

カーボンニュートラル賞

受賞名称
第14回カーボンニュートラル賞 中部支部
カーボンニュートラル賞選考支部名称
第14回カーボンニュートラル賞選考委員会 中部支部
業績の名称
Toyota Technical Center Shimoyama 車両開発棟・来客棟 ～自然との共生を図るサステナブル研究開発施設～
所在地
愛知県豊田市蕪木町北野田459番地

応募に係わる建築設備士の関与

株式会社竹中工務店	石橋 良太郎
同上	金子 研

応募者又は応募機関

代表応募者・機関	株式会社竹中工務店					
建築主	トヨタ自動車株式会社					
設計者	株式会社竹中工務店					
施工者	株式会社竹中工務店					
建物管理者	トヨタ自動車株式会社					
建物利用者	トヨタ自動車株式会社					
延床面積	73,810	m ²				
階数	地上4階	地下-階	塔屋1階			
主用途	研究施設					
竣工年月日	2023年11月20日					

支部選考委員長講評

Toyota Technical Center Shimoyamaは、愛知県豊田市の山間部に位置しテストコースを備え、研究開発棟と来客棟からなる大規模な自動車の研究開発施設である。「カーボンニュートラルを目指す」「自然との共生を図る」「いい施設づくり」の3つをコンセプトに計画されている。研究機能と来客機能という異なる用途を併せ持つ施設において、環境性能と快適性、さらに意匠性を高い水準で両立させている点が特徴である。

建築計画においては、ファサードとバルコニーと庇による日射遮蔽と「クロスルーバー」と呼ぶ斜めに交差する外装ルーバーを採用している。これにより、直射日光の抑制とともに、建物全体に統一感のある意匠性を付与している。さらに室内側には、地域で発生した現地産の間伐材を活用したルーバーを設置し、環境配慮と空間の質の向上を同時に実現している。これらの建築的工夫により、年間の日射取得量を約12%削減する計画となっており、空調負荷の低減に大きく寄与している。

来客棟においては、高天井空間における快適性確保を目的として放射と対流を組み合わせたハイブリッド空調方式である「ユリカラ」を採用している。本方式は、床面から給気を行い、躯体を冷却・加熱しながら室内空間を経由して還気するシステムであり、短い立ち上がり時間と上下温度差の少ない室内環境を実現している。

さらに、本空調システムの熱源として採用された空冷ヒートポンプモジュールチラーには、外気条件や負荷条件に応じて送水温度を可変制御する方式を導入し運転効率の最適化が図られ、冷房時にはCOPが従来比で1.06向上し6.99、暖房時にはCOPが1.41向上し5.5と、非常に高い効率での運転を実現している。

水利用に関しては、節水型器具の導入により上水使用量を53%削減するとともに、雨水や排水の再利用を積極的に行うことで、再利用分を含めると99.5%の削減を達成している。これにより、実質的にゼロウォータービルを実現しており、水資源の有効活用という観点からも極めて優れた計画である。

本建物は低層かつ大規模な平面計画であることを活かし、屋根面にメガワット級の太陽光発電設備を設置している。最大発電量は月間約142,000kWhに達し、年間を通じて使用電力量の約15～20%、冬期においても約10%程度を賄っている。

これらの建築・設備・エネルギーに関する多角的な方策により、運用時のCO₂排出量は35%削減される計画となっている。さらに、CO₂フリー電力契約を併用することで、省エネルギー対策と合わせて実質的にCO₂排出量を100%削減しており、カーボンニュートラルの達成に向けた明確な道筋を示している。

加えて、建物使用者への配慮として、研究開発施設における照明計画や、自動車モデルへの吹出口等の映り込みを回避するための細やかな計画がなされている点、地場産材の活用による里山保全の観点から、間伐材を梁や壁の一部に使用した地域環境への貢献という点は評価に値する。

これらの環境対策を高レベルでまとめており、他の施設への展開も期待できる業績であると考え、カーボンニュートラル賞に値するものと判断した。

受賞者の言葉

Toyota Technical Center Shimoyama 車両開発棟・来客棟は、レクサスカンパニーやGRカンパニーの事業・開発拠点となり、世界へ「もっといいクルマ」を発信するための研究開発施設です。計画にあたり、自然との共生を図るサステナブル研究開発施設を目指し、「カーボンニュートラルを目指す」「自然との共生を図る」「いい施設づくり」をコンセプトに取り組みました。輻射と対流をハイブリッドで組み合わせた床輻射冷暖房空調システムをホワイエに全面的に採用し、MAGAソーラー発電などでカーボンニュートラルを達成しました。また、クロスルーバー・庇による負荷抑制、再生水利用によるZero Water Buildingの達成、自動車デザインに適した光幕天井の開発などの取組みも行っており、次世代につながる研究開発施設が実現できたと考えています。

最後に、本プロジェクトにご尽力・ご協力頂きました関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

(石橋 良太郎 金子 研：株式会社竹中工務店)

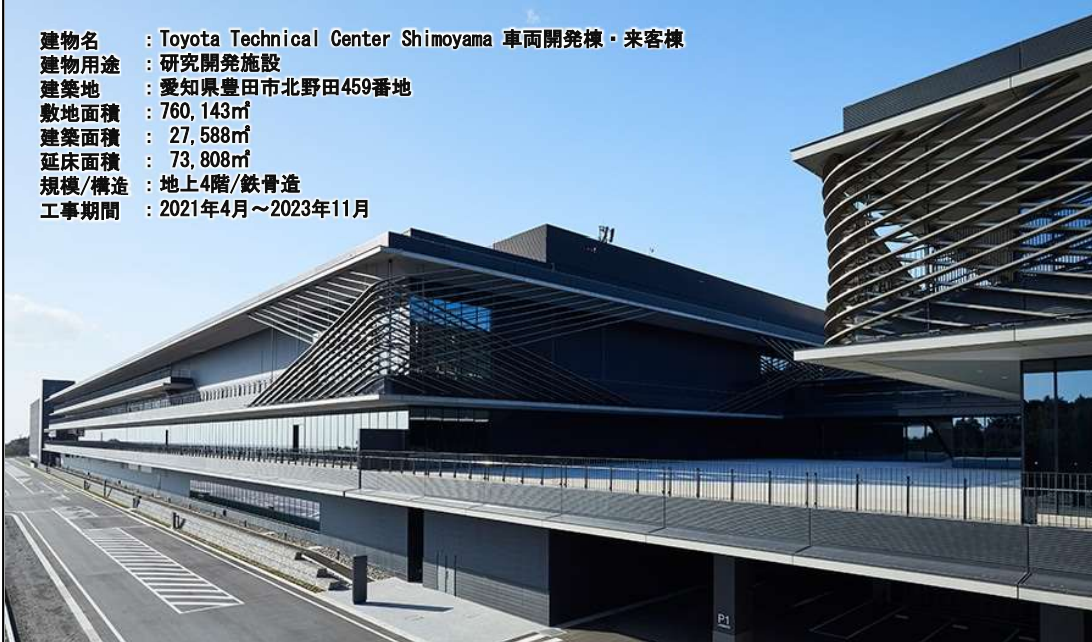
業績の名称： Toyota Technical Center Shimoyama 車両開発棟・来客棟 ～自然との共生を図るサステナブル研究開発施設～

■ 業績の概要とカーボンニュートラル化に係わる取り組みの説明

1. 自然との共生を図るサステナブル研究開発施設

計画概要

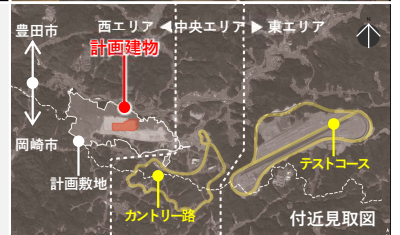
建物名 : Toyota Technical Center Shimoyama 車両開発棟・来客棟
 建物用途 : 研究開発施設
 建築地 : 愛知県豊田市北野田459番地
 敷地面積 : 760, 143㎡
 建築面積 : 27, 588㎡
 延床面積 : 73, 808㎡
 規模/構造 : 地上4階/鉄骨造
 工事期間 : 2021年4月～2023年11月



1.1 背景

愛知県豊田市の中心部から南東に約25kmの山間地に位置する「Toyota Technical Center Shimoyama」は、将来のクルマに求められる走行性能や環境性能、安全性をより高い水準で実現し、世界へ「もっといいクルマ」を発信するための研究開発施設である。650ヘクタールと広大な敷地内には、地形を生かした車のテストコースを備える。2018年から3つのエリア（西・中央・東）に分けて施設の建設が始まり、2024年3月に西エリアに計画建物である車両開発棟と来客棟の2棟が完成・運用を開始している。

車両開発棟はレクサスカンパニーやGRカンパニーの事業・開発拠点となり、企画・デザインから開発・設計、試作・評価などを行う。来客棟は車両展示空間やホールを備え、外部の人と交流する場となる。建設にあたっては、環境保全の取り組みとして、敷地面積の約6割で土地本来の森林を残し、保全を行うことに加え、緑地を新たに造成、間伐材を積極的に建屋に活用するなど、自然環境の適切な維持・管理に努めた計画としている。



1.2 計画にあたって取り組んだ課題



トヨタは、2050年までの地球環境への長期的な取り組みを「トヨタ環境チャレンジ2050」として発表し、積極的に環境問題に取り組んでいる。この取り組みの中には、クルマをつくる工場や開発施設などで排出するCO₂の削減、水資源の最小化利用、循環型社会の構築、人と自然との共生などが挙げられている。これを受けて、本計画では、「カーボンニュートラルを目指す」「自然との共生を図る」「いい施設づくり」の3つをConceptに設定し、計画に取り組んだ。カーボンニュートラルを目指した環境配慮型の研究開発施設としつつ、下山の豊かな自然と共生を図り、「いいクルマづくり」のためにものづくりに集中できるいい施設を目指して取り組んだ。

Concept. 1

カーボンニュートラルを目指す

Concept. 2

自然との共生を図る

Concept. 3

いい施設づくり



2. カーボンニュートラルを目指す

Concept.1

2.1 輻射と対流のハイブリッド空調「ユカリラ」

来客棟の1F・2Fは天井高が4m程度と高いホワイエとなっており、快適性を満足しつつ、居住域を優先的に冷暖房するために輻射と対流のハイブリッド空調である「ユカリラ」を計画した(図1)。ユカリラシステムは冷温熱を発生させる空調機と部屋の空調を行う床放射部(流路)から構成される。空調機より、床下に冷温風を送り込み、流路面から上部のコンクリートを冷却・加熱することにより、輻射熱による均一でドラフト感を抑制した空調が行える。床放射部(流路)はV型のインナー流路とコの字型の OUTER 流路から構成される(図2)。インナー流路を通った冷温風がV型上部のスリット状の気流噴出口を通り、アウター流路に流れることで、冷温風を均一に行き届かせることができる。

ユカリラの設置範囲を図3に示す。設置範囲が広い1Fは10,000m³/h程度の空調機2系統、2Fは24,000m³/h程度の空調機3系統でシステムを分け、空調制御を行った。

「ユカリラ」の冬期の立上げ時間と快適性を確認するため、測定を実施した(図4)。測定は立ち上げ時間の検証を行うため、①長期休暇明け、②週明け、③日常時(火～金曜)の3パターンを実施した。①長期休暇明け時の空調開始前に床表面温度は、12℃程度まで低下していたが、空調運転後の就業時間8:00には18℃程度まで上昇した。②週明け時にも就業時間8:00には、床表面温度は17℃程度まで上がり、床表面温度～FL+1.5mまでの温度差は2～3℃以内で納まった。また、空調実施時の13:30頃に床表面温度は20.2℃とほぼ均一に温かくなったことが確認でき(図5)、PMV値は快適領域である±0.5に納まり、足元が温かい快適で均一な空調空間を形成できていることが確認できた。

2.2 空調熱源の送水温度可変制御

高効率な空調熱源である空冷ヒートポンプモジュールチラーに対して、さらなる熱源機COPの向上を目的とし、冷温水の送水温度可変制御を計画した。送水温度可変制御は、冷却モードおよび加熱モード時に外気の乾球温度(DB)および湿球温度(WB)の状態をPLCコントローラで判断し、熱源機の送水温度の設定値を可変する制御である。

送水温度可変制御(図6)では、空気線図上での外気状態判断からA～Fの6エリアを判別し、各エリアで熱源COPが向上するように、冷房運転時は送水温度を高め、暖房時は送水温度を低めに变化させる。

送水温度可変制御の有無による熱源COPの向上を図7に示す(外気条件Fエリア抜粋)。冷房運転時は、外気温度が低いほど、送水温度の設定を高くし、Aエリア:7℃→Fエリア:16℃となる。また、運転容量100%よりも、70%の方がCOPが大きくなり、Fエリアで運転容量70%の際に、熱源COPは、送水温度制御なし:5.93、送水温度制御あり:6.99となり、COPが1.06向上する。

暖房運転時は、外気温度が高いほど、送水温度の設定を低くし、Aエリア:48℃→Fエリア:41℃となる。また、運転容量100%よりも、70%の方がCOPが大きくなり、Fエリア・運転容量70%の際に、熱源COPは、送水温度制御なし:4.09、送水温度制御あり:5.5となり、COPが1.41向上する。

2.3 MEGAソーラー発電

広い建築面積を活用し、屋上に設置可能な限り太陽光パネルを設置する計画とした(図8)。設置した太陽光パネルの容量は1,111kW(車両開発棟953kW、来客棟158kW)であり、MEGAソーラー発電を形成している。

太陽光パネルは、年間を通じて発電がされており、発電量は最大142,200kWh/月程度となっていた。太陽光パネルの発電受給率を図9に示す。本建屋で使用した電力量の内、夏期は15～20%程度、冬期は10%程度の電力量を太陽光発電で賄っており、カーボンニュートラル化に大きく寄与している。

また、太陽光パネルの発電情報は来客棟2Fのホワイエに設置した太陽光モニターで表示しており、来客者に環境への取組みのアピールを行っている。

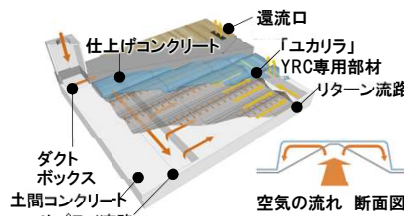


図1 ユカリラシステム

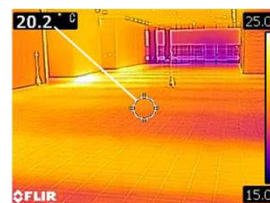


図5 サーモカメラ画像



図2 ユカリラ施工写真

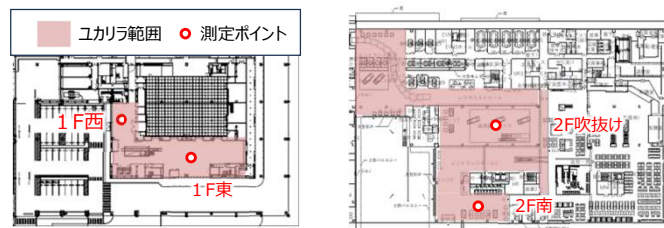


図3 ユカリラ範囲図

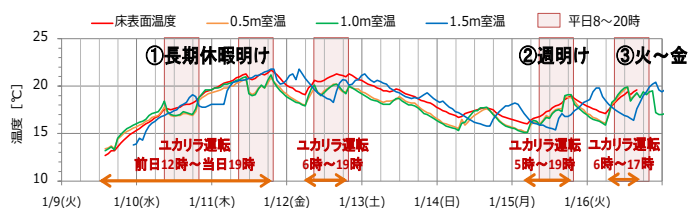


図4 室内温度分布(2F南エリア抜粋)

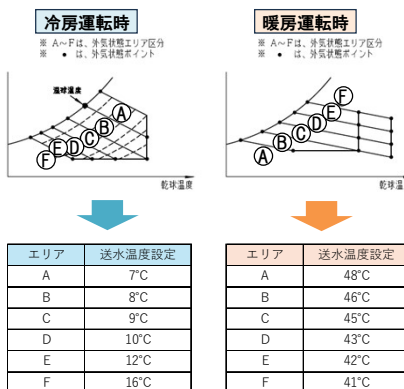


図6 送水温度可変制御

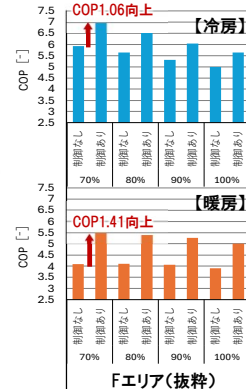


図7 熱源COPの向上

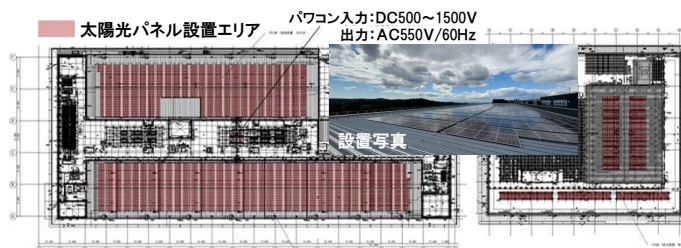


図8 太陽光パネルの配置図

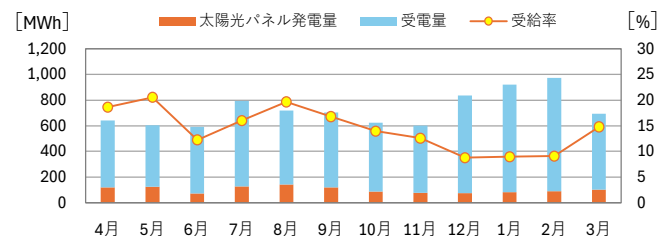


図9 太陽光パネルの発電受給率

3. 自然との共生を図る

3.1 Zero Water Building

Zero Water Building(ZWB)は、建物内で節水と排水再利用を行い、土壌に雨水を浸透させて水源に戻すことでインフラへの負荷を減らす「水資源自立循環型建物」のことであり、年間の上水使用量に対して、代替水(雨水・再利用水)使用量と水源還元量の合計が同量以上となった場合にZWBと定義されている(LEED ZERO Program Guide)。本計画においても敷地全体として、水資源を最大限に活用し、周辺環境への影響を最小限とするために、**ZWBを目指し、水の使用量の削減と浄化槽処理水の中水利用を計画した。**

水の循環イメージを図10に示す。手洗い/厨房、トイレ洗浄水は浄化槽(図11、2,800人槽地上式、凝集剤添加膜分離活性汚泥法)により再生水をトイレ洗浄水に使用できる中水レベルまで処理し、中水用受水槽(86m³)に貯留する。貯留された中水をトイレ洗浄水や敷地散水として使用することで、無駄のない水資源の循環を実現している。

ZWBの計算結果を図12に示す。(a)計画時には、基準建物(給水使用量:大便器8L/回、小便器4L/回、洗面器2L/回)に対し、計画建物では節水器具(給水使用量:大便器4.8L/回、小便器0.9L/回、洗面器1L/回)を採用することで、**上水使用量を約53%削減でき、さらに洗浄水を中水利用することで約81%の削減が行える結果となった。**(b)実績としては、**工業用として使用する雑用水の中水利用(444,214m³)が行えており、上水使用量を99.5%削減できていた。**年間の上水使用量に対して、代替水(再利用水)使用量が同量を大きく上回っており、**Zero Water Buildingを実績値で達成できていたことが確認できた。**

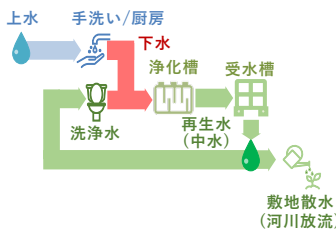


図10 水循環のイメージ

図11 地上式の浄化槽

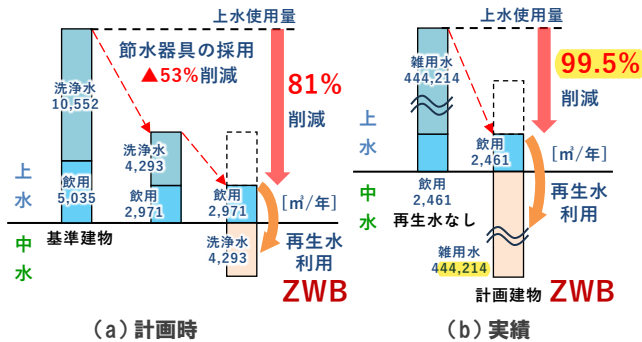


図12 ZWBの計算結果

3.2 クロスルーバー・庇による負荷抑制

自然との共生を図るうえで、負荷を抑制した環境性能の高い建築物が求められている。これに対し、東西に約300mと長い形状を活かしつつ、**日射による熱負荷を徹底的に抑制するための3つの方策からなる「環境ファサード」を考案した。**第1の方策として、**南側に奥行約3mのバルコニーと約4mの庇を設け、日射遮蔽を行った(図13)。**庇は夏期や中間期の日射を遮蔽し、下山の豊かな緑の眺望デッキとしてオフィスワーカーのリフレッシュ空間としても活用されている。

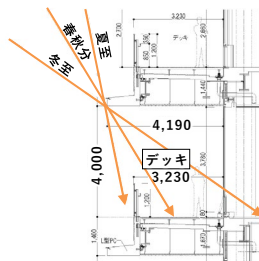


図13 バルコニー断面図

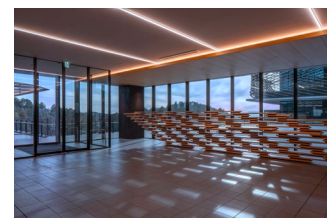
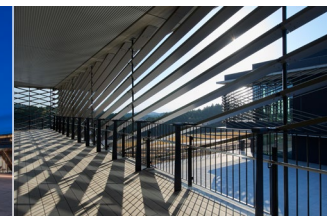
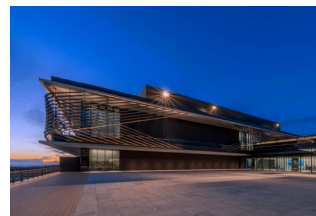


図15 インナールーバー写真

第2の方策として、**アウトースキンに2重のクロスラインで構成される「クロスルーバー」を新たに開発した(図14)。**ルーバーは東西面に集中させ、2重とすることで600mmの奥行となり、より日射を制限できる。形状はトヨタのルーツである自動織機のスピンドルを想起させ、次世代に技術を紡いでいくブランドイメージを体現したデザインとしている。



(a) 外観

(b) 内観

図14 クロスルーバー写真

第3の方策として、「**インナースキン**」と呼んでいる**下山産の間伐材を積層させたルーバーを室内に設置した(図15)。**アウトースキンで日射を遮れない場所の内部に設置することで、室内の居住者に直達日射が当たるのを抑制している。

環境ファサードによる年間エネルギー消費量の比較を実施した。基準建物に対し、東西にコアを設け、庇を設置してLow-Eガラスを採用、アウトースキンを設けている本計画は、**年間日射量を約12%削減し、年間エネルギー消費量では、20.2%の削減効果が得られていることを確認した(図16)。**

3.3 地場産材の活用による里山保全

地場産材の活用による里山保全として、**間伐材を用いた「束(たば)ね束(つか)立て張弦梁」を来客棟の吹抜部に(図17(a))、間伐材を用いた「音響拡散壁」を来客棟のホールに設置するとともに、地域性樹木の苗木による植生調も行っている。**

3.4 自然換気・自然採光

車両開発棟・来客棟ともに吹抜上部に自動開閉式窓を設置し、自然換気・自然採光を積極的に実施している(図17(b))。給気開口として、車両開発棟は2Fオフィス部分に横型定風量換気スリットと突出し窓を設置、来客棟は2F・3Fに横型定風量換気スリットを設置し、自然換気を活用している。

	①全面ガラス 庇コアなし 透明ガラス	②庇なしコア有 透明ガラス	③庇有コア有 Low-Eガラス	④庇有コア有 スキン有 Low-Eガラス
日射量[kWh]	2,726,600	1,254,600	366,145	333,753
	100%	46%	13%	12%
年間エネルギー消費量[GJ/年]	76,045	67,598	60,776	60,663
削減率	-	-11.1%	-20.0%	-20.2%

図16 日射熱負荷と年間エネルギー消費量の比較



(a) 内観

(b) 断面、自然換気・自然採光

図17 間伐材を用いた車両展示空間・自然換気・自然採光

4. いい施設づくり

4.1 自動車デザインに適した光幕天井の開発

車両開発棟の屋内展示場は、粘土でつくられた車のクレイモデル(図18)に塗装を行い、実車に近づけた状態で形状の確認を行う重要な場所である。**屋外に近づけた照明環境を構築し、評価することが求められたため、これに対応する自動車デザインに適した光幕天井を新たに開発・検証した。**

照明実験を複数回実施し、①ムラのない均一な光とするため、照明器具と光幕の距離を400mmに拡張し、**ムラが気にならないレベルに改善した。**②ノイズのない光とするため、目地幅を5mmに縮小させ、フレーム先端を光を通過するアクリル製の透過性フレームとし、目地間に反射性の高い白色スポンジを挿入して反射光も下部に届けることで、**ボディに映るつなぎ目が目立たない光とした(図19)。**③**太陽光に近い光が求められたため、太陽光の波長に近い太陽光LED(豊田合成製)ベースライトの製作を行い、屋内検討場の光幕天井内の器具とした(図20)。**実寸大モックアップによる最終確認(図21)を実施し、**ボディへの映り込みに対して要望された光環境を満足できていることを確認した(図22)。**



参照：トヨタタイムズ
https://toyotatimes.jp/series/masters/048.html

図18 車のクレイモデル

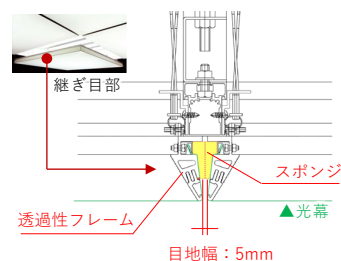


図19 光幕天井の継ぎ目部

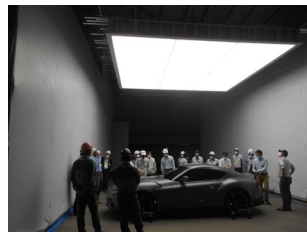


図21 実寸大モックアップによる映り込みの確認

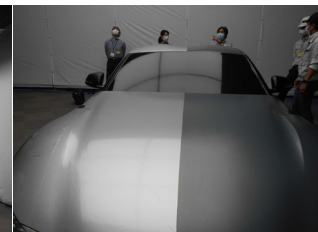


図22 屋内検討場(内観)

4.2 モデリングエリアの空調計画

車両開発棟のモデリングエリアは、**クレイモデルへの映り込みのない空調計画が求められた。**ノズル吹出口では、ノズル部分の丸の形状や凹凸が車のボディに映り込むため、**吹出口には、壁と同系色に塗装した開口率30%のパンチングメタル吹出口を選定した。**この吹出口を壁面両サイドに設け、中央下部から吸込む空調方式にて計画を行った。

暖房時の空調シミュレーション結果を図23に示す。暖房時は暖気が上昇して中央部分まで届かず、居住域の平面で温度ムラが生じることが懸念されたが、**還気を室内中央下部で適正な配置で取り、空調を連続稼働することにより、均質な温度環境が得られることを確認した。**

4.3 フレキシビリティに配慮した計画

来客棟2FにはLGBTsに配慮した「みんなのトイレ」(ジェンダーフリートイレ)を計画した(図24)。トイレは個別の10ブースと両サイドに配置した手洗いで構成されており、男女が対面で鉢合わせないように配慮し、左側から入り、右側に抜けていく一方通行の動線計画とした。**多様な生き方にフレキシブルに配慮した新たな取り組みとなることを期待している。**

加えて、バスダクトでの電源供給、不燃ダンボールダクトの採用などにより、**フレキシビリティに配慮した将来の更新に優れた計画**としている。

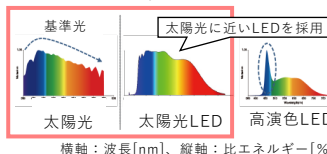


図20 太陽光LEDの可視光分布

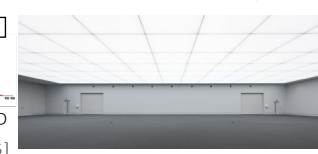


図22 屋内検討場(内観)

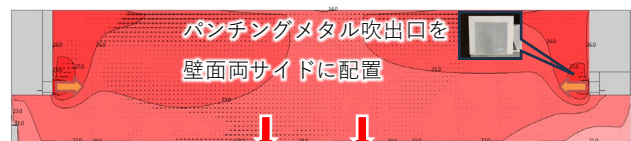


図23 モデリングエリアの空調シミュレーション

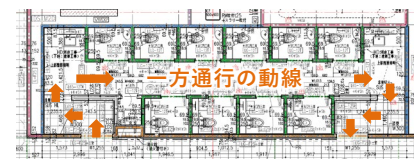
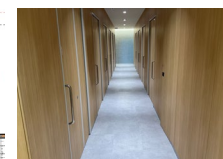


図24 LGBTsに配慮したジェンダーフリートイレ



5. 省エネルギー・カーボンニュートラル化の評価

5.1 環境性能・省エネルギー性能の評価

環境評価として、地域の素材を用いて地域と共生した施設を計画したこと、中水の自然循環利用を積極的に実施したことなどが寄与し、**CASBEEあいちはSランクを達成した。**

建築物省エネルギー性能評価では、基準：1,085MJ/延床㎡年に対し、**計画値：615MJ/延床㎡年(BEI：0.57)となり、ZEB-Oriented(43%削減)相当となった(※生産系に関わる設備機器類は除外して計算した自主評価)(図25)。**実績値は車両開発棟の実験などに使用した種々の電力量も含めて**実績値：990MJ/延床面積㎡(25%削減)となった。研究開発施設として、省エネルギーが推進された建物**といえる。

5.2 CO₂排出量の実績

基準建物に対して計画値で約35%削減、**実績値ではCO₂フリー電力の契約により100%削減(内、太陽光発電による自主給電により約12%削減)となっており、カーボンニュートラルを実現できている(図26)。**

5.3 まとめ

本計画では自然との共生を図るサステナブルな取り組みにて、**カーボンニュートラルやZero Water Building(図12)を達成し、次世代につながる研究開発施設を実現できた。**

検証結果

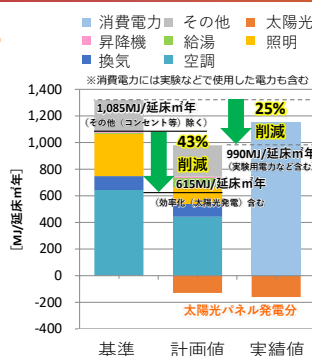


図25 一次エネルギー消費量

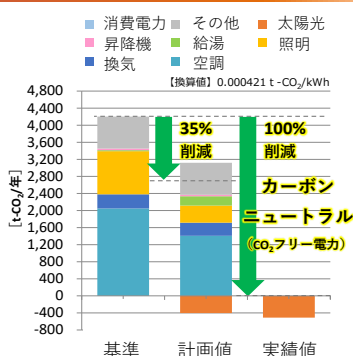


図26 CO₂排出量

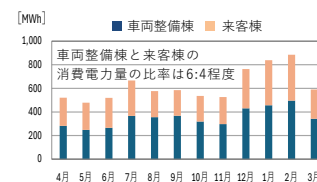


図27 受電電力量(月別)



図28 エネルギー消費量(月別)