

### 環境再生のデザイン=環境保全エンジニアリング×建築エンジニアリング ⇒ リジェネラティブな建築

浜松駅から車で20分ほどにある佐鳴湖公園に面した住宅である。施主夫婦は佐鳴湖公園の自然に惹かれ、毎朝公園を散歩してから出勤する生活に憧れ、この土地を購入した。佐鳴湖は数年前まで全国ワーストの水質で様々な水質改善や生物多様性の保全の取り組みが行政・大学・団体・地域自治会と様々な立場から行われている。それらの取り組みを敬重して、本住宅も寄与できるような建築の在り方を考え、地域の未利用資源であったみかんの枝木を再利用したバイオ炭（Biochar）に注目した。バイオ炭は水質浄化や土壌改良の高い機能を持っているからである。そこで私たちは舗装ブロックの製造業者との協働で、みかんの枝木を炭化させたバイオ炭を象嵌したバイオ炭ブロックを製造開発した。そのバイオ炭ブロックを外装や内装に仕上げ、約21トンのバイオ炭を利活用した。外壁では高い断熱性をもち、内壁では調湿、空気清浄化を果たし、温熱環境を調和している。さらに雨水に含まれた酸性はバイオ炭ブロックの外壁に吸着され、銅板屋根で浄化され、外構の植栽帯に放水され、土中のバイオ炭でさらに酸性を中性化されて、地下水に浸透して、湿地帯に流れ、湖へ届けられる。建物と敷地全体が雨水浄化樹のようなポケットとして、佐鳴湖公園の環境に視覚的にだけでなく、生態的にもつながっている。地域の未利用な木質資源と佐鳴湖の水資源の循環の結び目としてバイオ炭を位置付け、カーボンニュートラルに向けた生物資源（バイオマス）によるリジェネラティブ（環境再生）な建築の実践である。

この佐鳴湖の環境再生のためのデザインには、環境保全エンジニアリングと建築エンジニアリング（資源・材料・製造・構造・設備）の融合が不可欠であった。この計画で必要とされた環境保全エンジニアリングとは、水質汚濁対策、廃棄物利活用など環境問題の解決と保全に取り組む技術である。機械メーカーや研究機関、環境調査会社においては、水質汚染を測定したり、浄水する機器や技術を専門的に開発されているが、ここではそれらの特殊機器にのみ頼って解決するのではなく、環境保全エンジニアリングの発想や考え方を注視した。水質浄化のための環境保全エンジニアリングの発想としては、水耕栽培などのバイオ・エコエンジニアリングの活用、生物活性炭などを用いた高度浄水処理、土壌や森林、水生植物（アマモなど）の自然の浄化能力の活用、そしてヤマトシジミなどの生物の捕食能力を利用した水質改善などが挙げられます。これらは環境負荷が小さく、資源循環型で低コスト・低維持管理で、複合的に水質浄化に活用されている。こうした環境エンジニアリングの発想や考え方、資源循環から素材開発、構造・設備に至る建築の各エンジニアリングのあらゆる過程において指針に置きつつ、技術とデザインの融合を図った。具体的には、枝木のバイオ炭への利活用、バイオ炭ブロックの製造開発、バイオ炭による浄水のための水の流れのデザイン、土と空気の流れを活かす高床式の構造、バイオ炭を活かした省資源、省エネの設備などである。それら全てが1つの環境建築として融合され、建物や敷地だけで完結するのではなく、佐鳴湖公園の自然や湖水への環境再生へ貢献していくという、環境再生建築を目指した。



南側道路からの正面外観。傾斜地に対して水平に伸びる均整あるプロポーションとしている。1階を高床として道路からの視線を遮り、床下には湿地帯からの冷風が流れ除湿する。



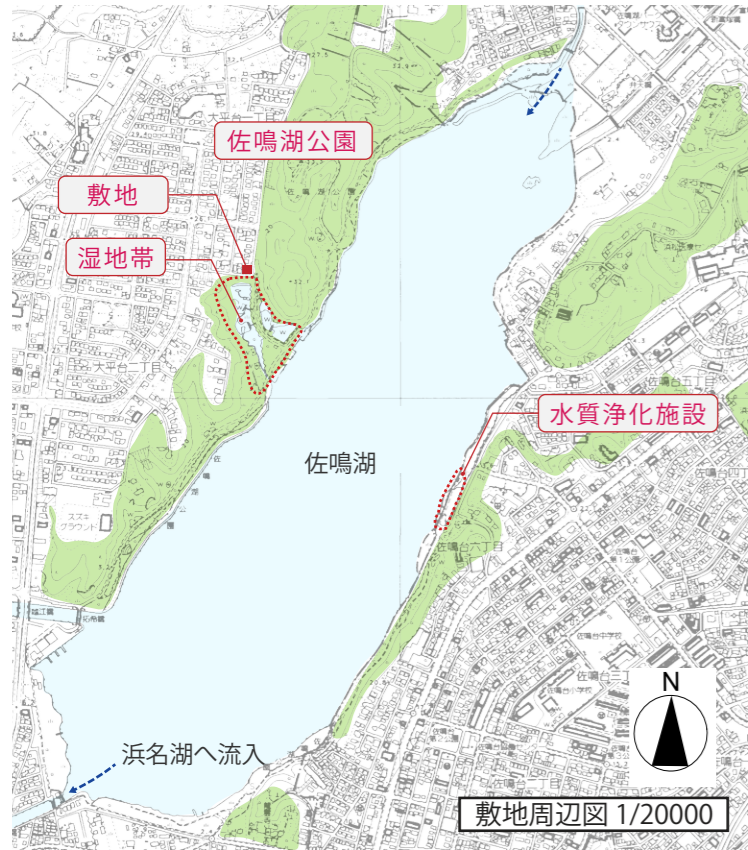
佐鳴湖公園の緑に包まれたリビングダイニング



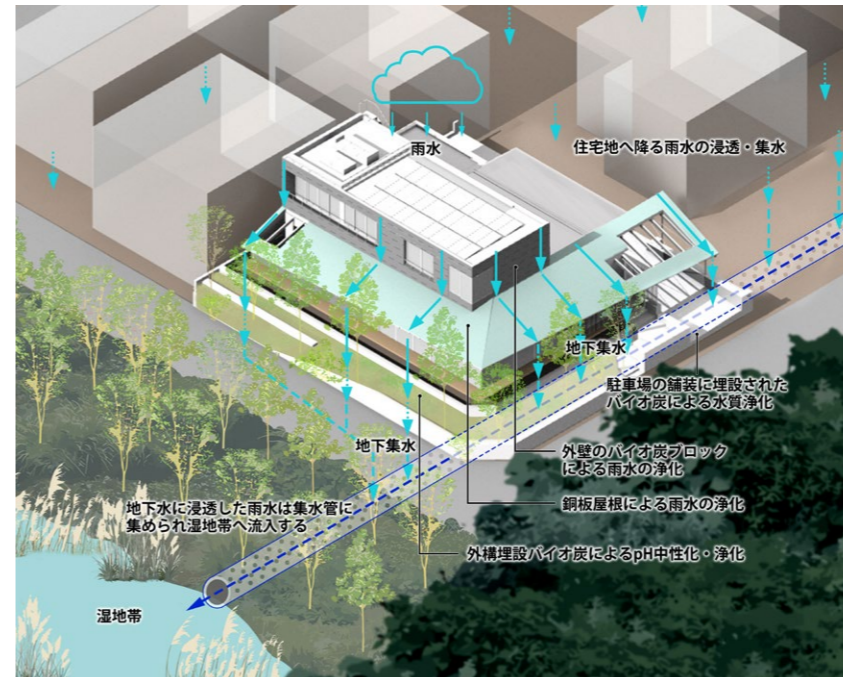
2階廊下。バイオ炭ブロックで仕上げた壁面を9mに渡るトップライトからの光が美しく照らし、時の移ろいと季節の変化が感じられる空間になっている。

# BIOCHAR

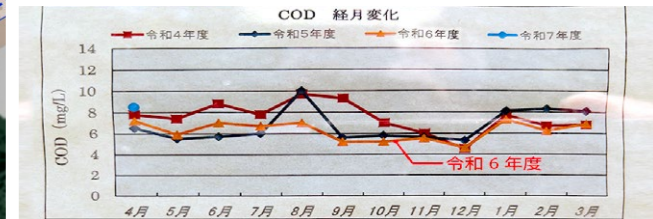
## 佐鳴湖公園の住宅



外壁では高い断熱性をもち、内壁では調湿、空気清浄化を果たし、温熱環境を調和している。さらに外壁では雨水の浄化を促進し、その雨水がバイオ炭同様に水質浄化の作用がある銅板の屋根を流れ、外構の植栽帯に放水され、土中のバイオ炭を介してさらに浄化して地下水に浸透して、湿地帯に流れていく。建物と敷地全体が雨水浄化樹のようなポケットとして、佐鳴湖公園の環境に視覚的にだけでなく、生態的にもつながっている。宅地の雨水を効果的に集水、浄化、浸透させ、そして湿地帯から佐鳴



湖へ水を循環させることを目指している。実際にどこまで佐鳴湖の水質改善の効果が生まれているかを竣工後、継続的に調査を続け、効果検証をしていくために、着工前の2023年冬と施工中の2023年夏に敷地周辺をはじめ、敷地目前に広がる森や湿地帯、そして佐鳴湖公園、佐鳴湖の護岸の計60地点で水質・土質の計測を行った。湧水が溢れ出す敷地目前の湿地帯の水質と比較すると佐鳴湖岸の水質は、アルカリ性が高く、PPMとECの値が増大していることが



分かった。さらに竣工した2024年の1年の佐鳴湖のCOD（化学的酸素要求量※水質汚濁の指標の一つ）は、浜松市が記録したCODの経月変化の折れ線グラフの表を見ると、過去2年より特に7月～10月の夏から秋にかけて1.5～2.0mg/L程度下がり、経年のグラフと見ても分かるように着実に水質浄化が進んでいることが分かる。

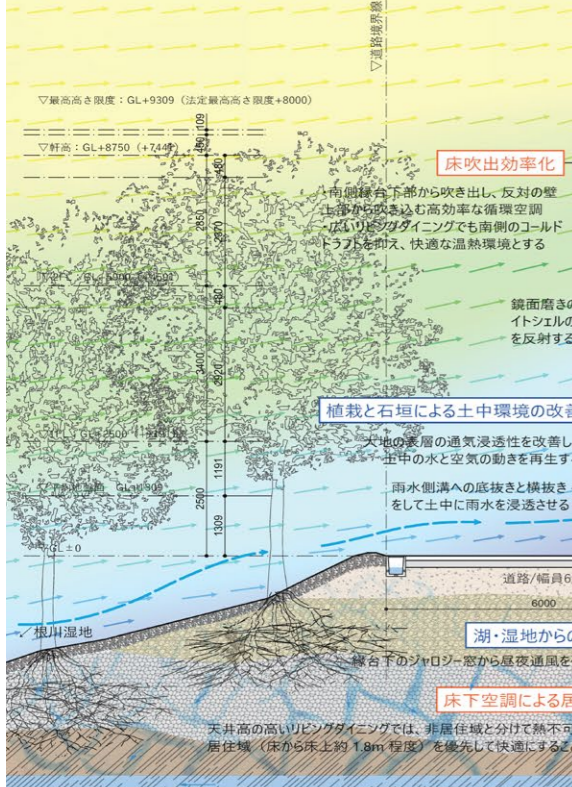
### ■佐鳴湖の水質汚染と環境保全の取組み



佐鳴湖は、静岡県浜松市にある浜名湖の東方に位置する120haほどの小さな穏やかな汽水湖で、周囲に自然も多く残されており、市民の憩いの場として親しまれている。一方で、2001年から連続してCOD（化学的酸素要求量）**全国ワーストワン**の湖となっていた。そこで、静岡県と浜松市は2015年に佐鳴湖地域協議会を発足し、このワーストワンからの脱却と快適な湖岸景観の形成を目指し、佐鳴湖を取り巻く環境の改善及び保全について、様々な視点で調査・研究を行い、市民自らも環境保全活動を推進している。このような佐鳴湖の水質問題とその改善への取り組みを浜松市、公園管理協会などの関係者から直接ヒアリングすることから計画を始めた。

(※ COD (化学的酸素要求量) は湖沼や海域、排水などの汚濁を測る代表的な指標の一つ)

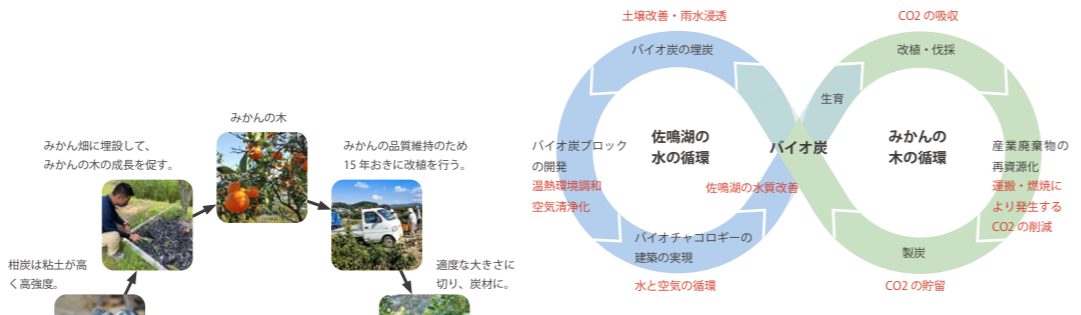
### ■水質浄化の流れ



### ■ZEH取得による環境性能と温熱環境

環境性能としては、現場発泡ウレタン吹付断熱による外皮の高断熱化 (UA値 0.52W/m<sup>2</sup>・K)、ダイレクトゲインによる緑台の石への蓄熱、全長34mの共用スペースの全開口木製サッシとトリプルガラスの採用、床下空調による居住域快適性の確保、パッシブ熱交換換気による空調負荷の低減、太陽光発電システムの設置などにより、パッシブデザインを採用しつつ、高い環境性能を確保している。また、蓄電池や過発電量を逆潮する装置を設けることにより、災害時には電力自給を可能とし、結果として運用時(住んでいる時)の年間一次エネルギー消費をゼロ以下にする**ZEHを実現**している。家庭部門CO<sub>2</sub>については約40%の削減目標に対して、**56%削減**している。温熱環境としては、冬は、温度はリビングダイニングと書斎は23℃~25℃で、ベッドルームは18℃で安定している。湿度は書斎が55%~65%で快適な湿度が保たれている。夏は、温度は特にリビングダイニングが25℃で常時安定している。湿度は各部屋共通して45%~55%で保たれている。

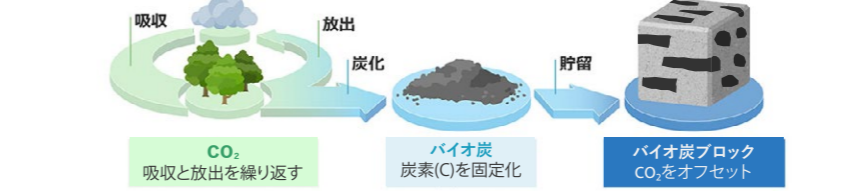
### ■未利用資源としてのみかんの木の循環利用から佐鳴湖の水質浄化へ



佐鳴湖の下流には有名な三ヶ日みかんの産地がある。このみかんの木は、みかんの品質維持のため15年おきに改植されている。そこで伐採された枝木は**毎年約6000トン**にも上り、**産業廃棄物として処理**されている。その産廃処理費用は農家の大きな負担になっている。このみかんの木を活用し、**地元の炭職人とバイオ炭に製炭(再利用)**を行った。

バイオ炭の高い水質浄化機能に着目し、みかんの木を再利用したバイオ炭を建築・土木にも利活用し、佐鳴湖の水質改善に寄与するような建材を開発して、佐鳴湖の水質浄化に寄与する建築を介して、**環境再生(リジェネラティブ)**を促していく。バイオ炭がみかん畑の木資源と佐鳴湖の水資源の循環の結び目のような役割を果たす。

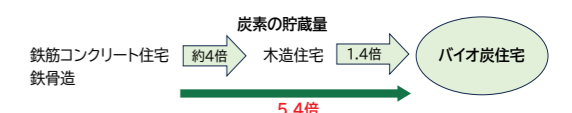
### ■水質浄化とカーボンストックの効果を持つバイオ炭ブロックの開発



バイオ炭は大きな比表面積をもち、細孔が発達しているため、多くの環境汚染物質に対する吸着性能は高い素材である。みかん畑の枝木は、木材の密度が高いため、1000℃の燃焼に耐え、空洞がなく締まった固い炭ができ、バイオ炭には最適な木質資源といえる。そこで**舗装ブロックの製造業者との協働**で、コンクリートに粉殻燐炭を配合し、みかんの枝木を炭化させたバイオ炭をその粉殻燐炭配合コンクリートに象嵌した**バイオ炭ブロックを国内で初めて開発に成功した**。単にバイオ炭を粉体にして配合するのではなく、原型のまま象嵌したのは、無機質なコンクリートと有機質な木炭を一つの建材として融合した美しい表情を作り出したかったからである。そのため、バイオ炭とセメントとの密着強度を保つには大変苦戦を強いられた。普通に象嵌して一体にコンクリートと打設すると、バイオ炭とコンクリートとの剥離が起き、フレクラックが入ってしまうような強度低下を招いた。そこでバイオ炭1つ1つに事前にノロペーストを塗り、乾燥させたあとに象嵌してコンクリートと打設を行った。さらに、粉殻燐炭をセメントに混ぜることで、コンクリートが水和反応を起こす際に水が蒸発してコンクリートの強度を低下させるという問題を解消することができた。この点については強度と不透水性が通常と比べてそれぞれ20%、50%増すという実験結果も公表されている。打設後脱型をして、ブロック体を厚さ30mmのタイル状に切断加工したバイオ炭ブロックを外装や内装に仕上げ材として利活用した。**ここで使用したバイオ炭の総量は約21トンにも及んだ**。

### ■バイオ炭建築による高い炭素貯蔵量

バイオ炭による炭素貯留量	59.82 [t-CO <sub>2</sub> ]
バイオ炭の量[ton] × (炭素含有率) × 100年後の炭素残存率 × 44/12	
21.18 × 0.77 × 0.89	
木材による炭素貯留量	42.85 [t-CO <sub>2</sub> ]
木材の量[m <sup>3</sup> ] × (炭素含有率) × (木材の密度[t/m <sup>3</sup> ]) × 44/12	
61.51 × 0.5 × 0.38	

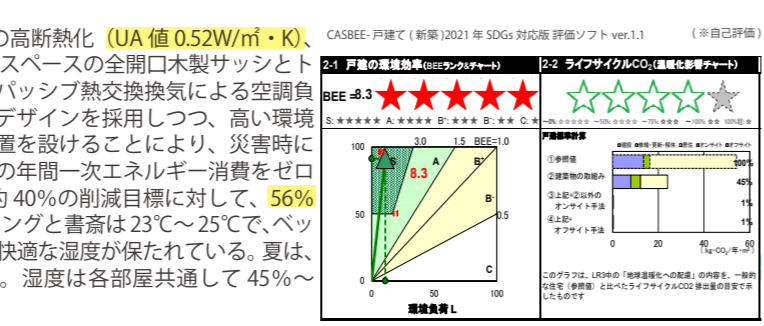


バイオ炭は、大気中に排出されたCO<sub>2</sub>を吸収した木々を炭化することで、CO<sub>2</sub>の炭素貯留を可能にしてくれる。つまり、バイオ炭ブロックは、地球温暖化の原因とされているCO<sub>2</sub>を炭素資源と捉えて回収し、多様な炭素化合物として再利用することで、CO<sub>2</sub>排出量を減らすネガティブエミッション技術であり、**カーボンリサイクルという温室効果ガス削減策として期待される新しい素材**である。木造住宅はRC造・S造と比べ、炭素貯蔵量は約4倍にも上がり、CO<sub>2</sub>削減に貢献度が高い。その木造住宅と比較して、本計画のバイオ炭建築との炭素貯蔵量の差を比較してみた。本計画の規模の住宅が仮に純木造とした場合の木材使用量は約61トンであるのに対して、バイオ炭の実際の使用量は約21トンであった。バイオ炭は炭素含有率0.5の木を炭化させることで炭素含有率が0.77まで上がり、100年後の炭素残存率も0.89と高いため、**炭素貯蔵量は木造住宅に比べて、約1.4倍、RC造・S造と比べると約5.4倍も高い**ことが分かった。未利用資源である木質バイオマスを利活用したバイオ炭建築は、カーボンニュートラルのための新しい選択肢を提示できる可能性がある。

### ■現場写真



### ■バイオ炭ブロックの製造過程



**建築概要**  
 住所: 静岡県浜松市中央区  
 家族構成: 夫婦 + 子供2人  
 構造: 鉄骨造  
 階数: 地上2階  
 敷地面積: 595.99m<sup>2</sup>  
 建築面積: 237.01m<sup>2</sup>  
 延床面積: 307.48m<sup>2</sup>  
 竣工: 2024年1月31日  
 総工事費: 約35,000万(税抜)

**省エネルギー性能**  
 地域区分: 6  
 UA値 (外皮平均熱貫流率): 設計値 0.52W/m<sup>2</sup>・K (基準値 0.87W/m<sup>2</sup>・K)  
 η AC値 (冷房期の平均日射熱取得率の計算値): 設計値 1.8 (基準値 2.8)  
 設計一次エネルギー消費量: 設計値 87.9GJ/年 (基準値 203.2GJ/年)  
 BEI値: 0.44  
 削減率: 56% 削減

**設備概要**  
 暖房設備: 電気温水床暖房、高効率ハウジングマルチエアコン  
 冷房設備: 高効率ハウジングマルチエアコン  
 給湯設備: 電気ヒートポンプ給湯機  
 換気設備: ダクト式第一種全熱交換型換気 (デシカント調湿機)  
 照明設備: LED照明、多灯分散方式照明制御  
 創エネ設備: 太陽光発電 13.28kW、蓄電池 9.0kW



バイオ炭ブロック張りの外壁と人工緑青をかけた銅板屋根



佐鳴湖公園の生態系に寄与する場所とするため、地域の生物が好む植物を選定し、生物多様性の循環を促す。



エントランスからダイニング、リビング、和室、浴室へと立面2面を約40mに渡って展開する大開口から佐鳴湖の森の連続した空間が、様々な場と並んでシームレスに続いている。



佐鳴湖公園の森を切り取るピクチャウィンドウをベッドの正面に設けた2階マスターベッドルーム



2階バスルームは、佐鳴湖公園の森に開放された半露天風呂のような場で、森林浴と入浴が同時にできる。



北側駐車スペースからの正面外観。バイオ炭をランダムに象嵌した左官仕上げで佐鳴湖の水面のきらめきを表現している。

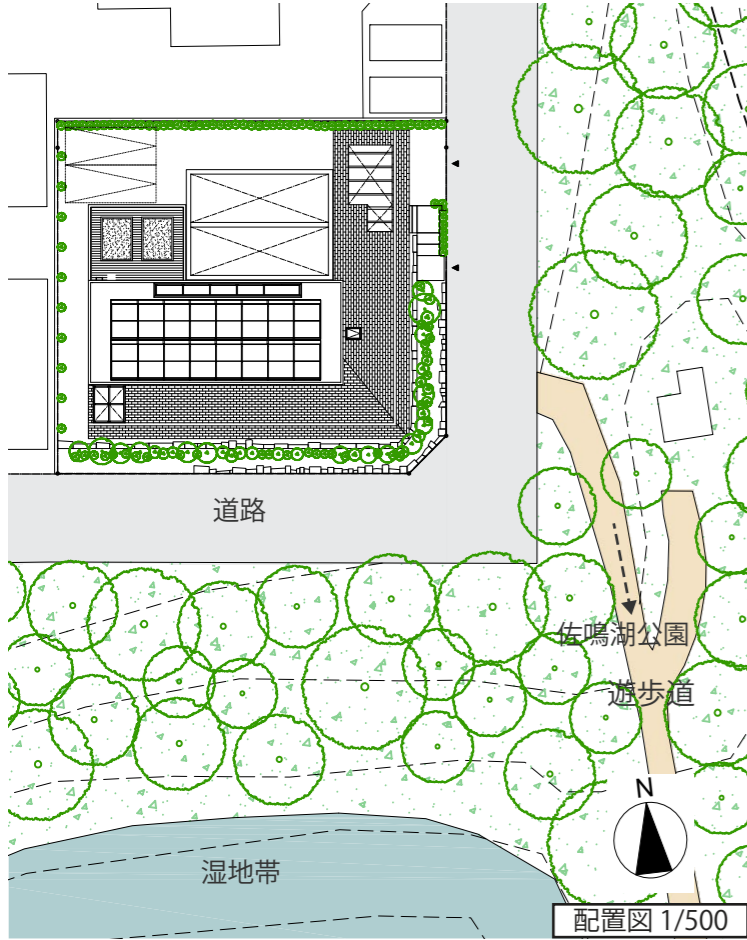


黒漆喰壁の上部にバイオ炭ブロックタイルを張った黒い空間が、クラシックカーのフォルムを美しく引き立てる。

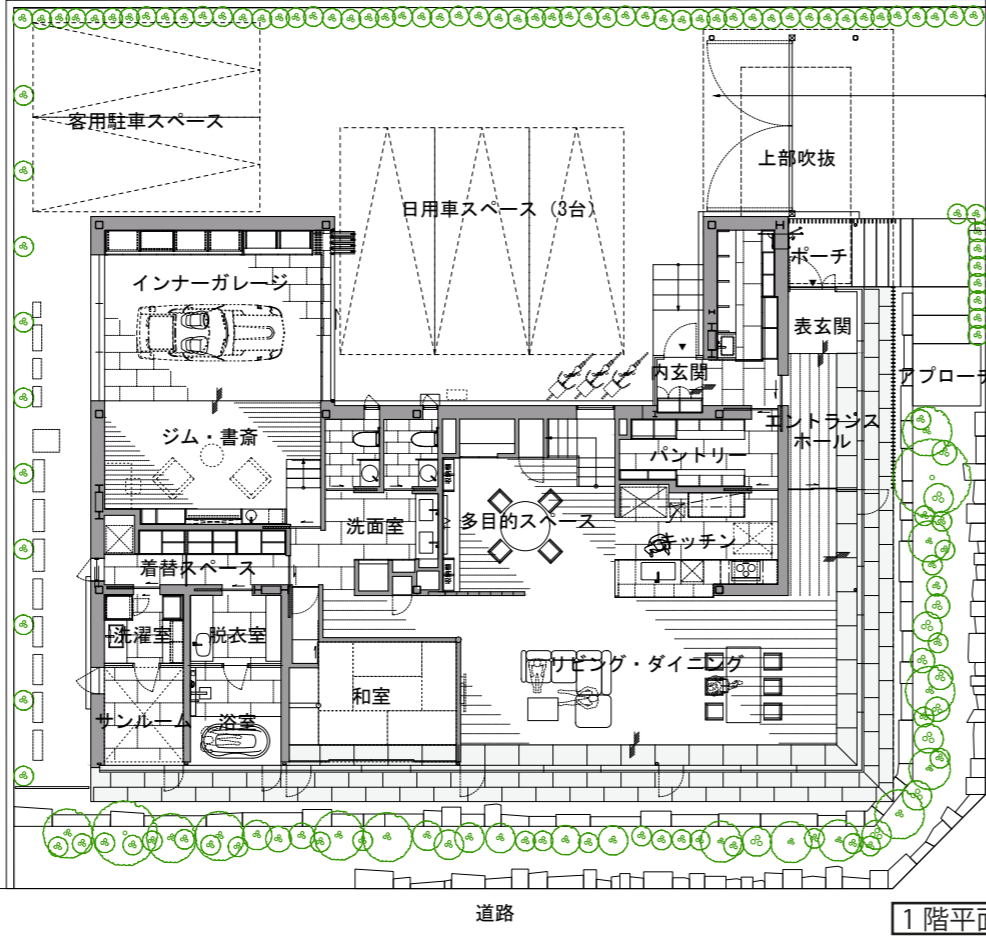
■建築計画

敷地には、条例により8mの高さ制限、道路境界線から3mの壁面後退、隣地境界線からは1.5mの壁面後退、30%の緑化率確保、駐車スペースの道路接道は2台までなどの計画制限があった。5台分の駐車スペース確保という施主からの意向があった。そのため、北東角から乗入口をとり、駐車場5台分をまとめ、通りから車が見えないようにした。その上でリビングダイニングなどの共用スペースを思い切って、道路2面側に植栽帯3m確保してギリギリまで寄せた。

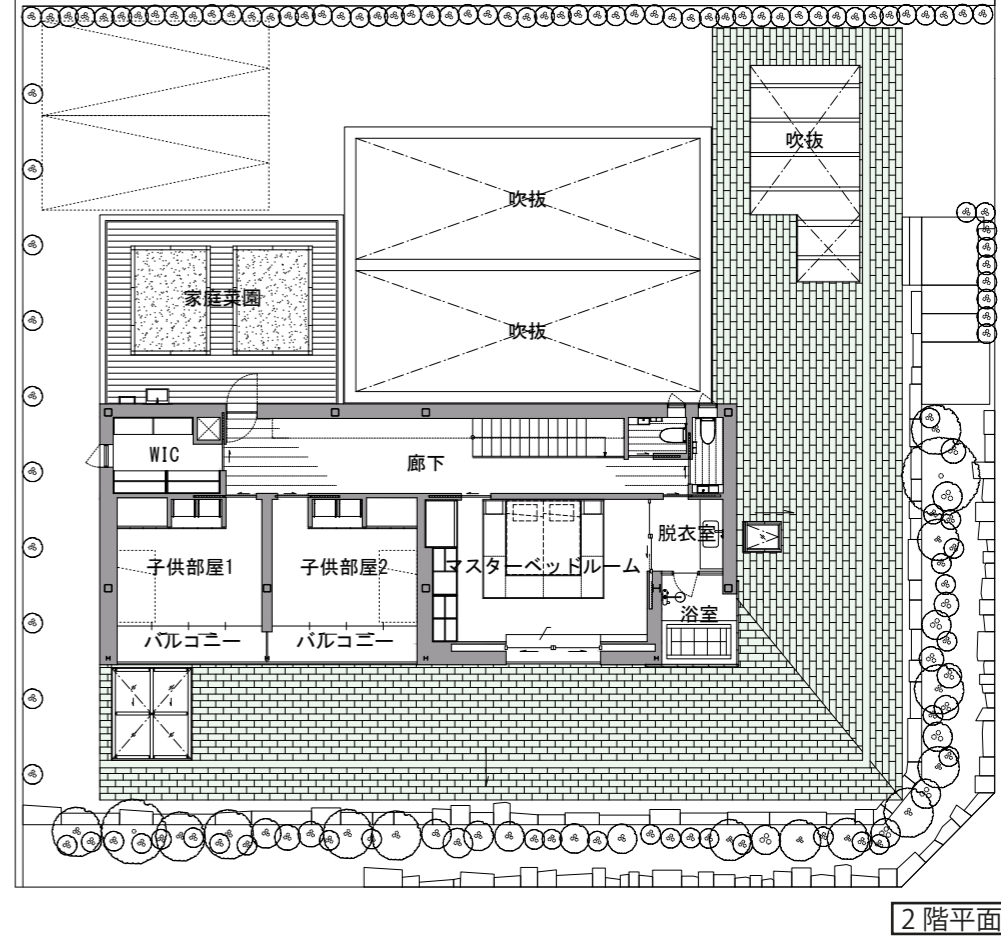
そして、道路2面からの視線を切るために1階を高床にすることで、L型の全長34mにもおよぶ縁側のような空間にした。高床を採用したのは、敷地周辺には湿地帯に流れ出る地下水が豊富にあるため、上がってくる高い湿気を床下へ通風させて抑制するためでもある。リビングダイニングは、安心感と佐鳴湖公園の森への開放感が共存した心地よさが生まれている。



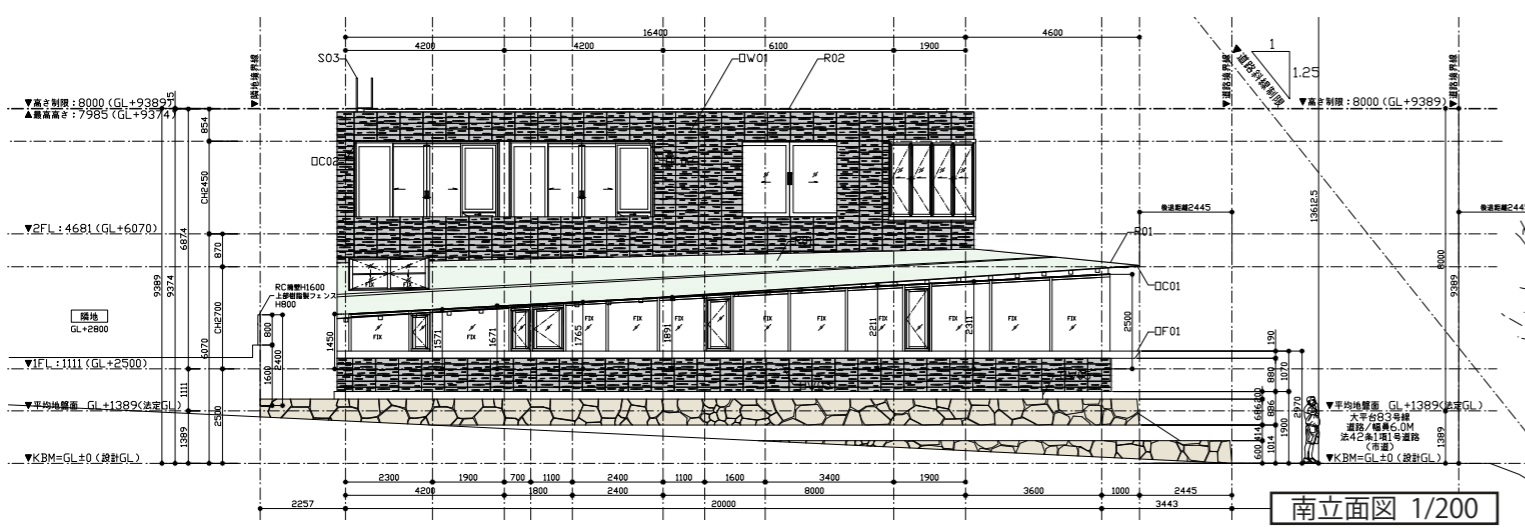
配置図 1/500



1階平面図 1/200



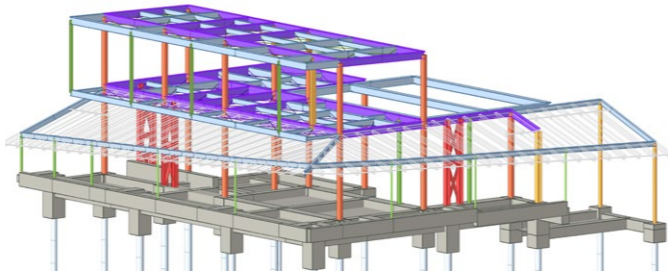
2階平面図 1/200



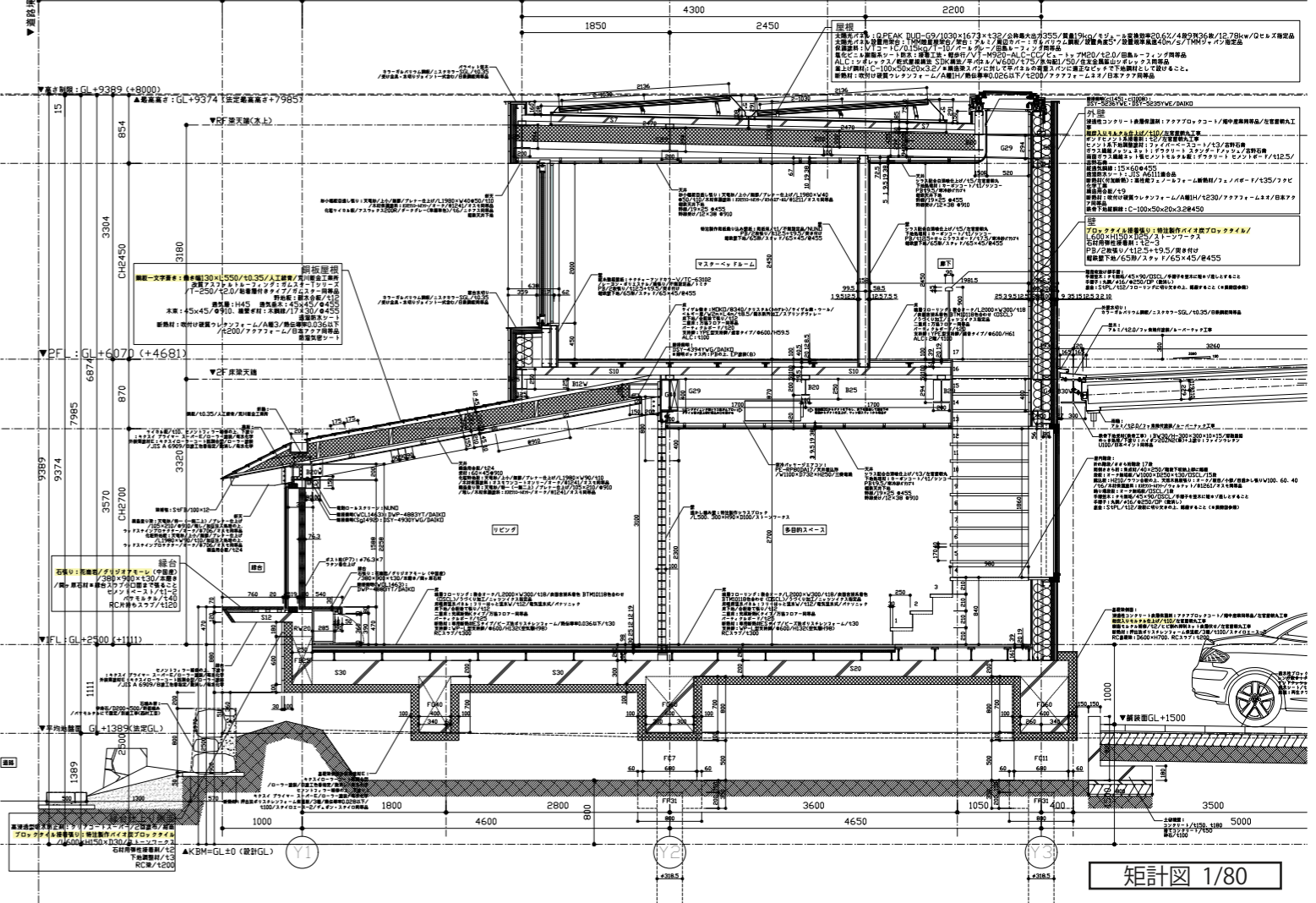
南立面図 1/200

■構造計画

丘陵地であり、支持層はGL-13mと深く位置にあり、鋼管杭による杭基礎となった。杭頭定着の基礎柱を通常とは異なり地上に立ち上げることで高床形式の基礎構造とした。高床形式とすることで土中環境への負荷低減や床下からの湿度換気に配慮した。高床形式とすることで上屋は軽量構造とする必要があった。上屋の主構造は長スパン対応や軽量構造とするために鉄骨ラーメン構造を採用したが、平面形状が不定形であったためにラーメン構造だけで偏心率の調整が難しかった。そのためにプレース壁を部分的に追加して剛性バランスを取った。下屋の屋根については桁梁までは鉄骨とし、垂木は木梁現しとしている。下屋の屋根形状は緩やかに高さが変わり、屋根平面が振れる形状なので、木梁と合板の柔軟性のある接合とすることで振れ平面に対応した。構造素材を適材適所で使い分けることであらゆる問題に対し、柔軟な対応で応える構造となるように設計した。



構造解析モデル



鉅計図 1/80