

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 九州支部
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 九州支部
業績の名称 別府温泉 杉乃井ホテル「宙館」における環境・設備計画
所在地 大分県別府市観海寺1

応募に係わる建築設備士の関与

鹿島建設株式会社	小川 健次
同上	藤原 亮

応募者又は応募機関

代表応募者・機関	鹿島建設株式会社		
建築主	オリックス不動産株式会社		
設計者	鹿島建設株式会社		
施工者	鹿島建設株式会社		
建物管理者	オリックス・ホテルマネジメント株式会社		
建物利用者	オリックス・ホテルマネジメント株式会社		
検証者	鹿島建設株式会社		
検証者	鹿島技術研究所		
延床面積	34,232	m ²	
階数	地上14階	地下1階	塔屋1階
主用途	ホテル・旅館		
竣工年月日	2022年10月31日		

支部選考委員長講評

本プロジェクトは、大規模宿泊施設の脱炭素化モデルとして非常に高い評価ができる。
以下の理由から、カーボンニュートラルに向けた取り組みは先進的かつ再現性が高いと考えられる。

評価ポイント

- 設計段階からZEB化の可能性を探り、空調・給湯設備の多くの環境配慮技術を取入れた
・竣工時に ZEB OrientedのBELS認証 (BEI=0.56) を取得。
・大規模宿泊施設はエネルギー多消費型でZEB化が難しい中、トップランナー水準を達成。
- 運用段階での継続的改善
・開業後もエネルギーマネジメントを徹底し、運用段階でBEI=0.53を実現。
・基準値から54%削減という成果は、ホテル業界では非常に優秀。
- 再生可能エネルギーの活用
・地域特有の地熱・温泉熱のカスケード利用により、給湯・浴場の負荷を46%削減。
・温泉熱ポテンシャルの51.5%回収は画期的。
- 設備計画の合理性と再現性
・「機械を負荷に近い場所に置く」という基本設計を徹底し、誰でも再現可能な省エネ手法を採用。
・冷媒の低GWP化 (R-32) によるフロンミニマムな計画も評価ポイント。
・客室基準階の空調設備 (エンボディカーボン: 都市型ビジネスホテルの56%削減)
- 新しい評価指標の提案
・GrEI (Guestroom Energy Index) を導入し、客室稼働率を考慮した評価を実施。
・サービス品質を維持しながらエネルギー効率を改善 (年間GrEI 0.46→0.35、24%向上)

以上より、本件がカーボンニュートラル賞に相応しいと評価する

関与した建築設備士の言葉

このたびは、“別府温泉 杉乃井ホテル「宙館」における環境・設備計画”に対して、第14回（令和7年度）カーボンニュートラル賞の栄誉を賜り大変光栄に存じます。

本業績で、環境配慮建築のデファクトスタンダードとなったZEBのエネルギー多消費型施設への展開という課題意識を端緒、大規模宿泊施設の脱炭素化を再現性の高い手法で実現することを意図しました。また、建築物省エネ法では評価対象外の、浴場施設の省エネルギーにも正面から向き合いました。

運用段階では、“設計者が建物を育てるプロセスにコミットする”という信念を基に、エネルギーマネジメントを業として実践しました。

設備設計という仕事を好きになって良かったと心から思います。今後も熱意をもって設備技術の面白さを探求し、私たちの職能の高度化、価値化に微力ながら貢献してゆく所存です。

(小川 健次：鹿島建設株式会社)

業績の名称： 別府温泉 杉乃井ホテル「宙館」における環境・設備計画

■ 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. 計画コンセプト

本業績は、環境配慮建築のデファクトスタンダードとなったZEBのエネルギー多消費型施設への展開という課題意識を端緒に、大規模宿泊施設の脱炭素化を再現性の高い手法で実現することを意図したものである。本施設の環境・設備計画では、非日常空間の中で優雅な時間を提供しつつも脱炭素化を推進し、サービス品質を落とさずに運用するという課題に取り組んだ。「宙館」では、あらゆるホテル用途に親和性があり、水平展開が可能な計画手法を脱炭素設計の視点で再構築するとともに、地域特有の再生可能エネルギーである地熱や温泉熱を有効に活用することで、大規模宿泊施設としてトップランナーの省エネルギー性能の実現を狙った。また、設計段階から運用段階に至る一貫したエネルギー評価と、継続的で実効性の高いエネルギーマネジメントの実践により、脱炭素時代の宿泊施設の在り方を構築と運用の両面から追求し、「普及性に配慮した大規模宿泊施設の脱炭素化モデル」の構築を目指した。



写真-1 建物外観

2. 計画概要

2-1. 建築計画

別府温泉 杉乃井ホテルは、国内一位の温泉湧出量を誇る別府で80年以上の歴史を持つ、総敷地面積約13haの大型リゾートホテルである。大分・別府の魅力を伝え、地域の活性化に貢献することを目指し、2019年に施設全体の大規模リニューアルに着手、2023年1月26日に新生杉乃井ホテルのフラッグシップ棟として「宙館」が開業した。

計画建物は、杉乃井ホテルの施設群で囲まれる公道を抜けた敷地の最も高い場所に位置しており、“大空の上に広がる果てしない宙(そら)”をイメージして「宙館」と命名された。建物のフロンテージはその表徴としてデザインされ、公道から車寄せまでの引きを活かした風情のある植栽計画と、心地よい風がたなびく様を表現したメインファサードのダイナミックルーバーにより、別府を訪れた観光客を迎え入れている(写真-1)。

建物名称	別府温泉 杉乃井ホテル「宙館」
所在地	大分県別府市観海寺1
建物用途	ホテル(客室数:336室)
建築主	オリックス不動産(株)
ホテル運営管理	オリックス・ホテルマネジメント(株)
設計	鹿島建設(株)
施工	鹿島建設(株)(建築)
	(株)九電工(電気設備・衛生設備・空調設備) (株)東洋システム(自動制御設備)
建築面積/延床面積	19,728m ² /34,232m ²
階数/建物高さ/構造	地上14階、地下1階/59.84m/RC造

2-2. 環境・設備計画

2050年のカーボンニュートラル実現に向け、設計段階の省エネルギー性能としてZEBを目指すことは、環境配慮建築のデファクトスタンダードとなっている。しかし、ZEB建築の建物用途の中で50%以上を事務所等が占め、ホテル等は僅か2.5%に留まっており、エネルギー多消費型施設の対策が課題となっている。

このため本施設では、将来にわたっても汎用的で継続性があり、宿泊施設で普遍的に用いることのできる計画手法を周到に積み上げることで、大規模宿泊施設のZEB化の可能性を探った(図-1)。その結果、竣工段階において、大規模宿泊施設では希少なBEI=0.56(“その他”を含むBEI=0.57)の高スコアでZEB OrientedのBELS認証を取得している。

また、宿泊施設は24時間365日稼働するため、運用段階におけるエネルギーマネジメントの重要性が高い。このため、建築主、ホテル運営管理会社、設計者が一体となった運用改善の体制を構築した上で、エネルギー消費量のみに着目せず、複合的な因子として客室稼働率を考慮した評価指標を考案し、その継続的な実践を通して、宿泊施設におけるエネルギーマネジメント手法の規範を示した。

以上の取り組みにより、運用段階の評価でZEB Oriented相当の水準(BEI=0.53)を実現、建築物省エネ法の評価対象外の設備も含めた評価として、基準値から54%削減した。

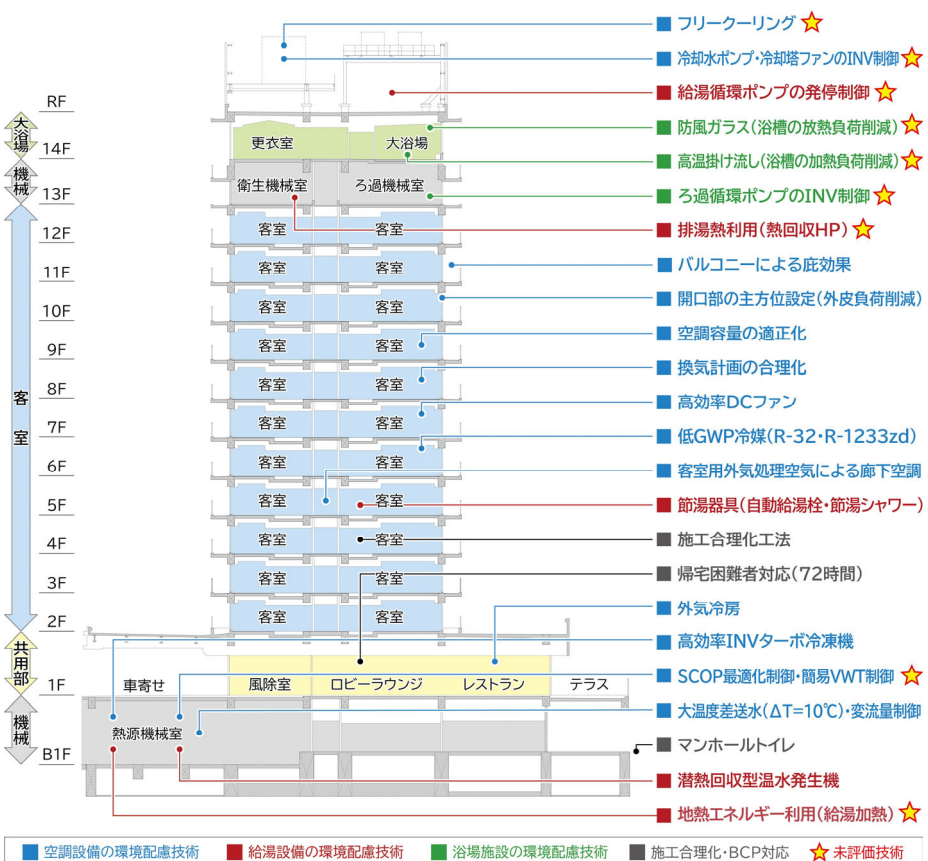


図-1 環境・設備計画の概要

3. 大規模宿泊施設の脱炭素化に向けた取り組み

3-1. (1)客室基準階の計画

客室基準階の空調・換気計画(図-2)では、一部のパイロット案件のみで実現できるような設備システムの先鋭化に傾注するのではなく、「**機械を負荷に近い所に置く**」という設備計画の原点とも言える基本の徹底により、**誰もが実践できる再現性の高い省エネルギー**を目指した。

具体的には、中廊下型の平面計画の両サイドに機械室を配置、2系統の外調機を2フロアごとに設置し、**外調機以外の設備を各客室で完結させ、客室廊下を外気処理空気の供給経路としてダクトとファン動力を大幅に削減**した。また、室外機置場のバルコニーにより、冬期の日差しを確保しながら夏期の日射を大幅に削減しつつ、空調室内機を窓近傍に設置し、**負荷処理の効率性とフロミニマム(冷媒配管の最小化・低GWP冷媒)**を両立した。

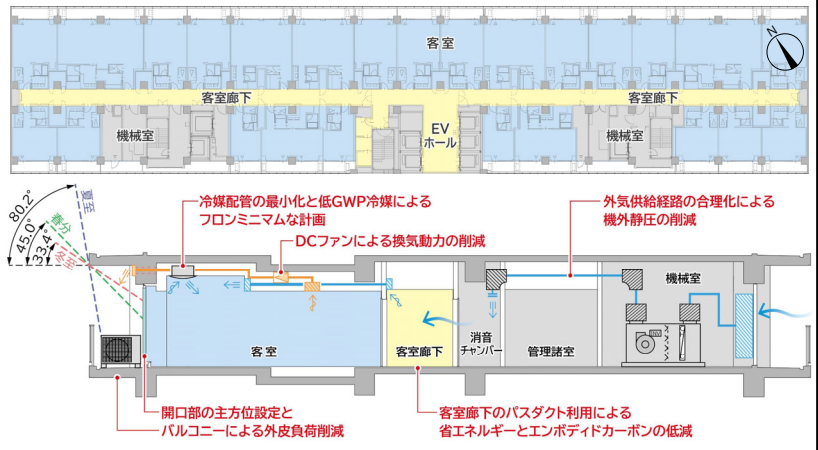


図-2 客室基準階の空調・換気計画

3-1. (2)脱炭素効果の評価

図-3に、客室基準階の空調設備を対象としたエンボディカーボンを、本施設と同程度の客室数(329室)を有する都市型ビジネスホテルとの比較として示す。**本施設のエンボディカーボンは、比較対象物件(R-410A)に対し79%削減、R-32とした場合の値に対して56%削減**され、本施設のようなシンプルで合理的な計画の対策が極めて有効との評価となった。また、**代表客室の運用時のエネルギー消費量についても、開業1年目、2年目ともにZEB水準であることを確認した(図-16参照)**。

以上の検証により、**本施設の計画が大規模宿泊施設の脱炭素化に大きく貢献**することが示された。

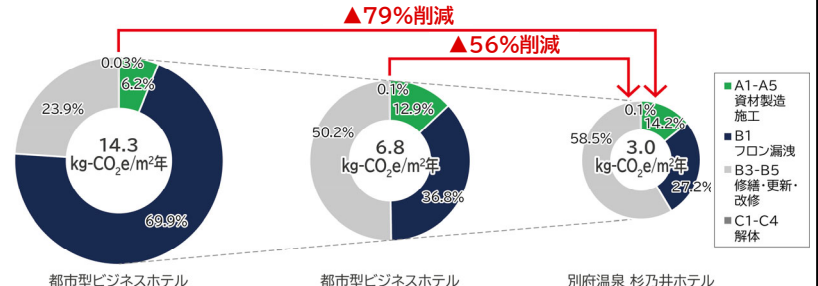


図-3 エンボディカーボンの比較(客室基準階の空調設備)

3-2. (1)熱源設備の計画

本施設の計画地は大気に硫化水素を多く含む温泉地であるため、大規模宿泊施設と親和性の高い水熱源方式を主体に計画し、N+1台の冗長構成とした(図-4)。空調用熱源機は**部分負荷効率の高いINVターボ冷凍機と高期間効率仕様のガス焚吸収冷温水発生機を採用、冬期の冷水需要はフリークーリングで賄う計画**とし、大浴場の加熱用熱源と、給湯加熱用の地熱(後述)のバックアップとして潜熱回収型の無圧式温水発生機を設置した。

また、**汎用制御コントローラ(DDC)の演算量で実行可能なSCOP最適化制御を実装**した。湿球温度、負荷率、冷却水流量ごとのSCOPを事前にLCEMツールで計算(開業2年目は運転実績データを分析)し、湿球温度と負荷率から、SCOPが最も高くなる冷却水温度と冷却水ポンプのINV出力を決定している。

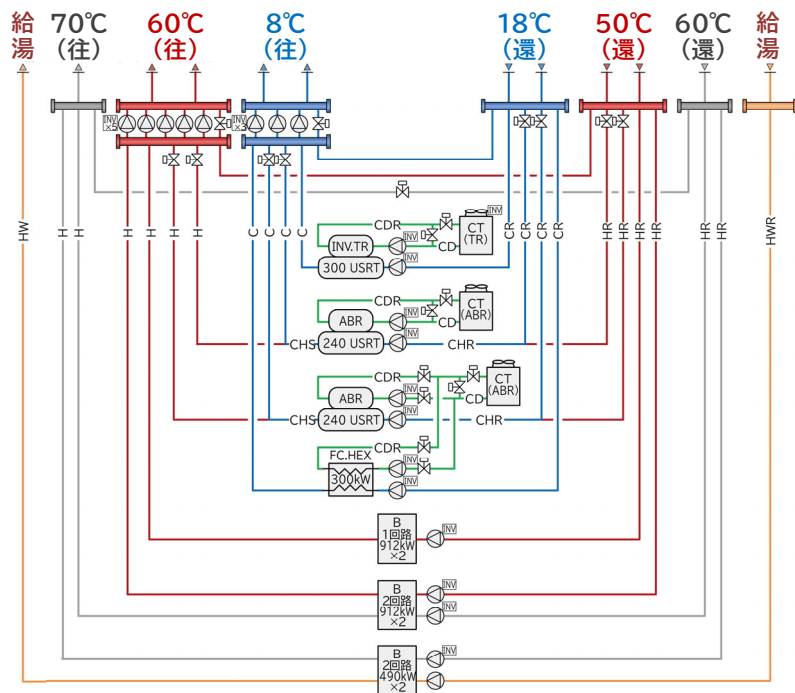


図-4 熱源フロー図

3-2. (2)熱源設備の運転実績

開業1年目の運転実績データを踏まえ、SCOP最適化制御のロジックや制御パラメータの改善(図-5)、温水の送水温度や各ポンプのINV設定値などのチューニングを継続的に実施した。

図-6に、熱源システムの運転実績(開業2年目、()内は前年値)を示す。**冷却SCOPは、最適化制御により夏期(6~9月)に1.71~2.07と高く推移し、年間SCOPは1.70であった**。また、加熱SCOPは低負荷の時期の送水温度を調整したことで熱効率の低下が抑制され、年間SCOPは0.83となり、**熱源システム全体の年間SCOPは1.03と前年から0.05ポイント向上した**。この結果は、**浴槽加熱負荷や給湯負荷の加熱リッチな負荷特性など、本施設特有のネガティブな条件があることを考慮すれば、十分に評価できる運転実績と判断している**。

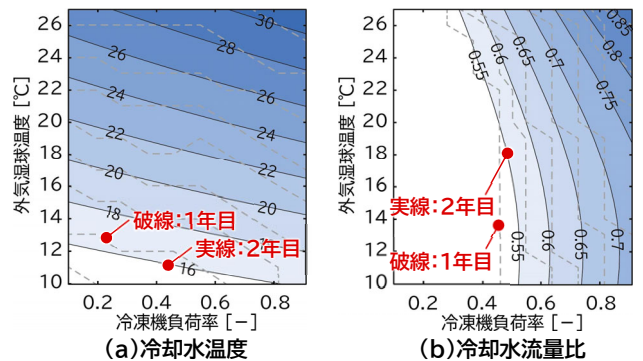


図-5 SCOP最適化の制御設定値

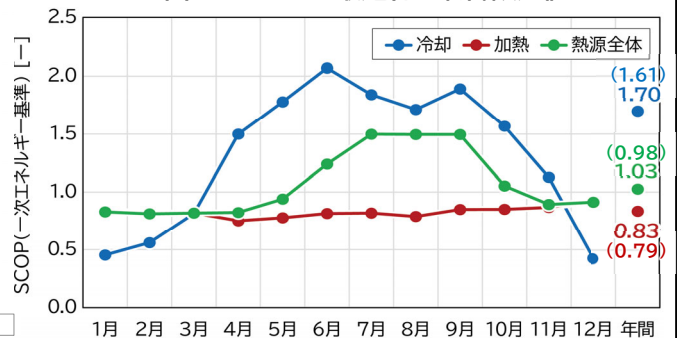


図-6 熱源システムの運転実績

3-3. (1)給湯設備の計画

宿泊施設の脱炭素化を実現するためには、一次エネルギー消費量の約20%を占める給湯設備の省エネルギー対策が重要になる。本施設では、**潜熱回収型機器(厨房系統)、断熱強化や節湯器具の採用といった基本的な対策を着実に実施した上で、地域特有の再生可能エネルギーである地熱を給湯の加熱源として利用する計画**とした(図-7)。

3-3. (2)給湯設備の省エネルギー効果

図-8に、給湯設備の省エネルギー計画と実績値を示す。BELS認証では地熱や排湯熱利用の効果を考慮できないため、バックアップ熱源機による評価としたこと、給湯受水槽の加熱を熱交換器を介した循環加熱としたことから(温度レベルが高く潜熱回収効果が得られないため熱効率が低い)、設計値は基準値よりも高い値となっている。しかし、設計段階の試算では、未評価技術の採用により基準値から**▲47%まで削減できると予測していた。これに対し実績値は▲69%削減となり、設計予測を上回る大幅な省エネルギー効果が得られた。**

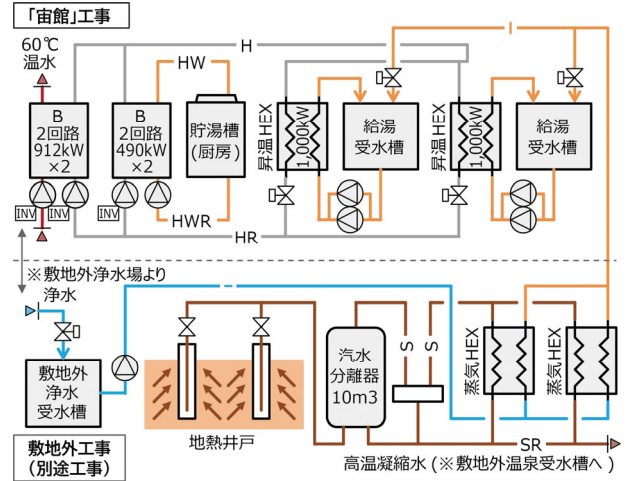


図-7 給湯熱源フロー図

3-4. (1)浴場施設の計画

地熱大国である大分の温泉は源泉温度が70~90℃と高く、この**温度ポテンシャルを活用するため、温泉熱のカスケード利用を行った**(図-9)。温泉受水槽(第1槽)で浄水による希釈・降温で耐熱温度以下の約70℃に調整し、**第2槽で浴槽加熱用の温水により熱回収し60℃に降温する。**次に、防風ガラスで地域特有の強風である「鶴見おろし」の風速を緩和(図-10)、外湯水面からの放熱を抑制した上で、**50℃以上の高温掛け流しにより浴槽加熱負荷を削減、オーバーフローによる排湯熱を熱回収HPに供給して給湯循環系の熱損失を補償した。**

また、簡易な人通過センサにより**大浴場の混雑度を外湯と内湯ごとに検知(図-11)し、混雑度状況に応じてろ過循環ポンプをINV制御する**など、多様な省エネルギー手法により、多消費傾向にある浴場施設のエネルギー消費量の徹底的な削減を図った。

3-4. (2)浴場施設の省エネルギー効果

図-12に、温泉熱ポテンシャル回収量の実績値を示す。浴場関連の利用に限定したものの、**熱的価値に応じたカスケードデザインにより、年間12.9TJと莫大な温泉熱ポテンシャルのうち51.5%を回収した。**

図-13に、ろ過循環ポンプのINV制御による省エネルギー効果を示す。一次エネルギー消費量の削減効果は、**INV制御無しの場合(想定値)に対し、▲46%削減(外湯を含む大浴場の床面積当たりで501MJ/(m²・年)削減)と、大幅な省エネルギー効果が得られた。**

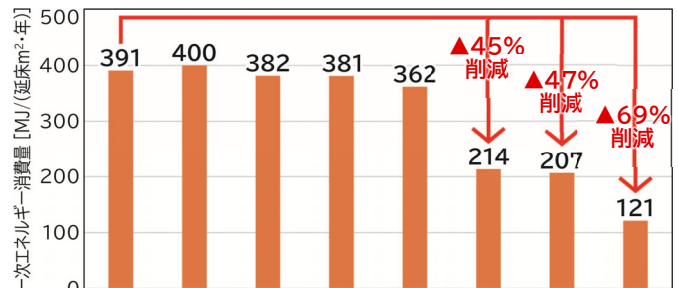


図-8 給湯設備の省エネルギー計画と実績値

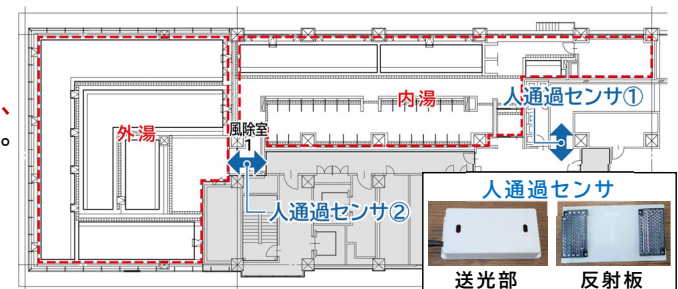


図-11 人通過センサによる大浴場の混雑度検知

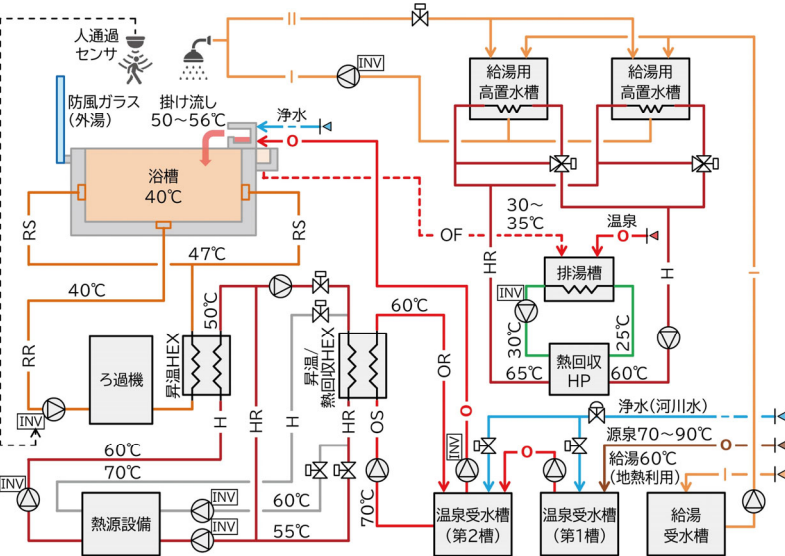


図-9 浴場施設の省エネルギー計画

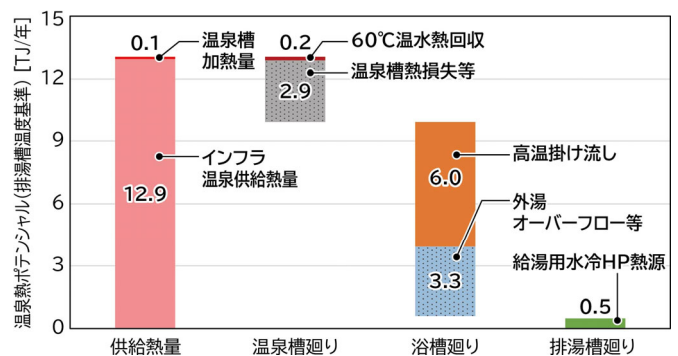


図-12 温泉熱ポテンシャル回収量の実績値

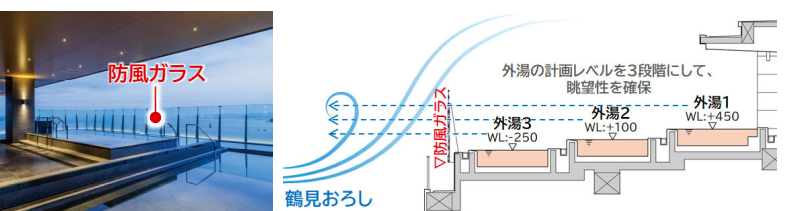


図-10 外湯周囲の防風ガラス

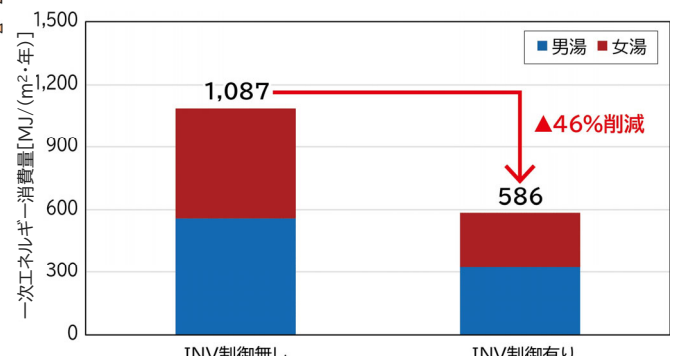


図-13 ろ過循環ポンプINV制御の省エネルギー効果

4. 客室稼働率を考慮した評価指標の提案とエネルギーマネジメントの実践

4-1. 客室稼働率を考慮したエネルギー評価指標

一次エネルギー消費量を宿泊者数基準の原単位で評価する指標：GrEI(Guestroom Energy Index、表-2)を考案し、**宿泊者1人当たりのエネルギー消費量の削減を目指しながら、その延長線上に真の目的である総量の削減を求めた。**GrEIは、宿泊者1人をサービスするために要した一次エネルギー消費量の平均値を示す指数であり、言い換えれば、宿泊施設におけるエネルギーの質そのものである。

4-2. サービス品質に影響しないエネルギー消費量

宿泊実績のある日のチェックイン時刻の15時からチェックアウト時刻の翌朝11時までの電力消費量を「宿泊者が使用する電力」、**それ以外を「宿泊者以外に起因した電力(=サービス無効電力)」と定義した(図-14)。**宿泊者へのサービス品質に影響しない電力の削減を目的として、ホテルオペレーションを改善し、GrEIの向上を図った。

4-3. 運用改善によるGrEIの推移

宿泊予定が無い客室の空調・照明OFFの徹底や、リネン清掃時間帯の空調設定温度の適正化などの運用改善を行った。運用改善が徹底されている様子はGrEI(図-15)の変化に顕著に表れ、開業2年目は前年に比して各月ごとの値が小さくなり、その変動も緩やかになった。ソフト的な対策も含めて、エネルギー消費量を徹底的に削減し、**年間GrEI(12月までの累積GrEI)は0.46から0.35に改善、エネルギー的な側面からのサービス効率が24%向上した。また、客室稼働率が10%増加したにも関わらず一次エネルギー消費量は前年よりも減少し、開業2年目はZEB Ready相当の実績を実現した(図-16)。**

表-2 GrEI(Guestroom Energy Index)の定義

GrEIの定義	
$GrEI = \frac{\text{宿泊者1人当たりの実績一次エネルギー消費量 [MJ/人]}}{\text{宿泊者1人当たりの基準一次エネルギー消費量 [MJ/人]}}$	
累積GrEIの定義	
$\text{累積 } GrEI(n) = \frac{\sum_{k=1}^n \text{k月の一次エネルギー消費量 [MJ/月]}}{\sum_{k=1}^n \text{k月の延べ宿泊者数 [人/月]}}$	
÷ 宿泊者1人当たりの基準一次エネルギー消費量 [MJ/人]	
注記	
宿泊者1人当たりの基準一次エネルギー消費量 [MJ/人] = 基準一次エネルギー消費量 ^{※1)} [MJ/(m ² ・年)] × 対象面積 [m ²] ÷ 基準年間宿泊者数 [人/年] 基準年間宿泊者数 [人/年] = 在室者数(0.07 ^{※1)} [人/m ²] × Σ客室面積(水廻り除く) [m ²] × 年間給湯日数(365 ^{※1)} [日/年] 注1:平成28年省エネルギー基準(非住宅建築物)における標準室使用条件	

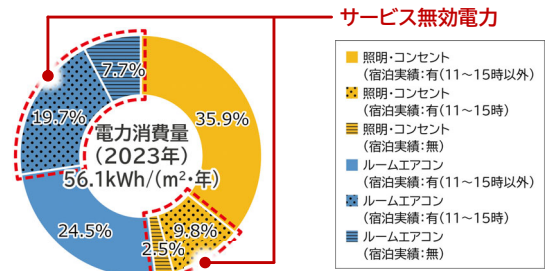


図-14 サービス無効電力の定義

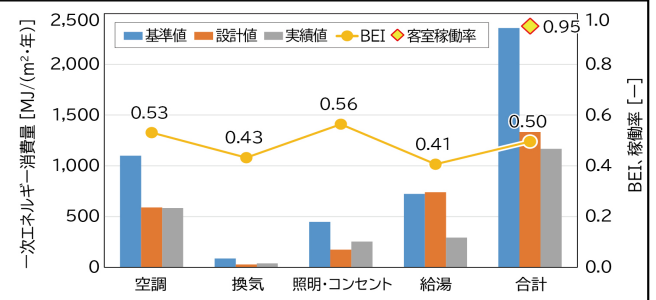
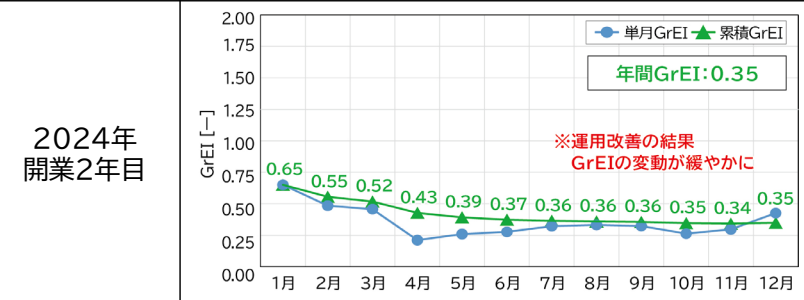
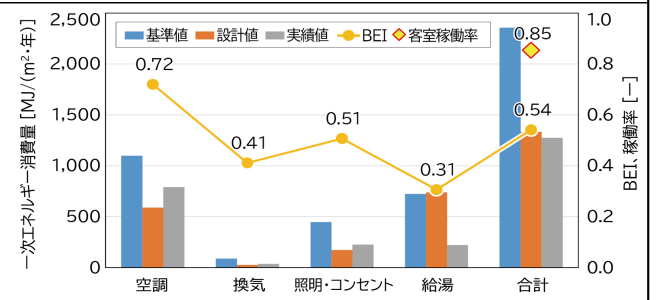
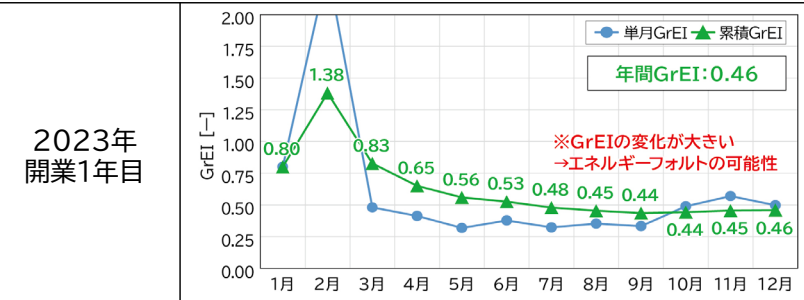


図-15 GrEIの変化(代表客室)

図-16 一次エネルギー消費量の変化(代表客室)

5. 建物全体のエネルギー消費量

図-17に、建物全体のGrEIの推移を示す。チューニングによる設備システムの効率向上や、ホテル運営に配慮したエネルギーマネジメントの実践(開業3年目も継続)により、**2025年8月までの累積GrEIは開業1年目、2年目よりも低い値で推移している。**以上のような取り組みの成果として、建築物省エネ法の対象設備の一次エネルギー消費量の実績値(図-18)は1,233MJ/(m²・年)まで削減され、**運用段階でもZEB Oriented相当の水準(BEI=0.53)を実現した。**また、建物全体の実績値(図-19)は1,805MJ/(m²・年)となり、(一財)省エネルギーセンター公表データの回帰式^{注1)}から算出した基準値:3,912.5MJ/(m²・年)に対して、**▲54%の削減を実現した。** 注1) (一財)省エネルギーセンター公表データ ホテルのエネルギー及び水消費と規模の関係 URL: <https://www.eccj.or.jp/hotel/hotel01/02.html>

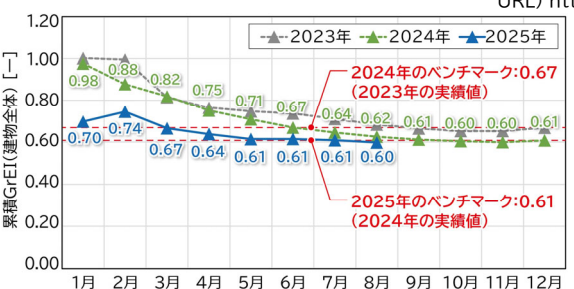


図-17 GrEIの推移(建物全体)

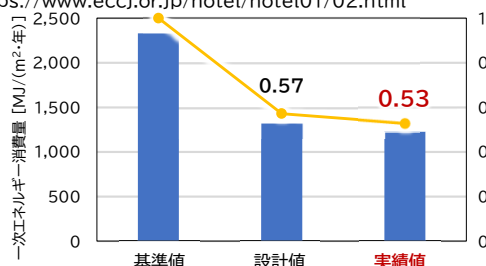


図-18 建築物省エネ法の対象設備の一次エネルギー消費量(2024年度実績値)

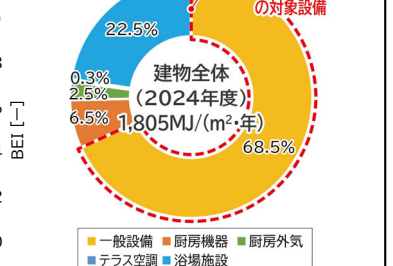


図-19 一次エネルギー消費量(2024年度実績値)