

Mizuho Short Industry Focus Vol.248

革新的技術シリーズ¹

日本発の革新的技術「人工光合成」の普及に向けて

〈要 旨〉

- ◆ 脱炭素社会を目指す動きが加速する中、その実現に資する技術が注目されている。そうした技術の中で、人工光合成は、カーボンネガティブに貢献し、日本が世界的にも技術的優位性を有するとされる。同技術は、太陽光をエネルギーとして、二酸化炭素(CO₂)と水から水素や化学品を生成することが可能である。1967 年に発見されて以降半世紀が経過する中で、数多くの研究開発が進展し、実用化が近づいている。本稿では、実用化と量産化に向けての課題と解決の方向性を考察する。
- ◆ 人工光合成の実用化における課題・リスクとして、光触媒原料の調達や、水素と酸素の混合ガスの爆発危険性、水素の外部調達コストが挙げられる。その解決に向けては、更なる研究開発のみならず、政策的なアプローチが必要となる。
- ◆ 人工光合成装置の生産に関しては、需要家の予算や、装置を設置する場所の環境条件・制約がケースバイケースであり、目的製造物とする化学品が需要家(化学メーカー)によって異なるため、装置の仕様変更を都度迫られる可能性がある。人工光合成装置メーカーとしては、大量生産できる仕様に顧客を誘導する、あるいは装置単価上昇を許容できる市場や需要家を見出す、という主に 2 つの戦略方向性が考えられる。
- ◆ しかしながら、日本は、開発段階や実用化段階で他国に先行しながらも、量産段階で中国・韓国系のライバルに競り負けてきた数多くの苦い経験がある。そのため、人工光合成においても、現段階からライバルとの競争を見据えて、優位性を維持するための差別化戦略を検討すべきである。その戦略の一例として、①有力企業等との早期段階からのアライアンス展開、②ニッチ領域における早期陣取りが考えられる。
- ◆ 複数の課題が立ちはだかる人工光合成ではあるが、日本発の革新的技術として、日本が今後も存在感を示し続けることを期待する声が多い。事業化意欲を掻き立てる補助金や、CO₂ 排出量削減を促す排出量取引制度のような規制等、政策的取り組みが必要だと考える。人工光合成の特色である、カーボンネガティブを評価するルール形成も期待される。夢の技術である人工光合成が、世間に広く正しく認知され、活用可能な市場が見出されることを通じて普及していくことを期待したい。

1. はじめに ～研究開発の歴史

人工光合成等の
脱炭素技術に注
目が集まる

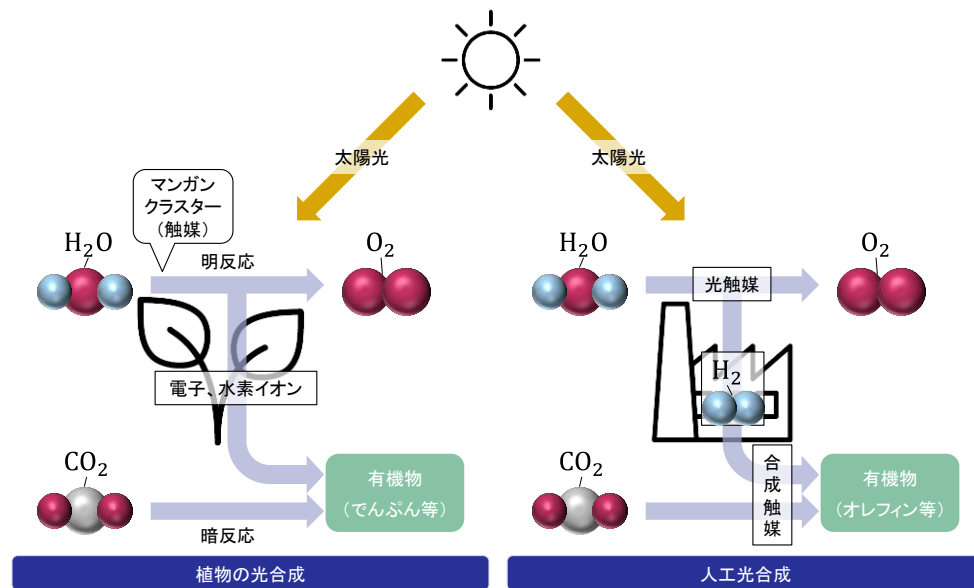
2020 年 10 月、菅総理(当時)が臨時国会にて「2050 年カーボンニュートラル宣言」を行って以降、脱炭素社会の実現に資する技術が注目されている。本稿では、そうした技術の中で、カーボンネガティブに貢献し、日本が世界的にも技術的優位性を有するとされる人工光合成を取り上げる。

¹ 日本産業の競争力強化や社会課題の解決に寄与しうる技術・イノベーション領域をとり上げるレポート。

人工光合成とは、 CO_2 と水から有機物を製造するプロセス、あるいは水素の抽出までのプロセスを指す

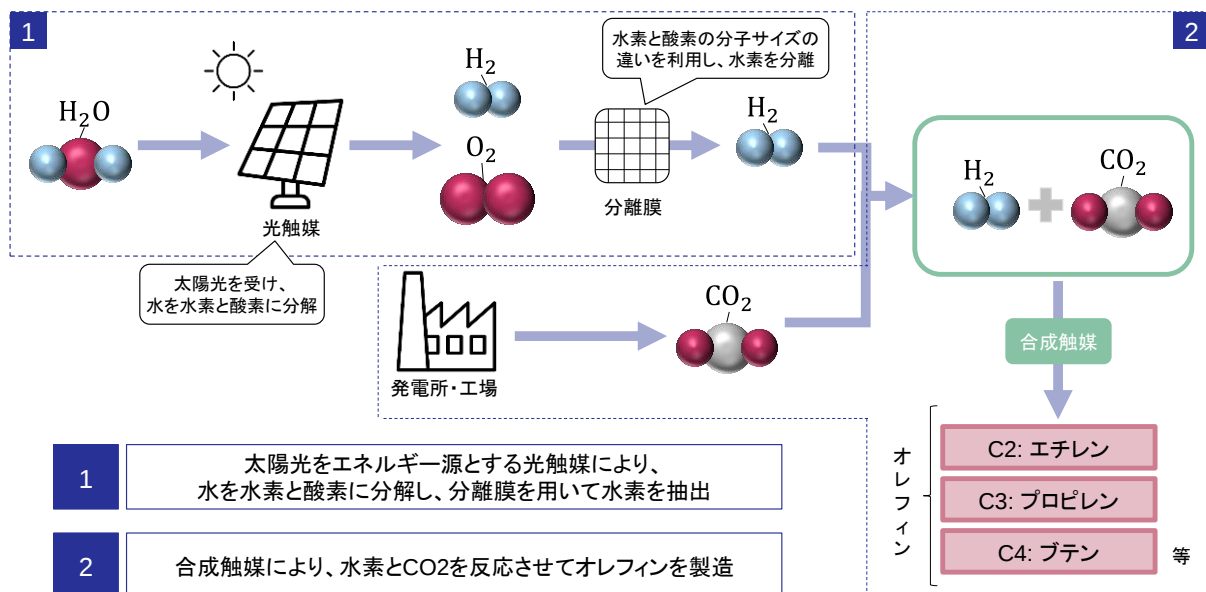
光合成とは、植物が太陽光エネルギーによって、 CO_2 と水から有機物と酸素を生み出す働きのことである。人工光合成とは、これを人工的に行う技術のことであり、一般的に①太陽光をエネルギー源とする光触媒²や光電極³により、水を水素と酸素に分解し、分離膜を用いて水素を抽出するプロセス、②合成触媒により、水素と CO_2 を反応させてオレフィン（＝エチレンやプロピレン等の最も基礎的な化学製品の総称）を製造するプロセスの 2 つに分けられる（【図表 1、2】）。人工光合成として、①と②のプロセス全体を指すこともあれば、①のプロセスのみを指すこともある。人工光合成は、光触媒系と光電極系の 2 種類に大別⁴されるが、光電極で生成された電気エネルギーを利用して光触媒反応を促進する等、双方を組み合わせたハイブリッドシステム（装置）の設計も可能である。

【図表 1】植物による光合成と人工光合成の対比



（出所）経済産業省 資源エネルギー庁 HP、三菱ケミカル HP より、みずほ銀行産業調査部作成

【図表 2】人工光合成（光触媒系）のプロセスの概観



（出所）経済産業省 資源エネルギー庁 HP、三菱ケミカル HP より、みずほ銀行産業調査部作成

² 光を吸収し、活性化された状態で反応物と接触することで、化学反応を進行させる物質。

³ 半導体の一種であり、光エネルギーを吸収して電流を発生させるもの。

⁴ 光触媒系は量産や大規模化の観点で有利とされ、光電極系は高効率な太陽光エネルギー変換に有利とされる。

人工光合成は、1967年に発見されて以降、研究開発が進展し続けてきた

人工光合成の起源は、1967年にまで遡る。当時東京大学大学院生であった藤嶋昭氏が、本多健一助教授の指導の下、酸化チタンに光を照射すると、そのエネルギーによって水が水素と酸素に分解されることを発見した。この発見が1972年にNature誌に発表され、今では発見者の名を取って「本多・藤嶋効果」と呼ばれている。しかし、光触媒として用いる酸化チタンは可視光よりも波長の短い紫外光しか吸収せず、太陽光に含まれる紫外光の割合は数%であることから、太陽光エネルギーを用いて水素を生成する「太陽光エネルギー変換効率 (Solar to Hydrogen Energy Conversion Efficiency: STH)」は1%未満になってしまう。事業化を狙う以上、可視光の活用や、吸収した光 (正確にはその粒子である光子) の利用効率 (= 量子効率) の向上による STH の最大化が必要不可欠であることから、1980年以降は新たな光触媒やプロセス等の研究開発が活発化した。なお、事業化にあたっては、STH は一般的に 10%程度必要とされている。その後、2001年に人工光合成研究開発の第一人者である東京工業大学 (当時) の堂免一成氏らが可視光を吸収する光触媒の存在を示し、同年に産業技術総合研究所が世界で初めて可視光を用いた人工光合成システムによる水分解を成功させた。2023年には人工光合成化学プロセス技術研究組合 (ARPCChem)⁵等がハイブリッド系にて STH10%、2024年には米 SunHydrogen が 100 cm²の光電極系と推察される実証用モジュールにて STH10.8%を達成している。その他、生成対象が水素ではなくギ酸となるが、2021年に豊田中央研究所が光電極系と推察される人工光合成の変換効率 10.5%を達成している。実用化を見据える時期として、豊田中央研究所は 2030年頃、ARPCChemの組合員である三菱ケミカルは 2035年頃 (オレフィン製造実用化) を目指している (【図表 3】)。

【図表 3】人工光合成の研究開発の歴史

時期	出来事
初期研究 (1970年代)	・ 1972年、藤嶋昭氏と本多健一氏が、酸化チタン (TiO ₂) を用いた光触媒による水の分解反応 (本多・藤嶋効果) を発表
進展期 (1980～1990年代)	・ 酸化亜鉛や酸化鉄等、酸化チタン以外の材料を用いた光触媒の研究開発が活発化
技術的ブレークスルー (2000年代)	・ 光触媒の研究が進み、光吸収効率や反応速度が向上。可視光照射下にて働く光触媒の研究開発が進展 ➢ 2001年、産業技術総合研究所が可視光線を用いた人工光合成システムによる水の完全分解に世界で初めて成功
現代の研究 (2010年～)	・ CO ₂ の還元反応や有機化合物の生成、実装システムの提唱等、人工光合成の実用化に向けた研究が加速 ➢ 2011年、豊田中央研究所が水とCO ₂ 、太陽光の3要素のみで駆動する人工光合成反応の原理実証に成功。2021年には、太陽光からギ酸への変換効率10.5% (光電極系) を達成。2030年頃の実用化に向けて、研究開発を加速 ➢ 2012年、経済産業省が主体となり、三菱ケミカル等を組合員として擁する人工光合成化学プロセス技術研究組合 (ARPCChem) が誕生。2021年度までの第一期の活動では、世界で初めて人工光合成の大規模実証実験に成功。2030年度まで実施される第二期の活動では、2023年に実用レベルであるSTH10%を達成 (ハイブリッド系) し、社会実装を見据えた技術開発を推進中

(出所) 日本化学会「人工光合成型光触媒を用いたグリーン水素製造」『化学と教育 Vol.70, No.9』(2022 年) 等より、みずほ銀行産業調査部作成

人工光合成は、脱炭素社会の実現を後押しする革新的技術

STH10%の人工光合成装置が実用化されたと仮定して、日本の年間エネルギー消費量 (2023 年) に相当する水素を生成するための必要面積について試算する。東京都の平均太陽光入射量を約 1,602 百万 kWh/m²・year と仮定すると、必要面積は約 19,900km² と算出される。これは、日本の総面積 377,975km² の約 5.3% に相当する。人工光合成を行う用地として、日本の遊休農地 2,644km² (2023 年)⁶ を活用した場合、日本の年間エネルギー消費量の約 13.3% を補うことができる。STH の向上や、光触媒シートの設置面積拡大等により、理論上は更に水素生成量を増やすことが可能である。プロセスの過程で CO₂ を排出せず、CO₂ を原料として水素や化学品を製造するカーボンネガティブ技術であるため、脱炭素社会の実現を後押しするものとして、革新的技術と言えるだろう。また、非エネルギー資源国である日本にとっては、人工光合成の実用化により、エネルギーの自給自足に向けて前進するという観点でも、意義がある技術と考えられる。

⁵ 経済産業省が主体となって形成した技術研究組合。2024 年 6 月 20 日時点の参画企業と大学・研究機関は以下の通り。
○企業 (50 音順) : INPEX、京セラ、JX 金属、大日本印刷、デクセリアルズ、東レ、トヨタ自動車、日本製鉄、フルヤ金属、三井化学、三菱ケミカル
○大学・研究機関 (50 音順) : 岐阜大学、京都大学、産業技術総合研究所、信州大学、東京大学、東京理科大学、東北大学、名古屋大学、宮崎大学、山口大学
⁶ 農林水産省「令和 5 年度遊休農地面積」より、1 号遊休農地、再生利用が可能な農地、2 号遊休農地の面積を合算。

【図表 4】人工光合成のポテンシャル評価

a. 日本の年間エネルギー消費量(2023年)

$$11,476PJ = 11,476 \times 10^{15}J$$

b. エネルギー単位の換算

$$1kWh = 3.6 \times 10^6J$$

$$11,476PJ = 11,476 \times 10^{15}J = \frac{11,476 \times 10^{15}J}{h = 3.6 \times 10^6J / kWh} = 3,188 \times 10^9kWh$$

c. 光触媒の効率(STH)

$$STH = 10\%$$

d. 必要な太陽エネルギー量

$$= \frac{b.}{c.} = \frac{3,188 \times 10^9kWh}{0.1} = 3,188 \times 10^{10}kWh$$

e. 年間平均太陽光入射量(東京都)

$$4.39kWh/m^2 \cdot day \times 365 = 1,602kWh/m^2 \cdot year$$

f. 必要面積

$$= \frac{d.}{e.} = \frac{3,188 \times 10^{10}kWh}{1,602kWh/m^2 \cdot year} = 19,900,124,844m^2 = \mathbf{19,900km^2}$$

日本の総面積(377,975km²)の約5.3%

人工光合成用地として、日本の遊休農地(2,644km²)を活用した場合、年間エネルギー消費量の約13.3%を補うことが可能

(出所)経済産業省 資源エネルギー庁、新エネルギー・産業技術総合開発機構「日射量データベース閲覧システム」(MONSOLA-20)、農林水産省「令和5年度遊休農地面積」等より、みずほ銀行産業調査部作成

2. 実用化に向けて ～攻略すべき課題の俯瞰

人工光合成の実用化に向けての課題を考察

人工光合成の実用化に向けては、依然乗り越えるべき課題がある。本章では、人工光合成のプロセスにおける課題について、その解決に向けての方向性とともに考察する(【図表 5】)。

【図表 5】実用化に向けての主な課題・リスク

プロセス	課題・リスク	解決に向けての方向性
水分解	光触媒原料の調達	資源国との関係強化、非重要鉱物を原料とする光触媒の開発
水素抽出	水素と酸素の混合ガスの爆発危険性	安全・効率的に水素ガスを分離する膜の開発
化学品製造	水素の外部調達コスト	水電解槽との併用、水素製造地における化学品製造

(出所)みずほ銀行産業調査部作成

触媒原料の調達に制約が生じる可能性

まず、人工光合成のプロセスにて用いる、光触媒の原料の調達が挙げられる。例えば、光触媒により水を水素と酸素に分解するプロセスにおいては、効率的な光の吸収能力、反応速度、結晶構造の安定性等の観点から、酸化チタン、窒化タンタル、チタン酸ストロンチウム等が有望視されている。光触媒の原料として、貴金属やレアメタルといった重要鉱物⁷を用いることも珍しくない。しかし、非資源国の日本にとっては、重要鉱物の調達に制約が生じる可能性があるため、資源国との関係強化や、重要鉱物への依存度が低い

⁷ 本稿では、貴金属やレアメタルを総称するものとして定義。なお、貴金属やレアメタルに属する元素に関しては、経済産業省 資源エネルギー庁「世界の産業を支える鉱物資源について知ろう」を参照されたい。

光触媒開発の重要性が高いと考えられる。もともと、2024 年 12 月に発表された東京科学大学による「レアメタルフリー・高効率な水電解酸素生成触媒」の開発など、課題解決に向けてのアプローチは多数検討されており、更なる開発の進展を期待したい。

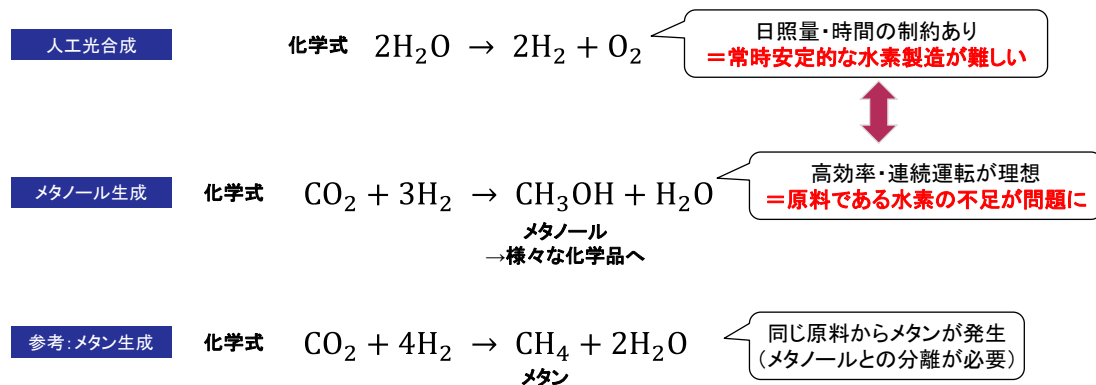
混合ガスの爆発危険性への対処のため、分離膜開発が重要に

次に、水素と酸素の混合ガスから水素を分離するプロセスにおける、混合ガスの爆発危険性が挙げられる。水素は、酸素との反応により水と熱を生成するが、反応性が高いため、静電気や小さな火花であっても反応が開始されることがある。その反応速度が非常に速いため、多量の熱放出(爆発)の危険性が指摘される。したがって、水素と酸素を安全かつ効率的に分離する膜の開発が重要であり、三菱ケミカルなどが分離膜・モジュールの開発を進めている。2024 年 6 月時点の研究成果報告資料⁸によれば、水素濃度 96%超、水素回収率 90%にて分離に成功している。分離自体は可能であり、分離膜・モジュールの耐久性や寿命等の性能向上が期待される。

原料となる水素の外部調達コストが課題に

最後に、合成触媒により、水素と CO₂ を反応させてオレフィンを製造するプロセスにおける、原料となる水素の外部調達コストの課題が挙げられる。人工光合成によって生成された水素から、メタノールを製造するケースを例に考察したい(【図表 6】)。

【図表 6】人工光合成とメタノール生成における課題



(出所)みずほ銀行産業調査部作成

安価に水素を調達できる環境づくりを検討する必要がある

人工光合成は太陽光が得られる時期・時間帯でのみ反応が起こるため、水素を常時安定的に製造できない可能性があることに留意すべきである。高効率・連続運転で反応させ続けて収率⁹を上げる必要がある化学品の製造にあたっては、水素不足がボトルネックとなる可能性がある¹⁰ため、原料となる水素を他から調達する手段を用意しておく必要がある。人工光合成装置を水電解槽設置場所に隣接させる、水素調達コストが低い国・地域で化学品製造を行うなど、安価に水素を調達できる環境づくりを検討する必要がある。

競争力を有するために必要となる水素価格は 10 円/Nm³とされ、野心的な水準

しかし、安価な水素調達といっても、一筋縄にはいかないことが想定される。三菱ケミカルの試算によれば、現行同等の基礎化学品製造の目線となるオレフィンコスト 100 円/kg の実現に必要な水素価格は 10 円/Nm³以下とされる¹¹。経済産業省が掲げる水素供給価格(CIF)の目標値は、2030 年に 30 円/Nm³、2050 年に 20 円/Nm³である¹²ことを勘案すれば、人工光合成による現行化学品製造の代替がいかに関難であるかを物語っている。水素価格を下げるための企業の自助努力等も重要であるが、環境負担の低いプロセスで製造した化学品が競争力を発揮する政策的な仕掛けも重要と言えよう。

⁸ 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「事業戦略ビジョン 実施プロジェクト名:人工光合成型化学原料製造事業化開発 ①グリーン水素(人工光合成)等からの化学原料製造技術の開発・実証 ②CO₂からの基礎化学品製造技術の開発・実証(2024 年 6 月時点)」

⁹ 化学的手法によって原料物質から目的の物質を得るとき、理論的に取り出せると仮定した量と実際に得られた量との割合。

¹⁰ メタノールの製造にあたっては、意図せずメタンが発生して収率が下がってしまう可能性にも留意が必要である。

¹¹ 三菱ケミカル「人工光合成型化学原料製造事業化開発」

¹² 経済産業省 資源エネルギー庁「水素基本戦略の概要」

3. 装置の生産に向けて

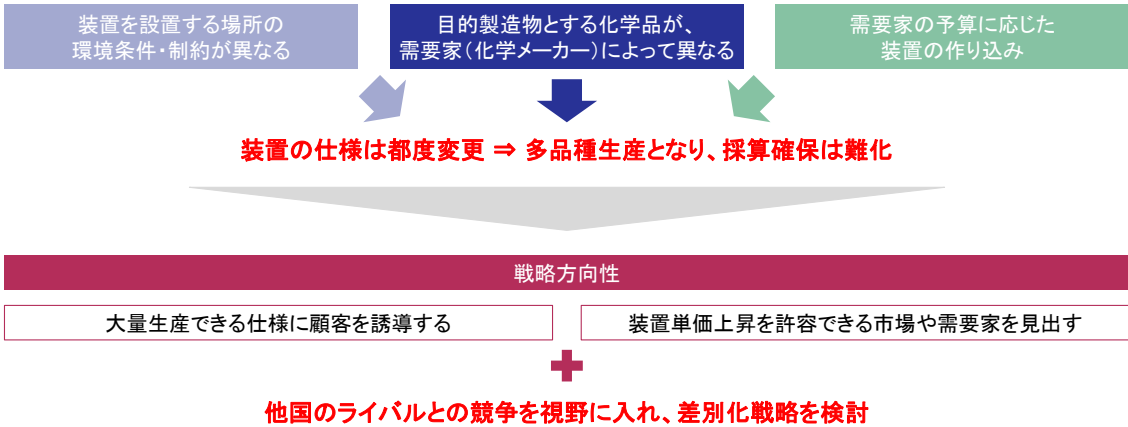
人工光合成装置は、小～中規模多品種生産となる可能性が高い

実用化の次のステップとして量産段階が存在するが、人工光合成の装置は大量生産ではなく、多品種生産が中心となる可能性が高い。電力会社や化学メーカーのような需要家の予算、装置を設置する場所の土地の形状や面積等の環境条件・制約はケースバイケースと想定されるほか、人工光合成によって化学品まで製造する場合は、化学メーカーによって目的製造物とする化学品が異なり、収率を最大化する光触媒や合成触媒が変わってくるためである。したがって、装置は都度すり合わせて作り込んでいくと想定され、同一仕様の装置を大量に作ることができない分、装置単価は上がってしまう可能性が高い。

中国・韓国系のライバルとの差別化戦略もあわせて検討する重要性が高い

人工光合成装置メーカーとしては、大量生産できる仕様¹³に顧客を誘導する、あるいは装置単価上昇を許容できる市場や需要家を見出す、という主に2つの戦略方向性が考えられる(【図表7】)。しかし、採算を確保でき、かつ大きな成長が期待できる市場においては、中国・韓国のように国を挙げて市場の攻略を目指すライバルとの競争を視野に入れる必要がある。そのため、差別化戦略もあわせて検討する重要性が高いと考える。

【図表7】人工光合成装置が直面し得る課題と戦略方向性



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

4. 差別化戦略の重要性 ～日本が講じるべき戦略

差別化に向けて、戦略方向性を検討

日本は、太陽電池やディスプレイなど、開発段階や実用化段階で他国に先行しながらも、量産段階で中国・韓国系のライバルに競り負けてきた数多くの苦い経験がある。人工光合成においても、現段階からライバルとの競争を見据えて、いかに差別化し、優位性を維持するかが課題となる。そこで、足下の人工光合成に関する各社・大学・研究機関の2つの取り組みを参考に、差別化戦略の方向性を考察したい(【図表8】)。

【図表8】差別化戦略の方向性

	差別化戦略の一例	説明	事例
1	有力企業等との早期段階からのアライアンス展開	・ 国営企業等の影響力の大きい主体と早期段階からアライアンスを組成。強みを補完して各種課題に取り組み、特定国・地域における参入障壁を形成	Masdar × 三菱ケミカルグループ × INPEX
2	ニッチ領域における早期陣取り(e.g. 戸建住宅への設置)	・ あえて小規模な需要向けにターゲットを絞り、その需要に応えるために最適化させた装置を開発	飯田グループHD × 大阪公立大学

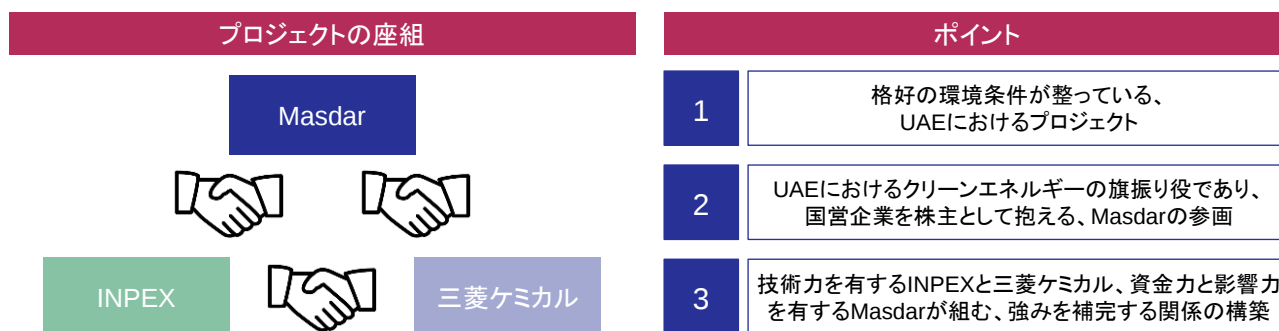
(出所) みずほ銀行産業調査部作成

¹³ メタノールやエチレン等の代表的な化学品を目的製造物とすることを想定。

1 つ目の戦略方向性：有力企業等との早期段階からのアライアンス

1 つ目の戦略方向性として、Masdar、三菱ケミカル、INPEX が 2023 年 7 月に発表した人工光合成による化学品製造を目指したプロジェクトである「カーボンリサイクルケミカル製造事業の共同調査に関する契約」(【図表 9】)のように、有力企業等と早期段階からアライアンスを締結し、各社の知見やリソースを持ち寄って事業化を図ることが考えられる。Masdar は、UAE の首長国の一つであるアブダビの国営石油会社である ADNOC、同じく国営エネルギー会社である TAQA、アブダビの政府系ファンドである Mubadala を株主として抱え、UAE におけるクリーンエネルギー開発の旗振り役として認知されている存在である。アブダビは、年間降水量は 140～200mm、年間の雨天日は約 12 日と、太陽光をエネルギー源とする人工光合成にとって格好の環境条件が整っている。ARPCChem の組合員であり、技術を有する三菱ケミカルと INPEX、資金力と影響力を持つ Masdar がアライアンスを組成することで、強みを補完して各種課題に取り組む関係を構築している。本件は、国営企業が関与する国家の威信をかけたプロジェクトとも取れることから、UAE 国内における参入障壁の形成が期待されることに加えて、定められた時間軸での成果の創出に向けて、各社は自社のリソースを最大限投下するよう努めるはずである。乗り越えるべき複数の課題を抱える人工光合成にとって、斯様なアライアンスは、事業化完遂に向けて足並みを揃えて邁進することに寄与すると考える。

【図表 9】 Masdar、三菱ケミカル、INPEX によるアライアンスのポイント



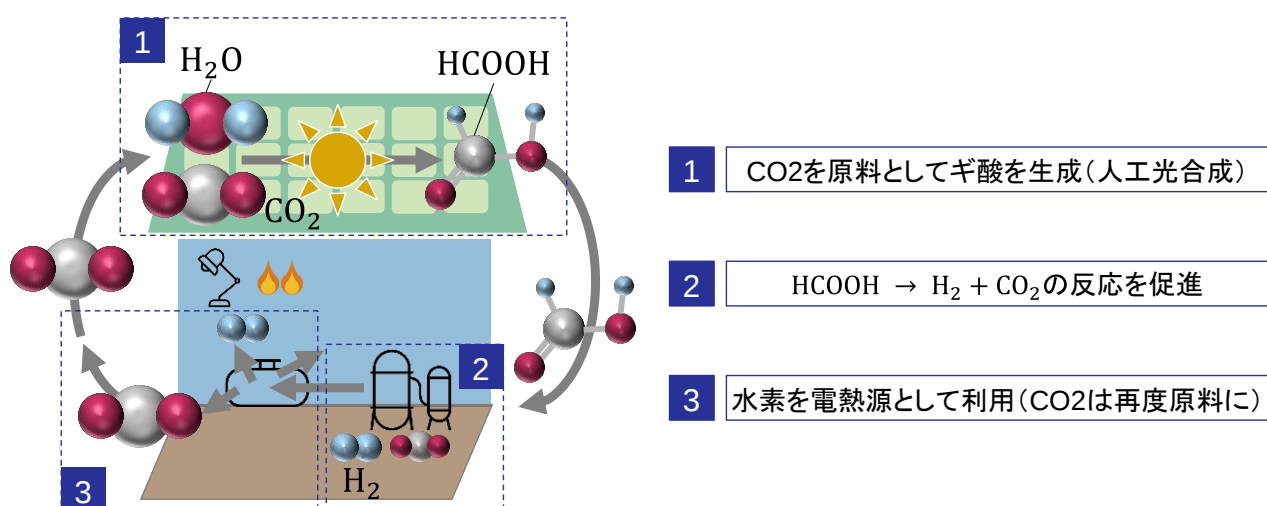
課題解決や事業化完遂に向けて、足並みを揃えて邁進することに寄与

(出所) 三菱ケミカル公表資料等より、みずほ銀行産業調査部作成

2 つ目の戦略方向性：ニッチ領域における早期陣取り

2 つ目の戦略方向性として、住宅販売や建設資材製造などを行う企業グループの持株会社である飯田グループホールディングス(以下、飯田 GHD)と大阪公立大学が 2017 年 7 月に発表した「人工光合成ハウス」に関する取り組みのように、中国・韓国系のライバルの新規参入意欲が低い、ニッチ領域における早期陣取りが考えられる。両者の人工光合成ハウスは、①CO₂ を原料としてギ酸を生成(人工光合成)、②ギ酸から水素とCO₂ を得る反応を促進、③水素を電熱源として利用(CO₂ は再度原料に)の 3 つのプロセスを循環させるシステムを採用している(【図表 10】)。当該取り組みは、戸建住宅に対するエネルギー源の提供を目的として、装置(システム)の仕様を最適化している点も注目すべきだろう。人工光合成により、エネルギー源として水素を得ることを目的とする場合、安全性(爆発の危険性)と貯蔵(水素脆化防止のため特殊な容器が必要)の 2 つの観点での課題が指摘されるが、目的生産物として水素キャリアとなるギ酸を製造することで、これらの払拭が可能(【図表 11】)であり、居住者に配慮した仕様になっていると言える。

【図表 10】 飯田 GHD × 大阪公立大学が提唱する、人工光合成ハウスの概観



(出所) 飯田 GHD、大阪公立大学公表資料より、みずほ銀行産業調査部作成

【図表 11】 水素とギ酸に関する、安全性と貯蔵の観点における対比

	水素	ギ酸(水素キャリア)
安全性	爆発の危険性あり	水との混合により、引火の危険性を排除可能
貯蔵	水素脆化防止のため、特殊な容器が必要	ガラスやポリエチレン製容器で長期間貯蔵可能

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

飯田 GHD と大阪公立大学は、国内住宅市場のニッチな特性に着目し、早期段階から陣取り

国内住宅市場は、元請けのハウスメーカーと下請けの工務店が緊密に連携する独自のエコシステムが形成されており、海外企業の参入は容易ではない。国毎に建築基準等の法規が異なるため、他国で設置可能な装置が日本で設置できるとは限らず、装置の大型化が最適解とも限らない。飯田 GHD と大阪公立大学は、この市場が有するニッチな特性に着目し、早期段階から陣取りを行っている。戸建住宅のエネルギー獲得手段として太陽光発電、エネルギー貯蔵手段として蓄電池が存在するが、獲得と貯蔵を一手に担う手段としても人工光合成が普及することに期待したい。

5. おわりに

脱炭素社会の実現に資する人工光合成の普及を期待したい

人工光合成は、水や CO₂ を原料に水素や化学品を製造する技術であり、プロセスの過程で CO₂ を排出しないことから、カーボンニュートラルに貢献する革新的技術と言える。日本企業や研究機関が開発や実用化をリードしてきたことから、日本が今後も強くあり続けることを期待する声が多い。一方で、商用化に向けては依然乗り越えるべき課題が多く存在する。それらの解決に向けては、日本の企業に事業化の意欲を掻き立たせるアメと、取り組む必要性を高めるムチが必要だと考える。前者のアメとしては、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) のグリーンイノベーション基金 (GI 基金)¹⁴の枠組みで人工光合成の事業化を支援している¹⁵。普及に向けては、消費者向けの需要の喚起を企図した補助金も一案だろう。後者のムチとしては、欧州などで先駆けて実施される排出量取引制度の本格導入のように、CO₂ 排出量の削減を促すことができる規制が想定される。東京都の太陽光発電設置支援・義務化¹⁶制度の枠組みに人工光合成も加えるなど、既存制度の見直しも一案だろう。また、その他の脱炭素技術と比較すると、人工光合成はカーボンネガティブに貢献する点が特色であり、こうした特徴を評価するルール形成も期待される¹⁷。夢の技術である人工光合成が、世間に広く正しく認知され、活用可能な市場が見出されることを通じて普及していくことを期待したい。

みずほ銀行産業調査部

素材チーム 村重 新

資源・エネルギーチーム 高橋 興道

kodo.takahashi@mizuho-bk.co.jp

【参考文献】

1. 新聞雑誌
 - 日本経済新聞「人工光合成、近づく実用化 三菱ケミなど大規模実証成功」(<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC147R50U1A910C2000000/>) (2021 年 9 月 30 日)
 - 日本経済新聞「人工光合成、まずは住宅で 大阪公立大学の天尾豊教授」(<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC251X20V20C23A4000000/>) (2023 年 5 月 2 日)
 - 日本経済新聞「曲がる太陽光パネル、「特許は国内だけ」に映るもの」(<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC251X20V20C23A4000000/>) (2023 年 7 月 16 日)
 - 日経 BP メガソーラービジネス「人工光合成技術の実用化に向け大きく前進」(<https://project.nikkeibp.co.jp/ms/atcl/19/news/00001/00903/?ST=msb>) (2020 年 6 月 9 日)
 - 週刊朝日「人工光合成の家」必要な電力をまかない、二酸化炭素も吸収する」(<https://dot.asahi.com/articles/-/42452?page=1>) (2022 年 2 月 8 日)
2. 学術論文・研究成果報告資料
 - 三菱ケミカル「産業構造審議会グリーンイノベーション部会 エネルギー構造転換分野 WG 説明資料 人工光合成型化学原料製造事業化開発」, 2024 (https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/022_10_00.pdf)
 - ARPCHEM-PJ「NEDO 人工光合成 PJ 公開成果報告会 人工光合成プロセス技術開発 PJ の成果・達成状況の考察&今後の展望」, 2022 (<https://www.nedo.go.jp/content/100942692.pdf>)
 - 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)「事業戦略ビジョン 実施プロジェクト名: 人工光合成型化学原料製造事業化開発 ①グリーン水素 (人工光合成) 等からの化学原料製造技術の開発・実証 ②CO₂ からの基礎化学品製造技術の開発・実証 (2024 年 6 月時点)」, 2024 (<https://green-innovation.nedo.go.jp/pdf/development-plastic-raw-material-manufacturing/item-004/vision-m-chemical-003.pdf>)
3. 書籍
 - 「化学と教育 Vol.70, No.9 グリーンイノベーションの技術と化学 Part 1」(2022) 公益社団法人日本化学会
 - 「知財管理 Vol.63, No.3 強い特許をめざして」(2013) 一般社団法人日本知的財産協会
4. ホームページ (国内)
 - 飯田グループホールディングス・大阪公立大学「世界初！人工光合成技術による「IG パーフェクトエコハウス」開発に着手」宮古島に「人工光合成ハウス」を建設 ～ 二酸化炭素は「排出抑制」から「積極活用」の時代へ ～」(https://www.omu.ac.jp/orp/recap/assets/press_170710.pdf) (2025 年 3 月 11 日)

¹⁴ 日本の「2050 年カーボンニュートラル」に向けた経営課題に取り組む企業等に対して、10 年間、研究開発・実証から社会実装までを支援する取り組み。
¹⁵ 2022 年 2 月 18 日、三菱ケミカルを幹事会社として、三菱瓦斯化学と ARPCHEM の 3 者が、NEDO から公募された GI 基金の研究開発項目 4「アルコール類からの化学品製造技術の開発」に対して、「人工光合成型化学原料製造事業化開発」を提案し、採択されたことが発表されている。
¹⁶ 2025 年 4 月より、新築住宅等への太陽光発電設備の設置、断熱・省エネ性能の確保等を義務付ける制度が開始された。
¹⁷ CDR (Carbon Dioxide Removal, CO₂ 除去) 市場創出にかかるルール形成についての検討は、経済産業省を旗振り役として既に始まっている。

- INPEX「アラブ首長国連邦アブダビ首長国におけるカーボンリサイクルケミカル製造事業の共同調査に関する契約締結について」
(<https://www.inpex.com/news/2023/20230718.html>) (2025 年 3 月 11 日)
- エネフロ「テクノロジーが拓く未来の暮らし Vol.88 世界最大級の人工光合成実証施設で CO₂を資源に変える！」
(https://ene-fro.com/article/ef422_a1/) (2025 年 3 月 14 日)
- 経済産業省「CDR 市場創出にかかわるルール形成について」
(https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/negative_emission/pdf/004_05_00.pdf) (2025 年 3 月 18 日)
- 経済産業省資源エネルギー庁「CO₂を“化学品”に変える脱炭素化技術「人工光合成」」
(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/jinkoukougousei.html>) (2025 年 2 月 20 日)
- 経済産業省資源エネルギー庁「水素基本戦略の概要」
(https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/20230606_3.pdf) (2025 年 3 月 10 日)
- 経済産業省資源エネルギー庁「世界の産業を支える鉱物資源について知ろう」
(<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/anzenhosho/koubutsusigen.html>) (2025 年 3 月 11 日)
- 経済産業省資源エネルギー庁「脱炭素に向けて各国が取り組む「カーボンプライシング」とは？」
(https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/carbon_pricing.html) (2025 年 3 月 11 日)
- 経済産業省資源エネルギー庁「令和 5 年度(2023 年度)エネルギー需給実績を取りまとめました(速報)」
(https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/gaiyou2023fysoku.pdf) (2025 年 4 月 1 日)
- 産業技術総合研究所「人工光合成とは？科学の目でみる、社会が注目する本当の理由」
(https://www.aist.go.jp/aist_j/magazine/20220427.html) (2025 年 3 月 13 日)
- 産業技術総合研究所「人工光合成システムで可視光による水の完全分解に世界で初めて成功」
(https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2001/pr20011206_2/pr20011206_2.html) (2025 年 3 月 13 日)
- 産業技術総合研究所「ナノロッド状の構造を持つ赤色透明な水分解用の窒化タンタル光電極を開発」
(https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2023/pr20230818/pr20230818.html) (2025 年 3 月 11 日)
- 産業技術総合研究所「再エネ社会構築のための新たな選択肢「人工光合成」」
(https://www.aist.go.jp/aist_j/magazine/20200307.html) (2025 年 3 月 11 日)
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構「日射量データベース閲覧システム(MONSOLA-20)」
(<https://uchi.tokyo-gas.co.jp/solor/0065>) (2025 年 4 月 1 日)
- J-PlatPat「特開 2002-233769 発明の名称:水の可視光分解用光触媒、出願人:科学技術振興事業団」
(<https://www.j-platpat.inpit.go.jp/c1801/PU/JP-2002-233769/11/ja>) (2025 年 3 月 14 日)
- J-PlatPat「特開 2018-118877 発明の名称:水素供給システムおよび水素供給方法、出願人/権利者:公立大学法人大阪市立大学他」
(<https://www.j-platpat.inpit.go.jp/c1801/PU/JP-2018-118877/11/ja>) (2025 年 3 月 14 日)
- 東京都「2025 年 4 月から太陽光発電設置義務化に関する新たな制度が始まります」
(<https://www.koho.metro.tokyo.lg.jp/2023/01/04.html>) (2025 年 3 月 18 日)
- 東京大学「光触媒の新世界 市場との対話が生んだブレークスルー」
(https://www.u-tokyo.ac.jp/focus/ja/features/f_00057.html) (2025 年 2 月 20 日)
- 東京科学大学「レアメタルフリー・高効率な水電解酸素生成触媒を開発」
(<https://www.isct.ac.jp/ja/news/68ptm9d8y50v>) (2025 年 3 月 11 日)
- 東京科学大学「光触媒開発の常識を覆し「人工光合成」研究を加速」
(<https://www.isct.ac.jp/ja/news/wp85hkefdgqs>) (2025 年 3 月 11 日)
- 豊田中央研究所「実用サイズの人工光合成で植物の太陽光変換効率を超える」
(<https://www.tytlabs.co.jp/presentation/case-11.html>) (2025 年 3 月 13 日)
- 豊田中央研究所「太陽光と水で CO₂を資源に！世界最大級の 1 メートル角人工光合成セルで世界最高の太陽光変換効率 10.5%を実現」
(<https://www.tytlabs.co.jp/cms/news/news-20211208-2101.html>) (2025 年 3 月 11 日)
- 農林水産省「令和 5 年度遊休農地面積」
(<https://www.maff.go.jp/j/keiei/koukai/attach/pdf/yukyu-67.pdf>) (2025 年 4 月 2 日)
- ハリマ化成グループ「教養とセンスを磨かなければいい研究はできません 藤嶋昭」
(<https://www.harima.co.jp/hq/compass/140/>) (2025 年 3 月 12 日)
- 三菱ケミカル「人工光合成～CO₂を資源に変える夢の技術～」
(https://www.mcgc.com/kaiteki_solution_center/oursolution/01.html) (2025 年 3 月 14 日)
- 三菱ケミカル「人工光合成型化学原料製造事業化開発」が NEDO グリーンイノベーション基金事業で採択～人工光合成によるカーボンニュートラル実現に貢献～」(https://www.mcgc.com/news_mcc/2022/1213332_9302.html) (2025 年 3 月 17 日)

5. ホームページ(海外)

- Masdar「Our shareholders」(<https://masdar.ae/en/our-company/our-shareholders>) (2025 年 3 月 11 日)
- World Bank Group「Climate Change Knowledge Portal – United Arab Emirates」(<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/united-arab-emirates/climate-data-historical>) (2025 年 3 月 11 日)
- World Meteorological Organization「World Weather Information Service – Abu Dhabi」(<https://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=222>) (2025 年 3 月 11 日)

© 2025 株式会社みずほ銀行

本資料は情報提供のみを目的として作成されたものであり、取引の勧誘を目的としたものではありません。本資料は、弊行が信頼に足り且つ正確であると判断した情報に基づき作成されておりますが、弊行はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しては、貴社ご自身の判断にてなされますよう、また必要な場合は、弁護士、会計士、税理士等にご相談のうえお取扱い下さいますようお願い申し上げます。

本資料の一部または全部を、①複写、写真複写、あるいはその他如何なる手段において複製すること、②弊行の書面による許可なくして再配布することを禁じます。