

## 持続可能な大阪・関西万博開催にむけた行動計画(開催後報告書)案 脱炭素に係る取組について

### I. 背景

2015 年の気候変動枠組条約第 21 回締約国会議(COP21)において、全ての国が参加する公平かつ実効的な枠組となるパリ協定が採択された。パリ協定では、産業革命前からの平均気温上昇を 2°Cより十分低く保ち(2°C目標)、1.5°Cに抑えるよう努力することとなった。

我が国は、地球温暖化対策計画(2025 年 2 月閣議決定)において、2050 年ネット・ゼロの実現を目指すこととし、2035 年度、2040 年度に温室効果ガスを 2013 年度からそれぞれ 60%、73%削減することを目指すこととしている。第 7 次エネルギー基本計画(2025 年 2 月閣議決定)においては、以下のとおり 2050 年カーボンニュートラル実現に向けて、2040 年度に向けたエネルギー施策の方向性が掲げられている。

- ・ エネルギー安定供給と脱炭素を両立する観点から、再生可能エネルギーを主力電源として最大限導入するとともに、特定の電源や燃料源に過度に依存しないようバランスのとれた電源構成を目指していく。
- ・ エネルギー危機にも耐えうる強靭なエネルギー需給構造への転換を実現するべく、徹底した省エネルギー、製造業の燃料転換などを進めるとともに、再生可能エネルギー、原子力などエネルギー安全保障に寄与し、脱炭素効果の高い電源を最大限活用する。
- ・ エネルギー危機にも耐えうる需給構造への転換を進める観点で、徹底した省エネの重要性は不变。加えて、今後、2050 年に向けて排出削減対策を進めていく上では、電化や非化石転換が今まで以上に重要となる。
- ・ 水素等は、幅広い分野での活用が期待される、カーボンニュートラル実現に向けた鍵となるエネルギー。水素・アンモニア、CCUS 等を活用した火力の脱炭素化を進める。
- ・ CCUS は、電化や水素等を活用した非化石転換では脱炭素化が困難な分野においても脱炭素を実現できるため、エネルギー安定供給、経済成長、脱炭素の同時実現に不可欠。
- ・ CDR は、残余排出を相殺する手段として必要。

出典:第 7 次エネルギー基本計画(令和 7 年 2 月閣議決定)の概要より抜粋

GX2040 ビジョン(2025 年 2 月閣議決定)では、エネルギー安定供給、経済政策、脱炭素の同時実現を目指す GX 政策の方向性を示しており、目指す産業構造の実現のための取組、脱炭素電源等の活用を見据えた産業集積の加速など、GX 産業立地の推進等に加え、GX を加速させるためのエネルギーをはじめとする個別分野の取組を推進していくとしている。

これらのエネルギー施策の方向性を受けて、大阪・関西万博においては、二つの観点から取組を進めた。一つ目は 2025 年現在の時点で、先進性、経済性がありつつも採用可能な技術を用いてカーボンニュートラルのための取組を行うことである。二つ目は、日本国内の 2050 年の脱炭素社会を実現するために、2050 年を見据えて開発していくべき先進的な技術や仕組みをお見せし、体験いただくことである。これら二つの観点を意識して取組を実施した。

## II. カーボンニュートラルに向けた会場運営

大阪・関西万博の実施に当たっては、先進性・経済性があり、かつ採用可能な技術、仕組みを用いて、以下のとおりカーボンニュートラルを目指した取組を行った。

### (1) 温室効果ガス排出量の算定

大阪・関西万博開催に伴う GHG 排出量は、国際的に広く普及している算定手法である GHG プロトコルを参考し、これまで特段の対策等を実施しなかった場合(BAU)の予測値について算定・第三者による妥当性確認・公表を実施してきた。会期の終了に当たり、入手可能な実績値に基づいた GHG 排出量算定を実施した。表 2 において BAU と実績値ベースによる GHG 排出量算定結果の比較を記載する。

図 1 BAU での GHG 排出量算定結果の妥当性確認報告書

表1 GHG 排出量算定に係る前提条件

組織境界	万博の主催事業体である公益社団法人2025年日本国際博覧会協会に加えて参加国・参加企業等を含めて一体の主体とし、GHG プロトコルにおける経営支配力基準を参考して設定
活動境界	設定した組織境界における GHG の直接排出(Scope 1)及び間接排出(Scope 2、3)を対象とする。また、第 32 回オリンピック競技大会(2020／東京)・東京 2020 パラリンピック競技大会でのカーボンフットプリント算定対象を考慮して、設定した組織境界に含まれない万博への来場者の移動・宿泊・飲食及び公式ライセンス商品の買い物についても間接排出(Scope 3)として算定範囲に追加する
主たる評価対象の温室効果ガス	二酸化炭素(CO <sub>2</sub> )、ハイドロフルオロカーボン類(HFCs)
地理的境界	万博会場内及び会場外に位置する協会事務所、会場外駐車場
時間的境界	2019 年 1 月～2027 年 3 月 (協会発足から、当初の会場撤去工事の完了予定まで*) ※会期:2025 年 4 月 13 日～同年 10 月 13 日(184 日間)
Scope 1,2 の評価範囲	会場内:会期を対象 会場外:2019 年 1 月～2027 年 3 月* ※実績値の把握できない 2027 年 3 月までの将来期間については、実績から推計して計算
Scope 3 の評価範囲	2019 年 1 月～2027 年 3 月* ※実績値の把握できない 2027 年 3 月までの将来期間については、実績から推計して計算

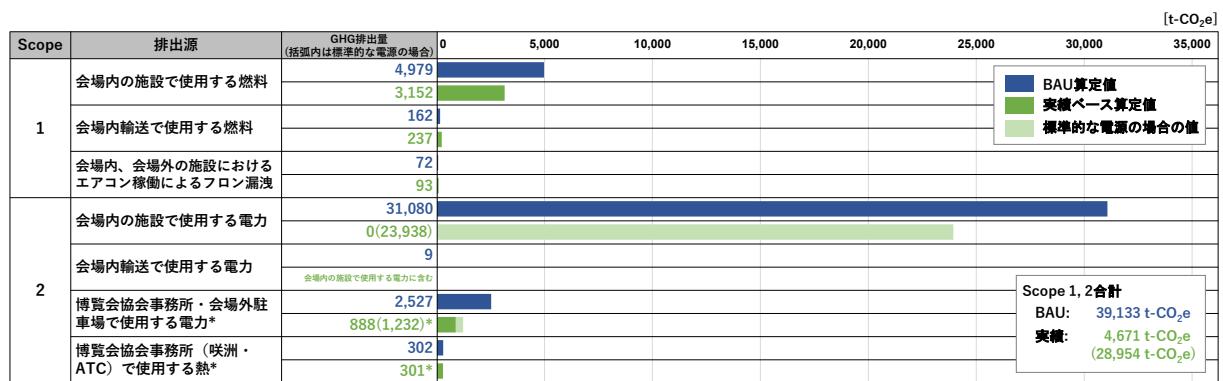
\*現時点では会場撤去工事の完了予定は延長されているが、会場撤去工事に係る GHG 排出は撤去完了までの推計値を含んでいる。

表2 GHG排出量算定結果

Scope・カテゴリ	排出源	GHG排出量(t-CO <sub>2</sub> e)	
		BAU	実績値ベース
Scope 1	会場内の施設で使用する燃料	4,979	3,152
	会場内輸送で使用する燃料	162	237
	会場内、会場外の施設におけるエアコン稼働によるフロン漏洩	72	93
Scope 2	会場内の施設で使用する電力	31,080	0 (23,938)
	会場内輸送で使用する電力	9	上記に含む
	博覧会協会事務所・会場外駐車場で使用する電力	2,527	888* (1,232)*
	博覧会協会事務所(咲洲・ATC)で消費する熱	302	301*
Scope 1, 2合計		39,133	4,671 (28,954)
Scope 3	カテゴリ1 運営(物品・サービスの購入)	113,974	119,357*
	カテゴリ2 建築・インフラ整備	361,700	357,274
	カテゴリ3 使用した燃料、電力	14,283	9,666*
	カテゴリ5 会期中に発生する廃棄物	2,749	1,365
	カテゴリ6 協会職員による出張	3,545	3,572*
	カテゴリ7 協会職員の通勤及びボランティア・関係者の会場への移動	2,533	14,743*
	カテゴリ12 建築・インフラ解体を含む建設廃棄物	167,343	166,861*
	その他 来場者の移動、宿泊、飲食(会場内)、買い物(会場内・公式ライセンス商品)	2,858,622	2,199,221
Scope 3合計		3,524,747	2,872,059
GHG排出量合計		3,563,880	2,876,730 (2,901,012)

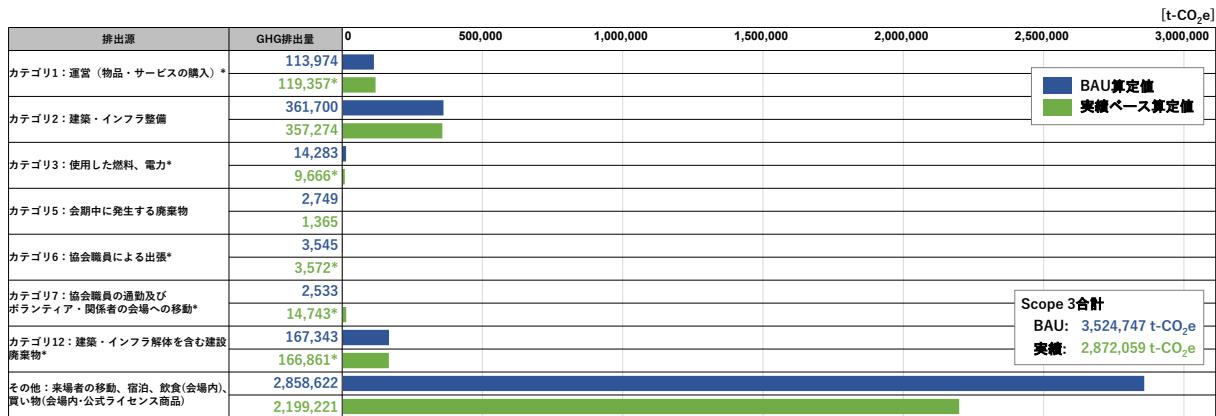
括弧内は標準的なGHG排出係数を適用した場合の値(ロケーション基準相当)

\*は将来の推計値を含む値



\* 将来の推計値を含む

図2 Scope 1, 2におけるBAU算定値と実績ベース算定値の比較



\* 将来の推計値を含む

図3 Scope 3におけるBAU算定値と実績ベース算定値の比較

GHG排出量実績値の算定に当たっては、会場内でのエネルギー使用量や関係者・来場者人数などの実測値を活動量として利用した。削減努力後の実績のScope 1、2排出量は約4,700t-CO<sub>2</sub>eとなり、BAU排出量と比較して約88%削減された。以下にScope 1、2の状況について述べるとともに、Scope 3のうちBAU排出量と比較して顕著な増減が見られたカテゴリに注目して考察を述べる。

#### a) Scope 1

会場内の各施設に供給する冷房用冷水の熱源機器で使用された都市ガスや、各施設で使用されたLPGガス等の燃焼に由来する排出が大半を占め、全体でBAU排出量を下回る結果となった。

まず、「会場内の施設で使用する燃料」について述べる。このうち、都市ガスに由来する排出は、2005年日本国際博覧会(愛・地球博)のユーティリティ使用量実績を参考に設定したものである。愛・地球博から20年が経過し、熱供給システムの高効率化が進んだことや、海水熱・帶水層蓄熱といった再生可能エネルギーの導入、エネルギー・マネジメントの導入により、都市ガスに由来する排出量はBAU排出量を下回った。一方、都市ガス以外の燃料に由来する排出は、調理等を目的としたLPG利用が想定を上回ったほか、各施設で独自に設置した内燃機関発電機の利用もあり、BAU排出量を上回った。

「会場内輸送で使用する燃料」については、当初の計画において想定された物流車両を上回る関係者車両の入場があったこと、また、「会場内、会場外の施設におけるエアコン稼働によるフロン漏洩」は、計画よりも冷水使用施設が減少し個別空調の利用が増えたことを受けて、両項目ともBAU排出量を上回る結果となった。

#### b) Scope 2

会期中に万博会場や会場外のパークアンドライド駐車場で利用する電力を非化石電力としたため、全体ではBAU排出量を大幅に下回ることとなった。実績値としては、非化石電源の調達が困難であった会場外の博覧会協会のオフィスでの電力及び同所での熱使用に由来するものが計上された。

また、調達する電力を一般的な電源由来と仮定した場合においても、実績値は BAU 排出量を下回る結果となった。本項目の BAU 排出量も Scope 1 の都市ガス由来の排出と同様、愛・地球博の実績を参考に設定したため、この結果は機器の高効率化やエネルギー・マネジメントによる省エネルギー化が達成されたことによるものと考えられる。

c) Scope 3 カテゴリ 2(建築・インフラ整備)

当初想定されていなかった追加的な工事など、インフラ整備に係る追加的な GHG 排出が生じた。その一方で、BAU 排出量算定において想定した一般的な鉄骨造ではなく、木造の施設が多く建築されたほか、少ない資材量で建築可能な膜構造の施設も多く見られた。これを受け建築に係る実績の GHG 排出量は、複雑な構造・意匠のパビリオン等が多く建築されつつも、BAU 排出量を下回る結果となり、カテゴリ 2 全体も BAU 排出量を下回った。

d) Scope 3 カテゴリ 7(協会職員の通勤及びボランティア・関係者の会場への移動)

本カテゴリの BAU 排出量算定にあたっては、博覧会協会職員、各パビリオン関係者、ボランティアの会場への通勤を想定し排出量の推計を実施していた。しかし、実際には関係者入場証(AD 証)を利用して入場する者はこれに限定されず、単発の催事の関係者や営業施設関係者等の入場もあったことから、関係者数は BAU の設定を大幅に上回り、GHG 排出量も上回った。

e) Scope 3 その他(来場者の移動、宿泊、飲食(会場内)、買い物(会場内・公式ライセンス商品))

来場者の活動に由来する GHG 排出は、特に移動に関連する排出が BAU 排出量を大幅に下回り、本カテゴリ全体でも BAU 排出量を下回る結果となった。来場者移動に係る排出が抑制された要因としては、出発地点によるものと交通手段分担率によるものの二点が考えられる。

まず、出発地点に関しては、来場者全体に占める海外来場者の割合・絶対数が BAU での設定を下回ったこと、また国内においては、地域別の来場者数は大阪府が大幅に伸び、関東からの来場者数も伸びたものの、その他の地域からの来場者数は軒並み BAU を下回った。

次に、交通手段分担率に関しては、海外来場者数が BAU の設定を下回り航空機移動が減少したほか、自家用車やシャトルバス、団体バスの分担率が BAU の設定を下回り、鉄道の分担率が BAU の設定を大幅に上回るなど、排出係数の低い交通手段の分担率が増加する傾向が確認された。

これら実際の来場者の出発地点や交通手段分担率が BAU と比べ GHG 排出量を低減させる方向に変化したほか、桜島駅発着路線を始めとするシャトルバスの EV 化や、会場最寄りの夢洲駅に乗り入れる Osaka Metro 中央線の運行電力の実質再エネ 100%化により、万博の GHG 排出で最も大きな割合を占める本項目の排出量も BAU 排出量を下回った。

GHG 排出抑制に貢献した取組の詳細は以降で記載する。なお、Scope 1、2 の残余排出量約 4,700t-CO<sub>2</sub>e については、これに相当するクリーンガス証書(調達仕様での義務付け)、大阪府のもずやん EXPO グリーン募金箱による J-クレジット(大阪府からの寄付)等を調達し、手当てるこ

とにより当初目標を達成できる見込みである。これらカーボンクレジット等の詳細については以降で触れる。

## (2) 温室効果ガス排出抑制のための取組

### 1) 徹底した省エネルギーの推進

#### ・各施設での冷房の効率化

会場の空調については、空調用の冷水を冷水プラントで集中的に製造し、導管を通して複数建物へ供給する地域空調システムを導入した。冷水プラントは会場内に分散配置し、中央監視設備・自動制御システムからの遠隔監視・操作により、熱源の台数制御、熱負荷予測、冷水の搬送動力低減など効率的な運用と見える化を行った。また、再生可能エネルギーとして、冬季に地下水を予冷して夏季に冷却水として利用する帯水層蓄熱設備や、海水を冷凍機用冷却水として利用する設備を設置した。

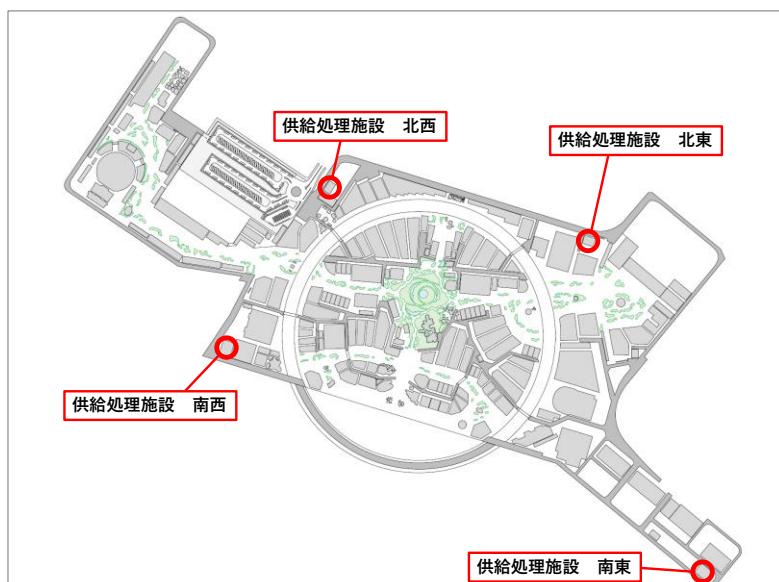


図4 空調用冷水の供給処理施設の位置

#### ・エネルギー使用量の見える化

各パビリオンにおいて、動力や照明の需要は演出内容等により異なるが、冷房については概ね延床面積に比例し、エネルギー需要のうち平均すると約4割が冷房需要であると推定されることから、冷房を中心各パビリオンに省エネの取組を促した。具体的には、希望するパビリオン等に対して、様々なセンサーを用いてAI技術と結合させ、空調の最適管理を行うシステムなどを提供し、冷房の効率化に努めた。11のパビリオン、協会施設でシステムを導入した。パビリオン等により導入した制御は異なるが、最大で3割程度の省エネを実現した。

会場内パビリオン及び各施設のエネルギー使用量データを可視化することにより、各施設使用者の省エネ意識向上を促すシステムを導入した。このシステムは日々のエネルギー使用状況だけではなく、他の施設とのエネルギー使用状況の比較や気象条件ごとのエネルギー使用状況といった日々の見直しを支援する情報も提供した。システムを積極的に活用したパビリオン等は一部に留まつたが、利用したパビリオン等からは、日々の使用エネルギーについて詳細なデータを把握できたことを評価

する声をいただいた。利用が伸びなかつた要因としては、万博では猛暑の中の屋外待機を経てパビリオン等に入館されるケースが多く、各施設管理者が来場者の快適性を重視した結果、通常のオフィス等と同様の省エネ化が困難となったことが考えられる。



図 5 エネルギー見える化システムの利用画面

#### ・各パビリオン等でのエネルギー等の削減対策

博覧会協会は、参加者に対して、パビリオンの設計に必要な計画及び管理に関する事項について記載したガイドラインを示した。この中で、できる限り省エネルギーを考慮した施設建設、環境負荷の小さい建材、設備、機器の調達、建築環境総合評価制度(CASBEE)の採用など、最大限、環境性能の高い取組が実施されるよう促した。

#### 2-4-2. エネルギー・地球環境

C-23 エネルギー消費性能の高い設備機器を採用しなければならない。トップランナー制度の該当機器については、省エネ基準を達成している機器を採用しなければならない。(ただし、廃棄物発生量の抑制のため、リース機器及びリユース機器を導入する場合は、この限りではない。)

G-14 温室効果ガスの排出実質ゼロ(カーボンニュートラル)を目指す取組として、パビリオンの設計においては、建物の省エネルギー化や再生可能エネルギーの導入を積極的に検討することが望ましい。なお、今後、策定予定の大坂・関西万博の持続可能性に関する基準については、改めて公表する。

G-15 建築外皮(屋根・外壁・窓・床)は、断熱性・遮熱性の高い工法・資材の採用や、庇等による日射遮蔽を行い、熱損失・熱取得の低減を図ることが望ましい。

G-16 自然通風や自然採光等の自然エネルギーを直接利用する手法を採用することが望ましい。

G-17 太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギー設備を導入することが望ましい。

G-18 用途別(空調、換気、証明、給湯、コンセント等)や機器別のエネルギー使用状況を把握できる EMS(エネルギー監視システム)を導入することが望ましい。エネルギーの使用状況を見える化し、効率的な設備運用によるエネルギー消費量削減に努めること。

G-19 オゾン層破壊係数及び、地球温暖化係数のより小さい資機材を採用することが望ましい。

G-20 低 NOx 仕様機器を採用することが望ましい。

(出典 パビリオンタイプ A(敷地渡し方式)の設計に係るガイドライン(民間パビリオン用)から抜粋)

## 2) 電化、脱炭素電源の活用

エネルギー源として可能なものについては電気として、排出係数がゼロの電力を使うことがカーボンニュートラル社会の絵姿であり、大阪・関西万博においてもこうした取組を進めた。

会場及び会場外駐車場(万博 P&R 駐車場)では、排出係数がゼロの電力を導入した。具体的には、会場には、再生可能エネルギー、原子力発電、水素発電の電力を、会場外駐車場(万博 P&R 駐車場)には再生可能エネルギーの電力を導入した。なお、調達した電源には会場内のメガソーラーによる太陽光発電を含む。協会が供給する電気の他にも、それぞれのパビリオン等で独自に太陽光発電設備を設置するなど、再生可能エネルギー利活用への配慮も見られた。

さらに、会場内・外周バスや廃棄物運搬車両等に EV を導入したほか、冷房施設においても電気による冷水プラントをガス冷水プラントより優先して稼働させるなど電化を進めた。一方で、調理や給湯器など電化が難しい用途においては LPG 利用があり、GHG 排出が生じた。

実質の GHG 排出削減が困難な会場内施設の冷房用の都市ガスは、オフセットされた「カーボンニュートラルガス」を調達した。オフセットには J-クレジットを使用し、e-メタンやバイオガスから環境価値を移転させたクリーンガス証書も一部使用した。また、会場内での LPG などのガス利用については、2024 年 5 月発行の「持続可能性に配慮した調達コード(第 3 版)」にて、「会場内において電気、都市ガス又は LPG を使用する場合には、カーボンニュートラルなものを使用しなければならない。」とした。博覧会協会及び参加者が調達するガスはこれに準じて調達し、カーボンクレジットが付与されたものを導入した。

会期中に会場内で使用した電気及びガスの使用量は表 3 のとおりである。会期前には最大需要電力が想定を上回ることを心配する声もあったが、十分な余裕をもって会期末を迎えた。万博という短期間のイベントでこれまでにないオリジナリティのある施設のエネルギー使用量を想定することは難しさがあり、このような結果に至ったと考えられる。

また、各施設の需要電力は十分に余裕があったが、各施設管理者が電力不足を懸念して供給される電力と並行して利用する常用発電機を設置したことや、当初想定していなかった追加的な設備への給電のために発電機を設置したことなどがあり、追加的な GHG 排出が生じたことは課題であった。

表3 会場内の電気ガス使用量

区分	使用量*	備考
電力(系統)	59,696,650kWh	太陽光:45.2%、水力:18.6%、原子力:35.8%、 水素:0.4%
発電機	440,971kWh	-
都市ガス	877,146m <sup>3</sup>	クレジット:531,977m <sup>3</sup> 相当、 クリーンガス証書: 345,169m <sup>3</sup> 相当
LPG	141,522m <sup>3</sup>	調達コードにてクレジット付与のものを指定

\*電力(系統)は2025年4月13日～10月13日、都市ガスは2025年4月1日～10月31日の使用量、発電機・LPGについては報告者により検針日が異なるため、会期を含むが、統一した期間はない。

### 3) 合成燃料、リニューアブルディーゼル等の導入

廃棄物等の場内物流については、EV車両4台を導入するとともに、その他の車両については、低燃費車の利用や、合成燃料、リニューアブルディーゼル等も利用した。

### 4) 交通需要対策

万博来場者の安全で円滑な移動、大阪・関西圏の社会経済活動を支える人流・物流への影響の最小化を実現するため、学識経験者や関係する行政機関、関係団体等からなる2025年日本国際博覧会来場者輸送対策協議会(以下、「協議会」という。)を2021年7月に設置し、来場者輸送の具体的な対策について協議、調整を行った。

2022年6月に「大阪・関西万博 来場者輸送基本方針」を策定し、同年10月には、基本方針を実現するための具体的な取組についてまとめた「大阪・関西万博 来場者輸送具体方針(アクションプラン)初版」を策定し、2024年12月に第5版(最終版)を公表した。アクションプランでは、アクセスルートの計画や交通マネジメントの取組内容等について記載している。

#### (アクションプランの概要)

- ・自家用車利用については、できるだけ抑制を図り、公共交通機関(鉄道・バス)の利用を呼びかける
- ・公共交通機関の利用が難しい等、やむを得ず自家用車を利用して来場する者に対しては、尼崎、堺の会場外駐車場(万博P&R駐車場)に誘導し、舞洲の会場外駐車場(万博P&R駐車場)については、シャトルバスの運行、物流交通に影響を与えない範囲の利用に抑制する
- ・桜島駅シャトルバス及び舞洲P&Rシャトルバスは、全車両EVバスで運行し、夢洲第2交通ターミナル、舞洲万博P&R駐車場等にEV充電器を設置し、EVバスの運行に必要となる継ぎ足し充電を実施する
- ・入場券の料金割引等によるチケットコントロール、会場への入場時間予約や駐車場入庫時間予約制度等により、来場日及び来場時間のピークを平準化
- ・鉄道の運行本数増便、道路における淀川左岸線(2期)の活用や交通容量拡大等の供給拡大策の実施
- ・需要平準化策、供給拡大策等を実施しても鉄道や道路で発生する万博交通による影響が解消されないことから、一般交通の抑制、分散、平準化を目的とした交通需要マネジメント(Transportation Demand Management, TDM)の実施を働きかける

桜島駅シャトルバス及び舞洲万博P&R駐車場シャトルバス等において、1日最大142台のEVバスで運行を行った。実施にあたっては、運行に必要な便数の確保や、周辺道路の交通量軽減の観

点から、充電のために回送する車両を減らすために、会場側の夢洲第2交通ターミナル及び舞洲万博P&R駐車場にEV充電器を設置した。また、システムによりそれぞれのEVバスを認証して交通ターミナルにおける充電設備の稼働状況及びEVバスへの充電量等を適切に把握・管理するとともに、各バス事業者と連携し運行管理に反映し、効率的な運用を行った。

路線バスタイプ以外の運行については、国内で生産された合成燃料の活用により脱炭素化に取り組んだ。

バス会社の協力を得て、会場整備工事に従事する工事関係者を対象にした通勤バスとしてEVバスを運行した。また、会場内で関係者が移動するための電動モビリティを導入した。

大阪市建設局と博覧会協会は、大阪・関西万博における自転車等の安全で円滑な来場方法を検討するため、「大阪・関西万博 自転車アクセス協議会」を開催した。同協議会では、自転車によるアクセス、来場者の交通安全対策について検討するとともに、周辺自治体と連携した機運醸成についても検討した。結果として、会期中の自転車利用台数の累計は約2万台、1日平均利用台数は約100台となった。

## 5) 会場建設でのバイオディーゼル等の活用

会場内の建設工事においては、多くの事業者で、廃食用油から製造したB100燃料(100%バイオディーゼル燃料)やRD(リニューアブルディーゼル)を、油圧ショベル、フォークリフト、発電機等の建設機械で使用する実証を行った。また、一部設備工事において溶断ガスとしてアセチレン代替の水素/エチレン混合ガスを用い、工事全般でのCO<sub>2</sub>排出削減、環境負荷の低減の取組を行った。

## 6) バリューチーンを見渡したGHGの削減

「持続可能性に配慮した調達コード」において、省エネルギーの推進、低炭素・脱炭素エネルギーの利用、温室効果ガスの削減に資する取組、バリューチーン全体を通した温室効果ガスの低減に寄与する原材料の利用を求め、サプライヤー、ライセンシー及びパビリオン運営主体等並びにそれらのサプライチェーンに対し、調達基準の遵守を求めた。多くのパビリオン等施設で調達基準に基づいた取組が実施され、木材の活用や、軽量で部材量を低減できる膜構造の採用、リースやレンタル等の採用など、GHG排出抑制に寄与する取組が実施された。

実質の削減が困難な航空機移動に係るGHG排出については、パビリオンを出展する参加者に対しては持続可能性に配慮した調達コードにおいて「調達物品等の航空機輸送にかかる温室効果ガスの排出量や、サプライヤー等関係者の航空機移動にかかる温室効果ガスの排出量をオフセットすることが推奨される。」と記載し、取組を促した。

## III. 2050年に向けた脱炭素社会の具体像の提示

大阪・関西万博では、エネルギー基本計画の記載も参考に、カーボンニュートラルが達成された社会の技術、仕組みのうち、開催期間や場所の制約も踏まえて、(1)水素発電等を利用した水素社会、(2)再生可能エネルギーの利用、(3)DAC、メタネーション等のCO<sub>2</sub>回収・有効利用技術、(4)省エネルギーを中心に、来場者にお見せし、体験いただいた。

## (1) 水素発電等を利用した水素社会

水素社会に向けた取組として、水素発電由来の電気を会場外から導入、水素サプライチェーンの構築、水素燃料電池船の運航等を行った。

### ・水素発電

会場で使用する電力は非化石電力とし、再生可能エネルギーや原子力のほか、会場外で実施された水素混焼発電実証で発電された電力を導入した。将来の電力供給を体感できるよう、バス停に設置したサイネージで受電電力量や電源構成について来場者にも分かりやすく発信した。



図 6 バス停サイネージでの電力構成の展示(開幕以降の実績を定期的に更新して表示)

### ・水素サプライチェーン

複数の民間パビリオンとも連携し、会場内で再生可能エネルギーを用いて製造した水素を貯蔵し、導管経由で他パビリオンに供給し燃料電池で使用するといった水素サプライチェーンを構築し、その取組が分かるよう会場内に展示した。



図 7 水素供給パイプラインと供給先の水素燃料電池

### ・水素燃料電池船

水素を利用した水素燃料電池船を、会場アクセスの手段の一つとして運行した。水素燃料電池船は、水素と酸素を使用する燃料電池システムを動力とするため、運航時の CO<sub>2</sub> 排出がないことを示したほか、エンジン駆動の振動や燃料のにおいがない快適な乗り心地を乗客に体験いただいた。



提供:岩谷産業株式会社

図 8 水素燃料電池船

#### ・その他

会場外で、2MW級ガスタービンでクリーンなアンモニアを利用した実証試験も実施され、実証で生じた脱炭素価値を寄付いただいた。

#### (2) 再生可能エネルギーの利用

再生可能エネルギーの利用として、ペロブスカイト太陽光発電システムの実装や展示、会場内空調において帯水層蓄熱及び海水冷熱を利用する設備の導入等を実施した。

#### ・ペロブスカイト太陽光発電システム

西ゲートに隣接する夢洲第1交通ターミナルのバスシェルターにフィルム型ペロブスカイト太陽電池を、総延長約 250 メートルと世界最大級の規模で設置し、会期を通じて太陽電池の発電のみでバスシェルタ一直下の照明に給電した。フィルム型ペロブスカイト太陽電池は、軽くて曲げができる素材であるため、従来の太陽電池では設置できなかった場所にも取り付けることができ、バスシェルターの電灯に使用する電気を貯えることを来場者に実感いただいた。現在普及している一般的な太陽電池相当の発電効率と、会期を通じた屋外使用における耐久性が確認された。なお、当該太陽電池付バスシェルターは閉幕後香川県へ移設され、実証が継続される予定である。

フィルム型ペロブスカイト太陽電池については、バスシェルターの他にトレーラーハウスやパビリオンの天井、スマートポールなど、会場内の様々な場所で展示・利用された。また、住宅ガラスの代替として活用が期待されるガラス型ペロブスカイト太陽電池も、パビリオンで展示された。これに加えて、有機薄膜太陽電池を活用したベンチや展示なども見られ、次世代太陽電池が多様な形で展示・利用された。



図9 夢洲第1交通ターミナルに設置されたペロブスカイト太陽電池付バスシェルター

・帶水層蓄熱及び海水冷熱

会場内の空調については、パビリオンなどの建屋に対し空調用の冷水を供給する中央熱源方式を採用したが、この冷凍機の一部に再生可能エネルギーとして、冬季に地下水を予冷して夏季に冷却水として利用する帶水層蓄熱設備や、海水を冷凍機用冷却水として利用する設備を設置した。これらの機器は、冷凍機の効率的な冷却に寄与し、省エネルギー及びGHG排出削減に貢献した。

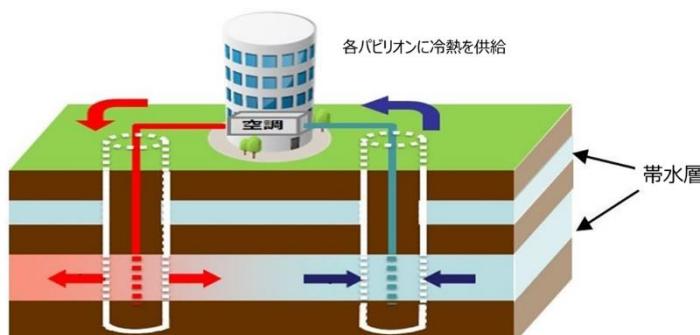


図10 帯水層蓄熱のイメージ

(大阪市環境局、在大阪オランダ王国総領事館資料より抜粋)



図11 会場内に実装された帯水層蓄熱システムの熱源井

### (3) DAC、メタネーション等の CO<sub>2</sub>回収・有効利用技術

カーボンリサイクル技術として、DAC(Direct Air Capture)、メタネーション、CO<sub>2</sub>回収装置、合成燃料、CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの利用促進等の取組を実施した。

#### ・DAC、メタネーション、CO<sub>2</sub>回収装置”カーボンリサイクルファクトリー”

会場南東の管理エリア内に”カーボンリサイクルファクトリー”を設置し、その内で DAC、メタネーション、CO<sub>2</sub>回収装置の実証を行い、来場者向けの見学ツアーを実施した。

DAC は大気中から CO<sub>2</sub> を直接回収する技術であり、約 400ppm と低濃度の CO<sub>2</sub> を吸着する技術、また可能な限り低いエネルギーで脱着する技術の双方が求められる。大気中の CO<sub>2</sub> 濃度を直接的に引き下げられることから、カーボンネガティブに必要な技術とされる。会場内に DAC を設置しベンチスケールの実証を行った。回収した CO<sub>2</sub> はメタネーションの原料として別設備に供給した。

また、エネルギー源の脱炭素化の一つとしてメタネーションや水素利用等、供給側のイノベーションによる「ガス自体の脱炭素化」が必要である。このため、会場内から回収した生ごみを発酵させて製造したバイオガスに含まれる CO<sub>2</sub> 及び DAC や CO<sub>2</sub>回収装置で回収された CO<sub>2</sub> と再生可能エネルギーから作った水素を化合し(メタネーション)合成メタン(e-メタン)を製造した。合成メタン(e-メタン)は導管を通じて輸送し、迎賓館厨房での調理や熱供給設備に用いた。

工場のボイラー等から排出される高温・低圧・低濃度の CO<sub>2</sub> を効率よく分離回収する技術も開発が進んでいる。会場内では、ボイラーの燃焼排気ガスから CO<sub>2</sub> の回収実証を行い、回収した CO<sub>2</sub> は、冷却用のドライアイスとして活用したほか、メタネーションの原料として別設備に供給した。

その他、膜を活用した DAC や冷熱を利用した DAC のほか CO<sub>2</sub>吸收路盤材などカーボンリサイクルに関する様々な技術の展示を行った。

立地や実証施設の制約からカーボンリサイクルファクトリーの来館者は 26,870 名と多くなかつたが、見学ツアーは最新の技術について実機を見て体験し環境についての意識を高める学習の場として好評だった。

具体的には、以下のようなご意見があった。

- ・未来志向の取組について、実際のプラントを見学することができ、貴重な体験になった。
- ・子どもに地球環境の未来のかたちを見せることができ、貴重な勉強の機会となった。
- ・地球温暖化対策に取り組むシステムを実際に見ることができて、自分自身の意識もかなり変わった。
- ・スタッフの方も皆さん親切で説明も分かりやすく、開発関係者の方に直接質問ができたのもよかったです。

一方で、見学ツアー運営に関して以下のようなご意見もあった。

- ・見学ツアーの集合場所のバス乗り場がわかりづらい。
- ・予約がとりにくい。予約可能日や時間帯を増やしてほしい。

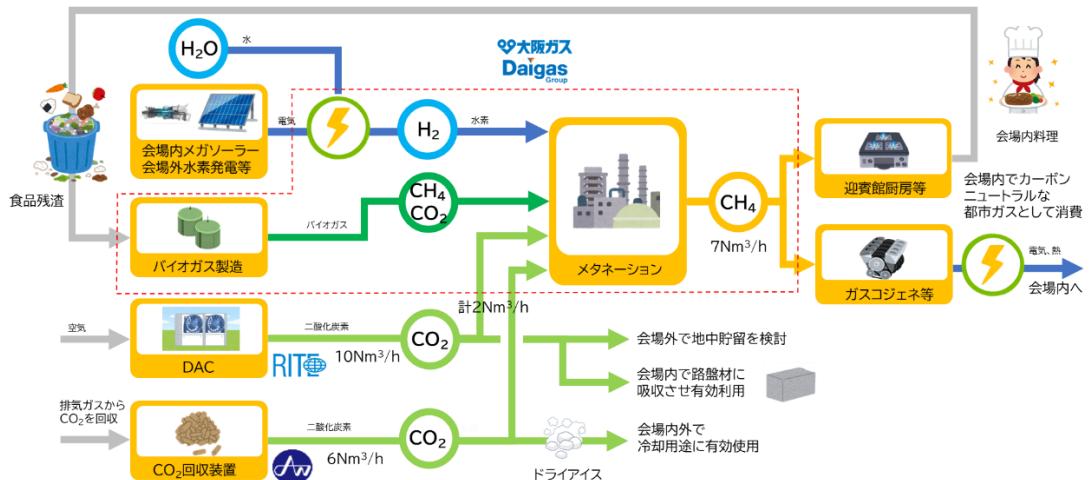


図 12 カーボンリサイクルファクトリーの概要



図 13 未来の森 外観及び見学ツアーの様子



図 14 化けるLABO 外観及び見学ツアーの様子



図 15 地球の恵みステーション CO2回収装置及び見学ツアーの様子

#### ・合成燃料

CO<sub>2</sub>とグリーン水素から製造した合成燃料を、会場内で使用する車両8台及び駅シャトルバス1台で利用した。多くの自動車メーカーに賛同いただき、合成燃料を用いた走行実証を実施した。実証結果については、将来、合成燃料が社会に普及していく形態を考慮し、低濃度から幅広い濃度で検証を行い、シャトルバスにおいては合成燃料濃度100%での運行を達成することができた。

また、会場内で使用する物流車両1台にリニューアブルディーゼルを利用した。



図16 合成燃料の車両走行実証に用いた車両

#### ・CO<sub>2</sub>吸収型建材

会場内施設の躯体や舗装用インターロッキングブロック等に利用し、標準化に向けて耐久性等の評価を行った。



図17 CO<sub>2</sub>吸収型建材を利用した建築物(サステナドーム)

#### (4) 省エネルギー

##### ・エネルギー管理

各パビリオンにおいて、動力や照明の需要は演出内容等により異なるが、冷房については概ね面積に比例し、エネルギー需要のうち平均すると約4割が冷房需要であると推定されることから、冷房を中心に各パビリオンに省エネの取組を促した。具体的には、希望するパビリオン等に対して、様々なセンサーを用いてAI技術と結合させて、空調の最適管理を行うシステムなどを提供し、冷房の最適化に努めた。11のパビリオン、協会施設でシステムを導入した。実施した取組は施設により異なるが、数パーセントから3割程度の省エネを実現した。表4において、各パビリオン等で実施した制御手法とそのエネルギー削減率の結果について取りまとめた。

なお、システムを導入した施設では、エネルギー使用量に占める空調エネルギーの割合は、7割程度と、一般的な施設に比べて高かったことから、空調でのエネルギー管理は特に有効であった。

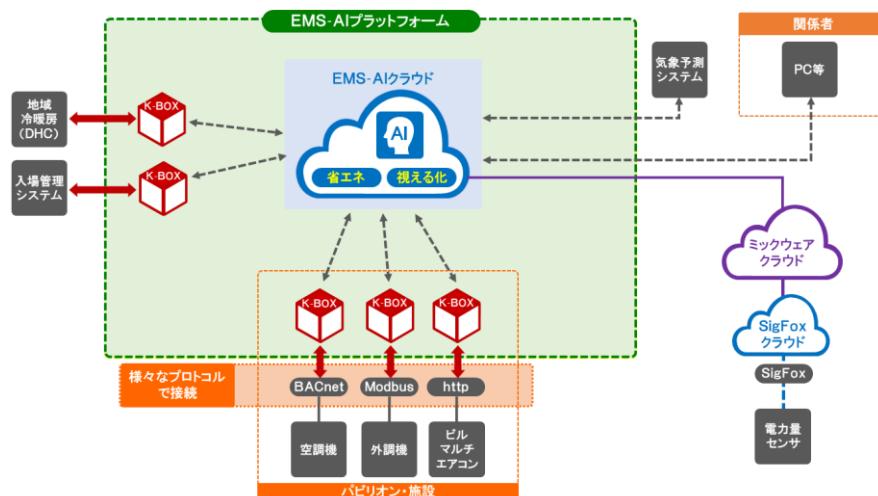


図18 システムイメージ図

表4 各パビリオン等で実施した制御手法とそのエネルギー削減率の結果

制御手法		パビリオン・施設										制御手法 削減率 平均	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
外気冷房制御	外気の取入れが有効と判断した場合、積極的に外気を取り入れる									制御停止			
風量最適化制御	室内温度の推移を予測し、FCUの風量を最適化する					3.3%						3.3%	
外気量制御 (CO2)	CO2濃度の推移を予測し、換気機器の運転を抑制する			制御不可	33.8%	7.1%		23%			複合	12.0%	
室外機容量制御	効率の良い負荷容量で運転できるよう室外機容量を制限しながら運転する		15.0%									15.0%	
室内機インターバル制御	効率の良い負荷容量で運転できるよう室内機の運転モードを変更する			制御停止							複合	制御不可	
在館人数制御	外気温湿度、室内温度と空調設定温度、室外機容量制御指令値、人流量情報をもとに学習を行い、10分後の室内温度を予測する		制御停止										
起動時間自動設定	立ち上がりに要する時間を学習し、起動時刻を自動設定する										複合		
空調機給気温度設定変更	外気温度、室内温度と給気設定温度、電力量を基に学習を行い、最適となる給気温度を決定する							18.0%	24.0%			21.0%	
フィードフォワード制御	室温による風量制御並びにCO2濃度による外気量制御に10分後予測値を利用し、制御の安定化と省エネを図る	複合											
室内設定温度変更	「エエきも値」に基づき室内設定温度を緩和する	複合											
パビリオン・施設ごとの削減率		5.4%	15.0%		33.8%	7.1%	3.3%	23.0%	18.0%	24.0%	6.2%	12.0%	14.8%

#### ・会場内輸送におけるEVバスの導入

会場内の来場者向けバスについて、EV(電気)バスを導入し、運行管理システム(FMS:Fleet Management System)と一体となったエネルギー・マネジメントシステム(EMS:Energy Management System)を活用した運行と充電を両立する技術実証を実施した。さらに、自動運転レベル4相当での運行や走行中給電などの新技術も融合させ、世界でも類を見ない大規模な実証を行うことで、次世代のモビリティとその進化を示した。

## IV. 機運醸成・行動変容の促進などの取組

脱炭素社会の実現に向けては、会場内での博覧会協会、参加者の取組はもとより、万博をきっかけとして行動変容を促していくことが重要であることから、シンポジウムの開催や一人一人に脱炭素行動を促すアプリの運用、また持続可能な取り組みに関する表彰を実施した。

### (1) 脱炭素・資源循環シンポジウムの開催

万博開幕前の2025年1月に、博覧会協会の方針や具体的な取組についての説明のほか、オランダとオーストラリアの取組についての発表、日本国内の2050年の脱炭素社会の実現のために重要な水素についての講演とパネルディスカッションを行うシンポジウムを開催した。持続可能性に関する様々な取組の発表とともに活発な議論が行われた。



図 19 脱炭素・資源循環シンポジウムの様子

## (2) 将来に向けた行動変容の取組

万博会期前から会場外で、企業や学校、自治体などの団体を通して、個人に呼びかけ、脱炭素社会に向けたレガシーとなるよう“万博をきっかけ”とした様々な CO<sub>2</sub> 削減努力を一体となって行い、将来の排出削減に貢献する「EXPO グリーンチャレンジ」を展開した。取組の核となる「チャレンジメニュー」は個人を対象とし、「EXPO グリーンチャレンジアプリ」で 9 つの脱炭素行動を提示するとともに、行動による CO<sub>2</sub> 削減量を可視化した。削減量に応じてポイントを付与し、商品が当たる抽選に参加できる仕組みとし、一人一人の行動変容を促した。このアプリは 2024 年 3 月にリリースし、閉幕まで運用した。最終的な登録者数は 3 万人を超え、約 642t-CO<sub>2</sub>e の削減に相当する取組が行われた。なお、このアプリの運用は協賛者において、名称を変えて継続されている。

アプリの登録者数については、当初は 20 万人程度の登録を目指していたが未達となった。登録者数をさらに伸ばすためには、万博関連商品の提供などによりインセンティブを充実させることや、会社単位で取り組みみたいというニーズに応えるためのアプリ改修などが効果的だったのではないかと考えられる。

表 5 EXPO グリーンチャレンジアプリの取組結果

登録者数	30,875 人
CO <sub>2</sub> 削減量	642t-CO <sub>2</sub> e

また、事業者の取組による CO<sub>2</sub> 削減データを大阪府がとりまとめてクレジット化し、万博に寄付いただくことで、大阪・関西万博の脱炭素化に貢献する取組である「もずやん EXPO グリーン募金箱」を大阪府と協力して進めており、クレジット化の手続きが進められている。

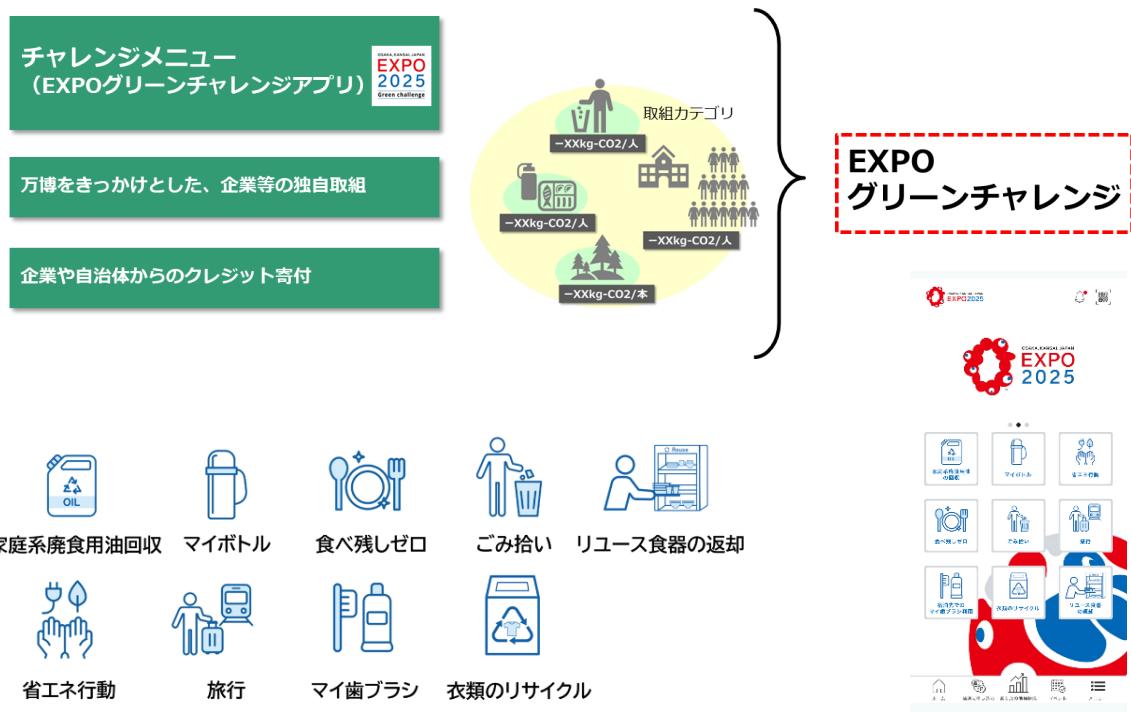


図 20 EXPO グリーンチャレンジのイメージ

### (3) 持続可能な取り組みに関する表彰

大阪・関西万博を通じて実施された、持続可能性に関する先進的な取組について、参加者のさらなる取組を促すとともに、その成果がレガシーとして会期後も社会に広がっていくことを目的として、「持続可能な取り組みに関する表彰」を実施した。脱炭素、資源循環、調達の 3 つの部門を設け、脱炭素部門は、会場内での優れた脱炭素に関する取組を対象とし、公式参加者以外の企業や団体等 5 者について表彰を行った。また、公式参加者については、博覧会国際事務局が実施した公式参加者褒賞の持続可能性部門として、4 か国が表彰された。



図 21 「持続可能な取り組みに関する表彰」表彰式

## V. 振り返り、今後の展望

- 多くの参加者が脱炭素について高い意識を持って取り組まれ、パビリオンの設計・建設で CO<sub>2</sub> 排出削減への様々な配慮がなされていた。また、展示でも持続可能性に関するものが多く見られた。
- 多くの参加者が独自にパビリオン・施設を作り運用するという万博の特性から、脱炭素の取組を効果的に実現するには、設計・調達等の早期の計画段階から指針を示し順守を求めたことが有効であった。一方で、LPG の使用や運用段階での省エネの取組など個々に判断を委ねた部分については、参加者ごとに温度差もあり想定した効果を得られないところもあった。脱炭素化の徹底に向けては、早い段階からステークホルダーと認識を共有した上で共通ルールや要件を明確化することが重要と考えられる。
- カーボンリサイクルファクトリーでは、多くの来場者から、環境・脱炭素について勉強になった、最新の技術にふれることができてよかったです等高い評価をいただき、脱炭素に関する学びの機会として非常に有用であった。特に、映像を駆使した展示が多い中で、カーボンリサイクルファクトリーのような実機を直接見る機会は非常に有用であり、来場者の満足度も非常に高かった。
- 脱炭素関連の先進技術を提供いただいた事業者からは、万博での展示を通じて自治体・事業者・海外からの問い合わせが増えたという声があった。万博のような国際イベントにおける脱炭素分野では、B to C の啓発・波及効果だけでなく国際的な展開を含む B to B のマッチング・プロモーション効果も大いに期待される。
- 脱炭素に係る計画の策定段階から万博開催までに、カーボンクレジットの質や活用可能範囲に対する社会的な認識が変わるなど、脱炭素を取り巻く社会状況に変化が見られた。これを受け、カーボンクレジット等の調達にあたっては、その質を担保することに加えて、可能な限り万博で発生する排出に近い分野で生成された環境価値に由来するものであることに留意した。長期にわたる事業においては、社会状況の変化に対応した取組の実施が必要であると考えられる。