

PW 西工区における 3R 推進によるアップフロントカーボン削減効果分析

Analysis of Upfront Carbon reduction effects by 3R technology in the Pavilion-World West Construction Area

株式会社竹中工務店

Takenaka, CO.

望月 政成

Masanari MOCHIZUKI

キーワード：脱炭素(Decarbonization)、アップフロントカーボン(Upfront Carbon)、3R(3R)、資源循環(Resource Recycling)、持続可能性 (Sustainability)

1. はじめに

2025 年日本国際博覧会（以下、大阪・関西万博）は「いのち輝く未来社会のデザイン」1)をテーマに持続可能な万博運営を目指して同年 4 月 13 日から開幕した。本計画は COVID-19 を乗り越えた先の新たな時代に向けた国家プロジェクトであるとともに、このテーマに基づいて行われる持続可能性に配慮した活動は SDGs の目標と合致するものとして、積極的に 3R（Reduce, Reuse, Recycle）や脱炭素を推進する技術の採用が推奨されている。

当社は PW 西工区の実施設計者及び施工者としてこれらの技術を積極的に導入し、資源の有効利用を図った。本稿ではその効果検証として、日本建築学会が提供する LCA ツール及び LCA 原単位データベースを用いて電気設備・機械設備工事におけるアップフロントカーボンの削減効果について報告する。

2. プロジェクト概要

2.1 当社受注施設

会場内は大きく 4 つの工区に分割され、当社が工区統括管理を行ったのは PW 西工区（敷地面積 約 20.4ha）である。その中で実施設計・施工を請け負った 23 施設の概要及び採用した 3R・脱炭素推進技術の一覧を表 1 に示す。

表 1 請負施設一覧及び採用した 3R・脱炭素推進技術

○：採用した技術

					3R・脱炭素推進技術							◎：採用した技術
No	施設種別	施設概要	名称	規模 延床面積	電気設備			空調設備			衛生設備	
					リースキュービクル	リース照明器具	アルミケーブル	リース空調機	ダンボールダクト	アルミ冷媒配管	水通高性能 ポリエチレン管	リース衛生器具
1	パビリオン	公式参加者及び非公式参加者が 出展を行う施設 工事種別が異なるタイプ A・B・C に大別される	B2+B27/パビリオン	地上1階 1,803.6㎡	○				○			
2			B28+B29+B30/パビリオン	地上1階 907.6㎡					○			
3			C2/パビリオン	地上1階 1,862.2㎡	○			○	○			
4			C3/パビリオン	地上1階 3,129.8㎡	○			○	○			
5			C5+C6+C7/パビリオン	地上1階 3,076.0㎡	○			○	○		○	
6			A18/パビリオン	地上1階 953.3㎡	○				○			
7			A19/パビリオン	地上1階 952.2㎡	○				○			
8			A23/パビリオン	地上1階 900.3㎡	○				○			
9			A43/パビリオン	地上1階 477.4㎡					○			
10			A45/パビリオン	地上1階 534.0㎡					○			
11	事務所棟	パビリオンに出展する参加者の バックオフィス機能を有する施設	事務所棟2	地上2階 904.8㎡		○		○				○
12			事務所棟3	地上2階 538.4㎡		○		○				○
13	営業施設	来場者が利用する飲食店舗と 公式記念ショップを核とした物販店舗施設	営業施設(WW西)	地上2階 2,731.1㎡			○		○		○	
14			営業施設(静けさの森 南)	地上1階 699.2㎡			○				○	
15	メッセ	屋内型展示場施設 (3,000人収容) メッセ用管理センター	EXPOメッセ	地上1階 4,823.1㎡	○		○		○		○	
16			メッセ係事管理センター	地上1階 196.7㎡			○				○	
17	サービス施設	会場運営管理施設	サービス施設(南西)	地上1階 3,591.2㎡	○					○		
18	Our Lounge	ボランティア等の会場スタッフが 利用可能な休憩所	Our Lounge(北西)	地上1階 139.5㎡		○		○				○
19			Our Lounge(南西)	地上1階 139.5㎡		○		○			○	○
20	供給処理施設	会場内各施設へのインフラ (空調冷水・上水等)の供給施設	供給処理施設(北西)	地上2階 2,192.0㎡	○							
21			供給処理施設(南西)	地上1階 987.6㎡					○			
22	停留所	会場内を運行するトラム兼降用停留所	トラム停留所	地上1階 35.9㎡								
23	守衛所	警備員が待機する守衛所	警備ボックス	地上1階 38.9㎡								

2.2 施設整備の基本方針

日本国際博覧会協会が作成した持続可能な大阪・関西万博開催にむけた方針¹⁾では 5 つの大目標のひとつとして「Planet（生態系、環境）：国際的合意（パリ協定、大阪ブルー・オーシャン・ビジョン）

の実現に寄与する会場整備・運営を目指す」と掲げられ、目指すべき活動の方向性と積極的な 3R 技術の活用が求められている。また、当社は「サーキュラーデザインビルド®」をコンセプトに従来のスクラップ&ビルドから「つくる」・「つかう」・「つなぐ」をキーワードにリユース・リサイクル・アップサイクルなど、廃棄物を削減する取組みを推進している²⁾。

これらを基に実施設計者及び施工者として所要の性能や品質を確保した上で、大阪・関西万博の開催期間は半年間で恒久的な建物と比較すると短期間であることを踏まえ、3R 推進と脱炭素に貢献する施設を目指して実施設計・施工を進めた。今回採用した 3R・脱炭素推進技術の内容を次章に示す。

3. 3R・脱炭素推進技術

3.1 リースキュービクル

当社請負施設のうち高压受電する全 13 施設でリースキュービクルを採用した。各施設に設置したリースキュービクルの盤面数を表 2 に示す。一般的な建物では新品（以下、バージン材）の受変電設備を要求性能に合わせて仕様設定するが、リース商材は一部の仕様が規格品として決まっているため変圧器可とう導体や除塩フィルターの取り付けが出来ないといった制約に注意が必要である。一方、受注生産品でないため調達・工期の短縮を図ることが可能である。

表 2 リースキュービクル面数

施設名	受電・VCT盤	変圧器盤	合計
B2+B27パビリオン	1面	2面	3面
C2パビリオン	1面	3面	4面
C3パビリオン	1面	3面	4面
C5+C6+C7パビリオン	1面	4面	5面
A18パビリオン	1面	2面	3面
A19パビリオン	1面	2面	3面
A23パビリオン	1面	2面	3面
営業施設（WW西）	1面	3面	4面
営業施設（静けさの森 南）	1面	2面	3面
EXPOメッセ	1面	11面	12面
サービス施設（南西）	1面	4面	5面
供給処理施設（北西）	1面	4面	5面
供給処理施設（南西）	1面	2面	3面
合計			57面

3.2 リース照明器具

採用したリース照明器具の仕様及び設置個数を表 3 に示す。今回は一般照明に加え、防災照明として非常用照明器具や誘導灯もリース商材を多く採用した。

表 3 リース照明器具仕様・台数

器具型式	器具光束	色温度	総設置個数
LEDベースライト 直付型	6,900lm	5,000K	236個
LEDベースライト 直付型	5,200lm	5,000K	64個
LEDウォールライト	990lm	3,000K	5個
LEDダウンライト	590lm	5,000K	25個
LED非常用照明 直付型	-	-	37個
LED避難口誘導灯	-	-	10個
LED通路誘導灯	-	-	2個
合計			379個

3.3 アルミケーブル

一部施設の幹線に使用するケーブルの導体にアルミを採用した。アルミは電気伝導率が低く銅と同じ電流量を流すためには公称断面積を 1～2 サイズアップする必要があるが、同一サイズ比で約 50%の軽量化が可能で施工性が向上する。また、アルミケーブルに使用するアルミニウム合金は純度が高い 1000 系（純 Al 系）に分類され、会期終了後には様々な製品へのリサイクルが期待できる。

3.4 リース空調機

採用したリース空調機の仕様及び設置台数を表 4 に示す。効率が高いパッケージ空調機による建物使用段階の CO₂ 排出量（オペレーションカーボン）の削減に加え、リース商材の採用によってアップフロントカーボン削減に貢献するため積極的に採用した。

表 4 リース空調機仕様・台数

方式	室内機	冷房能力	総設置台数
パッケージユニット方式	壁掛型	2.8kW	15台
パッケージユニット方式	壁掛型	3.6kW	25台
パッケージユニット方式	天吊型	7.1kW	2台
パッケージユニット方式	天吊型	8.0kW	22台
パッケージユニット方式	天吊型	10.0kW	1台
パッケージユニット方式	床置型	14.0kW	4台
パッケージユニット方式	床置型	20.0kW	2台
合計			71台

3.5 ダンボールダクト

従来のダンボールダクトは当社の既往実験によりダクト周長 3200mm まで使用可能だったが、使用範囲の拡大を目指して実証実験を重ね、最大周長 4300mm まで大型化することが可能となった。実証実験では試験体の大型ダンボールダクトに送風機で圧力をかけ、接合部からの漏気量や膨張・収縮による歪み量等を測定し、品質的に問題ないことを確認した。また、ダンボールダクトは折り畳んだ状態で輸送することによりトラックによる運搬回数を削減できることに加え、材料の軽量化により施工性が向上する。

3.6 アルミ冷媒配管

一部施設の空調冷媒配管にアルミを採用した。アルミ冷媒配管は銅冷媒配管に比べて軽量で施工性が良く、建築業界における再生アルミの使用量増加によってアップフロントカーボンの削減が期待できる他、飲料缶胴と同じ 3000 系（Al-Mn 系）アルミニウム合金に分類され高いリサイクル率が期待できる。

3.7 水道用高性能ポリエチレン管

空調用冷水配管を高性能ポリエチレン管に変更することで従来の炭素鋼鋼管に比べて製造段階におけるアップフロントカーボンの削減が期待でき、炭素鋼鋼管に比べて軽量であることから施工性が向上するため採用した。

3.8 リース衛生器具

採用したリース衛生器具の仕様及び設置個数を表 5 に示す。衛生器具に使用される陶器・セラミックス製品はその製造過程において大量の CO₂ を排出する。PW 西工区では合計 92 個の衛生器具を計画し、これらをリース商材とすることで陶器・セラミックス製品の製造段階におけるアップフロントカーボンの削減ができるため採用した。

表 5 リース衛生器具仕様・台数

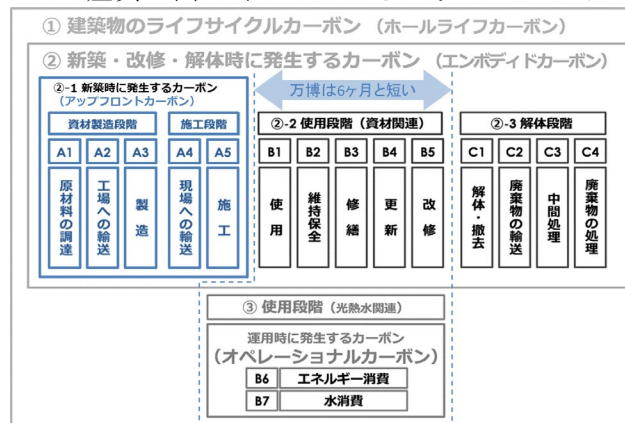
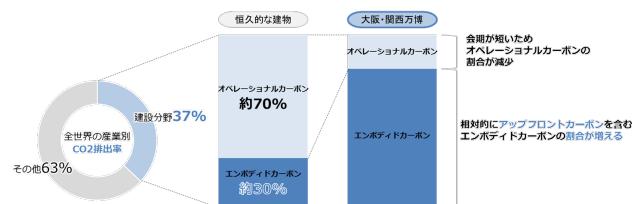
器具型式	MWC	WWC	多目的WC	総設置個数
洋風大便器	12個	20個	-	32個
小便器	14個	-	-	14個
洗面器	12個	22個	-	34個
車いす対応便器	-	-	4個	4個
車いす対応手洗器	-	-	4個	4個
オストメイトパック	-	-	4個	4個
合計				92個

4. アップフロントカーボン削減効果

4.1 計算方法・計算条件

前章に示した 3R・脱炭素推進技術の効果検証としてアップフロントカーボンの削減量を計算する。前段として図 1 にホールライフカーボンの枠組みを示す。これまでの建設業界はオペレーションカーボンを削減することに注力してきたが、2050 年カーボンニュートラルの実現に向け資材製造・施工・解体段階を含めたホールライフカーボンの削減に向けた議論が急速に進んでいる。

また、図 2 に示すように国際エネルギー機関（International Energy Agency, IEA）によると全産業のうち建設分野由来の CO₂ 発生量は 37%を占め、内約 30%がアップフロントカーボンを含むエンボディドカーボンである。大阪・関西万博は恒久的な建物と比べ建物寿命が短く、3R・脱炭素推進技術によるオペレーションカーボンの差異が出にくいことからアップフロントカーボンに着目した。

図 1 ホールライフカーボンの枠組み³⁾図 2 建設分野における CO₂ 排出量内訳⁴⁾

具体的なアップフロントカーボン削減量を計算するため、図 3 に示すように 3R・脱炭素推進技術を計算方法ごとに 2 つのグループに分類した。リースキュービクルやリース空調機などのリース商材は LCA ツールに必要項目を入力することで簡易に算出できる。一方、アルミケーブルやダンボールダクトのように低炭素材料への変更によるアップフロントカーボン削減量の算出には、その材料単位で資材製造段階の CO₂ 発生量を比較する必要があるため、LCA ツールのバックグラウンドデータである LCA 原単位データベースを用いた。また、アルミ冷媒配管に関しては先行研究⁵⁾にて使用されている単位長さ当たりの CO₂ 排出量に関するデータを用いた。



図3 アップフロントカーボン計算方法による分類

これらの 3R・脱炭素推進技術ごとにアップフロントカーボンのうち資材製造段階・現場への輸送・施工のどの段階で脱炭素に貢献するかを表6にまとめた。リース商材はバージン材と比較して機器や資材を新たに製造しないため資材製造段階の効果が大きく、機器そのものの重量や寸法は大きく変わらないため輸送段階や施工段階における CO₂ 排出量は同等と評価することができる。一方、アルミケーブル・ダンボールダクト・水道用高性能ポリエチレン管は軽量化や施工方法の簡素化により歩掛を減らすことで施工段階の脱炭素にも寄与する。中でもダンボールダクトは折り畳んだ状態で現場搬入できることから輸送段階も含めたアップフロントカーボンの全フェーズで脱炭素に貢献できる技術として積極的に採用した。

表6 アップフロントカーボンの各段階における 3R・脱炭素推進技術の貢献フェーズ

3R・脱炭素推進技術	アップフロントカーボン削減効果		
	資材製造段階	施工段階	
		現場への輸送	施工
リースキュービクル	○		
リース照明器具	○		
アルミケーブル	○		○
リース空調機	○		
ダンボールダクト	○	○	○
アルミ冷媒配管	○		○
水道用高性能ポリエチレン管	○		○
リース衛生器具	○		

4.2 計算結果

図4にアップフロントカーボン削減量とその構成比を示す。LCA ツール及び LCA 原単位データベースの特性上、重量単位で CO₂ 排出量を算出するため機器重量が大きいリースキュービクルが大半を占める結果となったが、次点に軽量のダンボールダクトが脱炭素に貢献している。ダンボールダクトは従来使用される亜鉛鉄板ダクトと比較して、単位面積当たりのアップフロントカーボン排出量が約 70%小さく、採用面積が大きいほど削減効果が大きくなる。これは大阪・関西万博で積極的に使用するために大型ダンボールダクトを開発したことに加え、使用範囲を拡大するため実施設計段階で小風量のスパイラルダクトを統合して角ダクト化したことによる成果と考えられる。

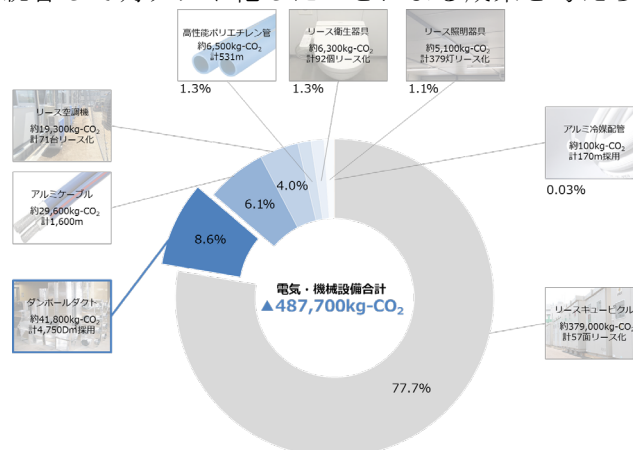


図4 アップフロントカーボン削減量と構成比

4.3 アップフロントカーボン削減効果

3R・脱炭素推進技術の開発・導入によるアップフロントカーボン削減効果を森づくりに置き換えて計算する。算出方法は林野庁⁶⁾より1haあたり1,000本の立木があり、スギのCO₂吸収量は8.8kg-CO₂/本・年とすると、3R・脱炭素推進技術の採用により約55.4haの森づくりによるCO₂を吸収したことに相当する。これは当社が工区統括管理を請け負ったPW西工区（約20.4ha）の2.5倍以上になる。

5. まとめ

大阪・関西万博の施設整備方針と当社の「サーキュラーデザインビルド®」を実現させるため、ダンボールダクト・アルミケーブルなどの低炭素材料の導入や仮設建築物との相性が良い設備機器のリース化によって積極的に3Rを推進してアップフロントカーボンの削減を図った。削減効果を創出した森林面積に換算すると、当社が受注・工区統括管理を行ったPW西工区の2.5倍以上に相当する効果を得ることができ、持続可能な万博運営の一助となったと考える。

[参考文献]

- 1) 公益社団法人 2025 年日本国際博覧会協会
“持続可能な大阪・関西万博開催に向けた行動計画”
- 2) 株式会社竹中工務店 “竹中工務店が提唱するサーキュラーデザインビルド®”
- 3) wbcasd, ARUP 2021/7 “Net-zero buildings Where do we stand?”
- 4) International Energy Agency for the Global Alliance for Buildings and Construction
- 5) 高砂熱学工業株式会社 “アルミ冷媒配管システムの開発”
- 6) 林野庁 “森林の温暖化防止機能について”