素をパイプラインや船舶で輸出する可能性に言及

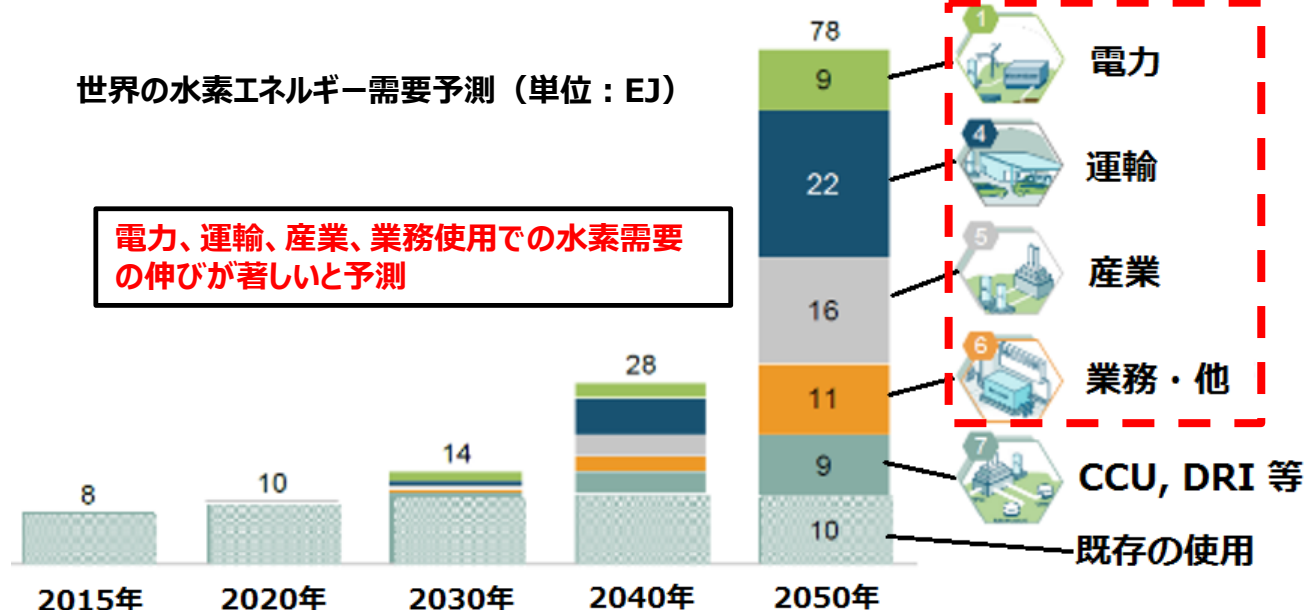
ほか豪州、ニュージーランド等

出典：各種資料をもとにNEDO技術戦略研究センター作成（2020）

# 水素利用技術の開発状況

- 水素需要は2050年までに拡大が見込まれる（「Hydrogen scaling up」Hydrogen Council, 2017）
- 水素利用技術の開発は、運輸部門だけでなく電力や産業利用にも拡大
- 水素発電技術は、日本の技術が海外プロジェクトへ展開
- 製鉄プロセスでの水素利用等の産業利用を見据えたプロジェクトも国内外で開始

世界の水素エネルギー需要予測（単位：EJ）



出典：Hydrogen scaling up（Hydrogen Council, 2017）

| 水素利用技術 |          | 国内外の動向                                                                                                                                                                          |
|--------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 電力     | 水素発電     | <ul style="list-style-type: none"> <li>● NEDOプロジェクトで水素ガスタービンに係る技術開発、実証を実施中</li> <li>● MHPSは、オランダでFSを実施、米国から水素ガスタービンを受注。いずれも将来的に水素100%での運転を目指す。Siemens, 川崎重工業等も開発</li> </ul>     |
|        | 燃料電池自動車等 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● NEDOプロジェクトで産業界の課題に基づく研究開発や多用途展開を推進。</li> <li>● AutoStack:「共通スタック」の開発・製造。標準化を目指す。</li> <li>● DOE:大型商用車用の高耐久MEAや、低・非白金触媒等を開発。</li> </ul> |
| 産業     | 石油・化学    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 「REFHYNE」プロジェクト：水電解で製造した水素を製油所で活用するPower to Gas実証（2018-2022）</li> </ul>                                                                |
|        | 鉄鋼       | <ul style="list-style-type: none"> <li>● NEDO「環境調和型プロセス技術の開発事業」において技術開発を実施</li> <li>● 「H2Future」プロジェクト：水電解で製造した水素を製鉄プロセスに適用するPower to Gas実証を実施中（2017-2021）</li> </ul>           |
| 業務・他   | 定置用燃料電池  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● NEDOプロジェクトでSOFCの耐久性迅速評価法を確立</li> <li>● リバーシブル型SOFC-SOECの研究開発を実施</li> <li>● 従来SOFCの研究開発に加え、プロトン伝導型SOFCの開発にも注力</li> </ul>                |



出典：Vattenfall HP

オランダのヌオン・マグナム発電所で、水素専焼転換へのFSを実施

課題：燃焼振動対策・低NOx・高効率化

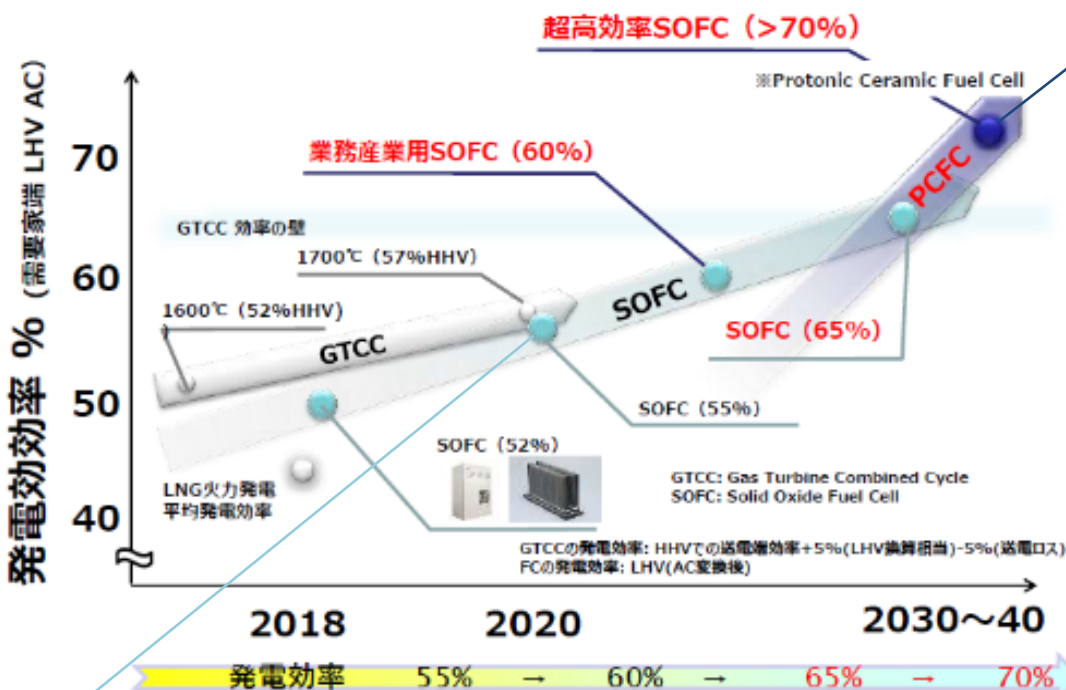
出典：各種資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2020）



# 定置用燃料電池に対する取組み

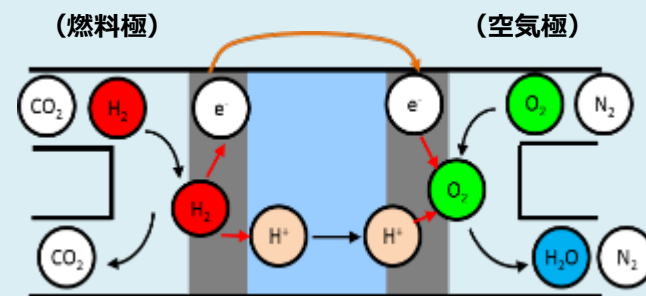
- 定置用燃料電池については、2025年頃のグリッドパリティ実現、2040年頃の発電効率70%以上がターゲットとされ、革新技術の開発が行われている。

## ■ SOFCの開発ターゲットと達成時期



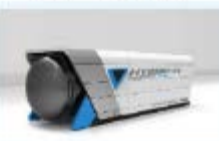
## ■ 革新技術の例 (SOFC)

### プロトン伝導型燃料電池の技術開発



- 発電効率75%の達成が可能 (基礎研究段階)
- プロトン (H<sup>+</sup>) が伝導することにより、天然ガスだけでなく、将来的には水素を燃料とした分散型電源への適用に期待

## ■ 国内・海外メーカの状況

|                | 三菱日立<br>パワーシステムズ                                                                    | 三浦工業                                                                                | 京セラ                                                                                 | 富士電機                                                                                | 日立造船                                                                                 |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 外観             |  |  |  |  |  |
| 出力<br>(AC)     | 250kW/1350kW<br>SOFC: 227kW/1140kW                                                  | 4.2kW                                                                               | 3kW                                                                                 | 50kW級                                                                               | 20kW級                                                                                |
| 発電効率<br>[LHV%] | 55%                                                                                 | 48%                                                                                 | 52%                                                                                 | 55%                                                                                 | 52%超                                                                                 |

出典：水素・燃料電池戦略協議会(METI)

- 海外有力企業は(米)Bloom Energy  
発電効率(LHV)：53% (初期60%超)  
システムコスト：3,554 \$/kW (2020年)
- 日本企業も2018年以降市場参入(SOFC)
- 純水素燃料電池 (PEFC) を、東芝エネルギーシステムズ、パナソニック、トヨタらが市場投入

- 水素はモビリティ分野だけでなく、電力、産業分野など、あらゆる分野の低炭素化に貢献可能。
- 日本は世界に先立って「水素基本戦略」を打ち出した。
- CO<sub>2</sub>フリー水素の製造コストは、使用技術と地域特性によって大きな差が生じる。
- 日本は、水素輸入時に必要となる長距離輸送等の要素技術開発に注力し、国際水素サプライチェーンを構築することを目指している。
- 水素発電など、日本の技術が海外PJに展開している例もあり。
- 水素の様々な分野での利活用を通じた、長期的なエネルギー転換・脱炭素化の実現のためには、革新的技術の開発の着実な推進を通じたコストの削減が確実に達成されることが重要となる。
- 革新的技術の開発の他にも人材育成や市場に根付かせるための政策的支援も重要となる。

## <革新的技術の開発例>

### 【製造】

- 高効率な水電解・人工光合成、水素高純度化透過膜など（P.20）
- 高温地熱や海洋エネルギー、高温ガス炉など

### 【輸送・貯蔵】

- 高効率水素液化機・長寿命液化保持材料（P.21）
- 低コストかつ高効率なエネルギーキャリア（P.21）

### 【利用】

- プロトン伝導型燃料電池など（P.24）