

「革新的GX技術創出事業（GteX）」

研究開発方針

<領域：水素>

令和5年4月

文部科学省

研究開発局

I. 背景・目的

(1) 水素社会を実現する重要性

水素は、利用時に温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーであり、また、多様な資源から製造できるため、国内での製造や、海外からの資源の調達先の多様化を通じ、我が国のエネルギー供給・調達リスクの低減に資するエネルギーとして、2050年カーボンニュートラル実現に向けた鍵となる技術である。

また、その利活用を通じ、発電（燃料電池、タービン）、輸送（自動車、船舶、航空機、鉄道等）、産業（製鉄、化学、石油精製等）等の様々な分野のカーボンニュートラル化に大きな貢献が期待されている。水素を最大限利活用する水素社会の実現は、気候変動などへの対応に加え、エネルギー安全保障の確保、新たな市場の創出・産業競争力強化の観点からも重要である。

我が国は、2017年に世界で初めて水素の基本戦略を策定¹した。その後、多くの国・地域が水素をカーボンニュートラル化に必要な不可欠なエネルギー源と位置づけ、水素関連の取組を強化している。加えて、「GX 実現に向けた基本方針」等においても、カーボンニュートラルと将来の経済成長の実現へ貢献する重点分野の一つとして位置づけられており、水素社会の実現に向けて今後、より一層取組を強化することが求められている。

(2) 水素社会を実現する上での課題

水素社会の実現に向けては、需要と供給の拡大に一体的に取り組んでいく必要があり、発電やモビリティ等、水素を利活用する需要側を促進する技術開発等とともに、安定的かつ低コスト供給を実現する技術開発やサプライチェーンの構築を進めることが重要である。

我が国は、2050年のカーボンニュートラル達成に向けて、2000万トン/年の水素供給を目指している²。このためには、再エネ電力による大規模水電解プラント、大量の水素を安全かつ高効率に輸送・貯蔵する技術等の技術開発に取り組んでいく必要がある。また、再生可能エネルギー等で製造したグリーン水素を利活用し、サプライチェーン全体でCO₂フリーとなるエコシステム形成に向けた技術開発の観点も重要である。

水素の社会実装を進めるためには、水素を「つくる（水素製造）」「ためる・はこぶ（貯蔵・運搬）」「つかう（燃料電池等）」取組を並行して推進することが必要である。水素分野の技術目標やそれを達成するための課題については、これまで産業界を中心にアカデミアも交えて議論³が行われてきており、主に以下のよ

1 「水素基本戦略」（平成29年12月26日）

2 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（令和3年6月18日）

3 「NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ」（令和5年2月9日） 等

うな目標や道筋が挙げられている⁴。

<水素供給> 【】内は主な供給方法

【既存供給】

主要な水素供給源として最大限活用(2025年頃)、供給源のクリーン化(CCUS活用等)(2030年頃～2050年)

【輸入水素】

実証を通じた知見蓄積、コスト削減(2025年頃)、商用ベースの国際水素サプライチェーンの構築(2030年頃)、調達源多様化等を通じた規模拡大(2050年)

【電解水素等新たな国内供給】

実証を通じた知見蓄積、コスト低減(2025年頃)、余剰再エネ等を活用した水電解の立ち上がり(2030年頃)、新たな製造技術の台頭等(2050年)

<水素需要> 【】内は主な利用方法

【輸送部門】

FCトラックの普及拡大(2025年頃)、船舶等の市場投入(2030年頃)、25トンクラストラックのFC化(2030年頃)、航空機等への水素等の利用(2050年)、44トンクラス大型トラックのFC化(2050年)

【発電部門】

定置用燃料電池、小型タービンを中心に地域的に展開(2025年頃)、大規模水素発電タービンの商用化(2030年頃)、電力のカーボンニュートラル化を支える調整力等として機能(2050年)

【産業・業務部門】

原油の脱硫工程で利用する水素のクリーン化、製鉄、化学分野の製造プロセス実証等の実施(2025～2030年頃)、水素還元製鉄、グリーンケミカル等(2050年)、インフラ整備や水素コスト低減を通じた供給拡大(2050年)

(3) 産業界との協働、アカデミアの役割

現在、経済産業省により主に産業界を中心とした水素関連の技術開発が活発に行われている⁵。今後、2050年のカーボンニュートラルを達成するには、既存技術の展開・普及による寄与の他に、新規技術の実現・普及が必要とされており、

⁴ 「カーボンニュートラル時代における水素政策の今後の方向性」(令和3年11月)(経産省作成)等

⁵ NEDO「グリーンイノベーション基金事業」、「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業」等

海外市場を含む社会環境の変化を鑑みると、既存の延長線上の技術だけでは間に合わず、革新的な技術開発によりその差を埋めることが求められている。

水素供給については、供給源のクリーン化、輸入水素に関するインフラ・サプライチェーンの構築に係る取組が、経済産業省・NEDO 等により既に実施されている。また、水電解についてもグリーンイノベーション基金等においてアルカリ形水電解、固体高分子形水電解の実証が開始されている。一方で、既存の効率を大幅に超える製造、多様な水資源を利用した製造、希少元素等を使用しない製造等の技術については、社会実装には至っていない。

水素需要については、定置用燃料電池、燃焼による熱利用、水素混焼・専焼発電等の発電部門、水素還元製鉄、グリーンケミカル等の産業・業務分野に係る取組が経済産業省・NEDO により実施されている。また、輸送部門についても燃料電池を駆動電源とする乗用車は商用化されている。一方で、大型トラック、建機、船舶、鉄道などの HDV (Heavy-Duty Vehicle) への適用等に必要となる燃料電池スタックの開発については、触媒活性の飛躍的な向上や耐久性、低コスト化等の技術的な課題が多い。

加えて、製造された水素を貯蔵して移動体に搭載するためには、水素製造・水素需要の双方の要請を満足する水素貯蔵システムの開発も必要である。特に、FC化された HDV に搭載するには、既存のディーゼル車の燃料タンクと同等の体積・質量で同等以上の航続距離や稼働時間を可能にする技術の開発が求められている。

水素社会の実現に向けては、こうした技術課題等に対して、アカデミアが得意とする科学的な深掘り、新たな科学的知見の結合による技術シーズの創出等、大学や国研等の更なる貢献が期待されている。したがって、企業の開発・実装とアカデミアの科学的な技術シーズをすり合わせる等の産業界とアカデミアのより一層緊密な連携・協働が必要である。加えて、持続的に将来の産業を支える人材を供給する観点からもアカデミアと産業界が連携した人材育成が重要である。

II. 研究開発目標・研究開発テーマ

(1) 本事業で推進すべき方向性

2050 年カーボンニュートラルまでの道筋に貢献し、将来産業の創出が期待される技術開発のうち、我が国のアカデミアによる大きな貢献が期待できる、「水素製造技術」、「水素貯蔵技術(輸送に資する貯蔵技術を含む)」、「燃料電池技術」等の領域において研究開発テーマを設定する。

燃料電池の研究開発を例にすると、産業界が求めるセルの要求値等があり、加えて、実用化に向けてはスケール可能性やセルをスタックした際の挙動等の様々な要求性能が求められる。本領域では、こうした企業等が実用化する際に必

要となる要求性能も念頭に置きつつ、材料開発やエンジニアリング、評価・解析等を統合的に実施し、「チーム」として取り組むことにより、技術的成熟度の向上が可能な研究開発テーマを設定する。なお JST は、本方針に掲げる方向性をブレイクダウンした上で研究開発テーマを設定し公募することとし、採択審査にあたっては、申請のあった各々の研究課題が GHG 削減・経済波及効果に対する量的貢献等を評価した上で採択を決定する。

また、本領域として、以下のアウトカム、アウトプット目標等を設定し、事業の効果測定を随時行い、事業運営に反映させる。

<アウトカム目標>

- ・水素技術の TRL の増加（例 極低貴金属触媒、非貴金属触媒）
- ・研究開発成果の企業等への橋渡し
- ・博士課程学生を含む若手研究者の育成、水素分野への高度人材の輩出
- ・材料からセル開発と評価・解析までの総合的な研究開発体制・環境の構築
- ・優れた研究成果の創出（論文、特許等） 等

<アウトプット目標>

- ・アカデミアにおける研究データの蓄積（触媒、電解質等）
- ・技術研究組合や企業等の参画
- ・中核的な機関等における研究機器群の構築（評価装置、製作装置等） 等

(2) 本事業の研究開発テーマの方向性

(1)の方向性に基づき想定される標準研究開発期間（短期・中長期）ごとに研究開発テーマの方向性を整理する。

A. 企業の技術開発の中で隘路となっている基礎課題の解決（3年程度）

現在、FCV や水電解は実用化されている技術も多く、企業主体で取り組んでいる領域も多い。しかし、そうした実用化に至っている技術においても、例えば、燃料電池や水電解槽の高耐久化やコストの低減等を進めていく上で隘路となっている業界共通の課題もあり、科学的な深掘りに強みを持つアカデミアの貢献は非常に有効である。したがって、3年程度の研究開発期間を設定し、企業の実用化開発を後押しする科学的課題の解決を目指す。短期研究開発テーマについては、事業期間内に、一部の材料開発や要素開発のみを先んじて企業との共同研究等に移行することを推奨する。なお、研究開発開始後においても、出口側の技術開発や産業の動向等を逐次把握し、技術実証のフェーズにおいてもアカデミアの知見が必要な場合、技術課題を抽出し、本領域の研究課題とし

て実施を検討する。具体的な研究開発テーマ例は以下の通り。

<想定される研究開発テーマ例>

- ・ アルカリ形水電解、固体高分子形水電解による製造コストの削減
 - － 極低貴金属触媒の開発、劣化機構の解明、電極、集電体、セル・スタックの性能向上等のうち企業の技術開発・実装上のボトルネックとなっている基礎課題の解明・解決
- ・ 既存の燃料電池車の高耐久化や低コスト化等に係る技術開発
 - － セパレータの低抵抗・高耐久化、MEAの迅速活性化技術等のうち企業の技術開発・実装上のボトルネックとなっている基礎課題の解明・解決

B. 近い将来企業が実用化することが期せる新技術開発（5年～7年程度）

2030年や2040年頃に実用化を目指す中長期的な課題は、未だ不確定な要素も多い。例えば、HDVのFC化の実現には超高活性・高耐久な触媒の開発が必要とされており、一企業のみでの技術開発で実現することはハードルが高いとされている。こうした不確定要素の大きい技術を含む研究開発について、まずはアカデミアによりいくつかの技術を示し、その確度を高めることで、企業の当該技術開発への参入促進が期待できる。ここでは、5～7年程度の研究開発期間を設定し、研究開発期間後において、企業が主体となった研究開発等へ移行することを想定する。具体的な研究開発テーマ例は以下の通り。

<想定される研究開発テーマ例>

- ・ 中性水溶液を用いた水電解システムの確立
- ・ 新規材料を用いた高圧水素貯蔵システムの開発
- ・ HDVのFC化の実現を目指した燃料電池技術開発
 - － 極低貴金属触媒の開発、電解質膜の高耐久化、薄膜化、既存の貴金属触媒では到達不可能な高性能触媒、既存のプロトン伝導率・耐久性をはるかに超える薄膜電解質 等

C. 現時点で企業の実用化検討に至っていないが、将来的な構造転換を引き起こす可能性のある革新的技術開発（7年～10年）

2050年カーボンニュートラル達成には、新原理等による技術革新が求められている。例えば、HDVに搭載する水素貯蔵容器については、液化アンモニアと同等程度の水素貯蔵密度を達成するとともに常温、常圧に近い条件で速やかに水素を吸放出できる必要がある他、氷点下環境（-30℃以下）でも速やかな

起動が求められており、新原理や新規構造の開発が期待されている。ここでは、7～10年程度の研究開発期間を設定し、将来的に、企業との共同研究等を開始することを想定。具体的な研究開発テーマ例は以下の通り。

＜想定される研究開発テーマ例＞

- ・ アニオン交換膜形水電解等の次世代水電解技術開発
 - － 劣化機構の解明に基づいた高耐久化、非貴金属電極、セル・スタックの性能向上、気体・液体の流体解析 等
- ・ 水素吸蔵合金の性能をはるかに上回る次世代水素貯蔵材料を用いた貯蔵システムの開発
- ・ 非貴金属電極触媒を用いた高効率・高耐久アニオン交換膜形燃料電池や新しい原理・材料に基づく次世代燃料電池システムの開発

D. 共通基盤

一般的に触媒の材料等を探索する際、物性値を満たす材料合成と評価のサイクルを繰り返す必要があるが、この試行実験のスピードを上げることが新材料の開発には極めて重要である。したがって、計算機シミュレーションやデータ解析等による、いわゆるインフォマティクスを活用した研究手法の導入や開発を推進する。また、共通実験技術のデジタル化を進める中で、材料探索等の作業工程について、ロボットを活用し自動かつ自律した実験(自動・自律実験)に転換していくことが少ないリソースで研究効率を高めるためにも非常に有効であり、こうしたサイバー、フィジカル、またはその組み合わせも含めた、DXによる新たな研究手法の開発を積極的に推進する。

これらの取組は、上記のA～Cの各研究開発テーマ内で個別に行う他、必要に応じて分野間での共通基盤技術として実施することが想定される。

(3) 資源配分方針の考え方

POは、基本方針を踏まえPDと合意のもと、以下の配分の考え方をもとに当該領域の方針を決定する。

- ① 研究動向を見極め、水素製造、水素貯蔵、燃料電池等の技術開発においてアカデミアの貢献が特に必要かつ、産業界が抱える技術課題解決に資する研究開発を見極めて投資する。
- ② GHG削減効果・経済波及効果の量的貢献度等や技術成熟度の社会実装可能性、企業の投資効果等を踏まえ、適時適切に資金配分を行うこと。長期課題については、単に基礎研究に終始することがないように、上記の観点について、ステージゲート評価等通じ、研究開発計画の将来可能性の

見極めを行い、必要に応じて研究開発の見直しを行う等の柔軟な対応も行う。

III. 研究開発実施体制

(1) 「チーム」の考え方

本領域においては上記の研究開発テーマを実施する複数の「チーム」を構成する。研究開発を実施する上で基本単位となる「チーム」は、各研究開発テーマに対してトータルとしてのシステム（水電解と燃料電池であれば構成材料だけではなくセル・スタック、水素貯蔵であれば材料のみではなく貯蔵システムと利用法）を俯瞰・検討できる研究者が中心となった上で材料開発やシステムとしての最適化や材料・技術の複合化を含めて一体に推進できる体制であることが重要である（例：水電解の高効率化、高耐久化、低コスト化として「高活性電極触媒」、「電解質」、「高電流密度化」等それぞれ担当する複数の研究グループによる構成）。

また、「チーム」の構成にあたっては、従来から水素関連の研究を行っている研究者のみではなく、これまで水素研究に参加していなかった多様な分野の研究者（例えば、計測・解析技術、計算科学、情報科学、物性物理、有機化学など）の参画を積極的に含め、新たな課題に挑戦していくことを推奨する。燃料電池等の研究開発においては、その性能評価を共通プロトコルで行うことが想定されるため、技術研究組合等、社会実装に向け知見を有する機関の参画や連携も推進する。

短期課題については、研究開発期間が短いことから、出口を担う企業の連携等により、社会実装までの道筋を描いた上で開始することが特に重要である。また、水電解と燃料電池のセル開発は共通部分が多いことから、共通の技術課題等を即時共有し、課題解決に向けて共同で研究開発を行う等の連携を図れる体制を構築する。

また、JST では令和5年度から戦略的創造研究推進事業「ALCA-Next」を開始することとしており、当該事業をはじめ、JST が実施する本領域と関連する研究課題について、国内の研究リソースを有効に活用する観点から、実効的な連携体制の構築することを推奨する。

(2) 共用設備・プラットフォームの活用

材料探索と機能・劣化機構の解析には表面構造や電子状態を詳細に把握することが必要であり、高い時間的・空間的分解能を有する大型放射光や中性子実験施設等を用いた先端解析が有効となる。一方で、これらの施設のマシンタイム等に制約があることから、領域内で横断的な利用体制を構築することが有効であ

る。各チームにおいて利用が想定される課題とその利用計画、利用体制の方策を定める。

大型の設備や、水素研究に効果的な設備で全国的な利用ニーズは高いが一機関においては使用頻度が限られる設備、管理・運用経費が高額の設備等については、中核となる機関に技術職員等の十分なサポート体制と共に整備し運用を行う等、参画機関間の相互扶助のネットワークを形成することが望ましい。また、水電解と燃料電池開発は共通の学理があることから、その解明に際して分析評価装置は、共通して使用することが有効である。中核機関と技術研究組合等が連携することにより、効果的かつ効率的に使用することが可能である。加えて、材料評価装置等は蓄電池領域と共通して使用する装置もあることから、既存の蓄電池プラットフォームの活用も含め、領域横断の共用体制を整備することが必要である。

加えて、研究データの収集・蓄積は非常に重要であり、物質・材料研究機構(NIMS)データプラットフォームを活用すること等により、データの蓄積・共有、AI解析システムの利用、文献データベースを構築する等、効率的なデータや高付加価値のデータを取得する体制を構築する。

(3) 海外連携

同志国になる諸外国の大学や研究機関との相互の交流・連携を推進する。また、人材育成の面でも若手の研究者や大学生については、積極的に海外との交流の機会を設けることが有効である。

(4) 若手研究者の積極的な参画・育成

研究実施にあたって中心的なポジションや研究開発の方向性を検討する場等への若手研究者の参画、本事業への多様な分野の修士・博士課程学生等の参画を奨励する。

また、本事業に参加する各機関の若手研究者や学生が交流・成果発表する場を設けることや企業の研究者(特に若手研究者)と対話する場に可能な限り参加できるようにすることなどにより、人材育成の取組を推進する。

IV. 研究開発マネジメント

(1) マネジメントにおける観点

水素の研究開発は、製造、貯蔵、利用分野の各技術について社会実装までの道筋や遠近感が異なり、今後も企業における社会実装等の状況や国内外の技術的な動向等により変化しうるものである。そのため、本領域の研究開発マネジメントにあたっては、研究の進捗状況等も踏まえて柔軟に方向性を変更することが

必要である。特に、水電解・水素貯蔵・燃料電池の製品目標や一部の技術目標等については、「NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ」等の枠組みにおいて引き続き産業界・アカデミアが議論されていく予定であり、本領域の研究開発についてもこれらの技術目標等も勘案しつつ、必要に応じて、見直しを行う。

また、PO と中心として、関連動向（国内外の技術動向、国内／グローバル市場の動向、標準化、規制・制度面等）や、LCA の観点からも助言を行えるよう、人文・社会科学の知見や多様な外部人材等を活用しながら課題を推進する体制を整える。

本事業は、3年目と5年目にステージゲート評価を行う他、研究課題の性質を踏まえ、各年度においてもPOによるチーム体制や方向性等の評価・見直しを必要に応じて行う。ステージゲート評価にあたっては、企業等の関係者の協力も得て、代替技術や競合技術の比較、技術動向や市場動向を注視したうえで社会実装可能性の観点等からも評価を行う。その際には、各研究開発テーマの標準研究開発期間によらず、ステージゲート評価において、研究期間の見直し及び目標の再設定等の柔軟かつ機動的な対応を行うことも必要である。

なお、PO は、むやみに研究開発期間を延ばすことなく、早期に社会実装できるものについては、その期限を待たずに実装への取組を進める。また、JST は、NEDO や企業等と密にコミュニケーションをとり、本事業の研究開発成果の橋渡し等を円滑にできるように努める。社会実装に向けては、スタートアップ創出等による成果展開も重要であることに留意する。

（2） オープン・クローズ戦略

JST はPOを中心に、各分野（水電解・燃料電池・水素貯蔵）で研究手法や成果の公開の範囲や企業の研究参画の度合い等を定めたオープン・クローズ戦略を策定する。その際、例えば、水素貯蔵システムの開発等の長期課題といった、研究開発開始時に企業の参画が想定しづらい課題についても、協調領域における研究開発（オープン）から競争領域における研究開発（クローズ）への発展のシナリオを検討するとともに、短期課題については、企業や出口事業等への具体的な橋渡しの道筋をあらかじめ検討することが重要である。また、研究進捗等を踏まえ、必要に応じて適宜戦略を見直す。

（3） データ戦略

JST は、POを中心に各分野（水電解・燃料電池・水素貯蔵）における研究データの共有・公開等に係るデータ戦略を研究開発開始後速やかに策定する。データの共有は、研究実施上、相互に影響を与えることから、チーム内の研究グループであってもその範囲を適切に定める必要がある。また、ネガティブデータも含め

たデータの蓄積方法や、標準的なデータ形式、データ管理ツール等を適宜検討し、必要に応じてデータ戦略の見直し・反映を行う。

(4) 知的財産の取扱い

JST は、PO を中心に将来的な事業化を念頭に置き、企業等が社会実装を目指すにあたって知的財産権の問題が障害とならないよう、事業の研究開発成果の展開シナリオ等を検討した上で、本領域に係る知的財産の取扱い方針を定める。

V. その他

本領域の推進にあたって大きな方向性の変更が生じた際には、文部科学省は有識者の助言等を得て研究開発方針の見直しを行う。

事業の推進にあたっては、経済産業省との「文部科学省・経済産業省ガバナングボード（燃料電池等）」の開催等による政策連携や、JST と NEDO 間の事業連携を推進する。