

首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 建築学域
平成24年度修士論文

建築空間における間接採光手法に関する考察及び設計提案
Research and Design Proposal based on Indirect Natural Lighting Technique in Architectural Space

11886443 間部 賢太郎
指導教員 小泉 雅生

目次

序 背景と目的	003
background and purpose	
第1章 採光の評価方法	009
the current evaluation method of natural lighting	
1-1 光環境デザインの現状	
1-2 明るさ感を用いた見え方の検討	
1-3 Feu理論	
第2章 採光方法事例分析・体系化	014
analysis of natural lighting technique	
2-1 事例分析・間接採光手法の抽出	
2-2 間接採光手法の分類・体系化	
2-3 章結	
第3章 事例の定量分析	023
simulation of natural lighting technique	
3-1 建築事例写真分析	
3-2 建築事例3D分析	
3-3 章結	
第4章 設計提案	040
housing design proposal	
4-1 計画概要	
4-2 空間モデルスタディ	
4-3 設計提案	
結 総括と展望	068
conclusion and prospects	
参考文献	070
資料編	071
謝辞	083
論文梗概	085
プレゼンテーションボード	092

序 背景と目的

background and purpose

序

論文要旨

近年，地球温暖化やオゾン層の破壊などの環境問題が注目視されるようになり，環境に配慮した様々な社会的取り組みが展開されるようになった．建築の分野においても環境配慮型建築への意識が高まるようになり，建築計画において採光を取り入れることの省エネルギー効果などが重要視されつつあるが，それらは建築の性能として語られることが多く，外光を遮光するか，採光するかといった二者択一的な計画が大半を占める．それは光環境が照度といった物理的な光量のみでしか評価されていないことが原因として挙げられる．また意匠の観点からも，人間の知覚の多くは視覚に依存することから，光環境を活かすことが空間の質を大きく左右する．こうした背景から本論文において，建築空間における採光手法や心理的な光量の評価方法を再考することで，新たな建築計画とその設計プロセスを示すことを目的とする．

本論文は以下に示す6つの章で構成される．

序章では，上述の環境配慮型建築の社会背景やその採光に対する取り組みと採光評価方法の現状について記述し，新しい評価軸の必要性と，変動が大きく視覚への負担が大きい，グレアによる不快感をもたらすといった問題点の多い直接採光に対し，間接採光の有効性を示すことで，本論文の目的について論じる．

第1章では、採光計画のあり方とその分析・評価手法の現状を纏める。多くの場合、光環境評価は視作業性に着目して行われ、水平面照度を基準として評価される。この指標では光環境デザインの際に重要視される(1)視認性の確保、(2)用途に応じた視覚的效果の創出、(3)グレアのような不快要因の排除、のうち(1)のみしか検証できず実用的ではない。それを受けて近年、空間の輝度値に着目し、明るさの対比効果を考慮することで、空間の明るさを人間の視覚に近い形で表現する「明るさ感」という概念が考案された。その明るさ感は光源を物体色として認識できる上限輝度、色モード境界輝度から測定することで精度良く評価できる。その考え方に基づく「Feu 理論」は視野内の輝度分布を利用して空間における明るさ感の数値化を行うもので、明るさ感の有効な評価指標といえる。そこで本論文においては、間接採光の評価手法として「Feu 理論」を取り上げ、以降の分析を行うこととした。

第2章では、間接採光手法が見られる建築を、実地調査を行ったものを中心に取り上げ、事例から分析を行った。建築図面や写真を基に間接採光手法を抽出し、ダイアグラムを作成、それらを、①開口部内の奥行によって、光を和らげる「奥行型」、②天井面や壁面等、ある部位を照らすように採光する「照射型」、③開口部に配される複数のガラス面で光の屈折・反射・透過を組み合わせる「拡散型」、④開口部の素材の透過性や色を変更することで調光する「素材型」の4つに分類した。それらを方角や光の進路を基に考察し、以降の分析や設計提案の為に参考とした。

第3章では、間接採光手法によって得られる効果の分析及び定量的な表現を目的に、建築写真分析と3Dシミュレーション分析を行った。写真分析では、実空間の輝度と、カメラがjpgデータとして現像する際の信号値の対応関係を実験によって検証し、実地調査により撮影された建築写真から輝度分布図を作成した。また第1章で有効性が示されたFeu値を算出することで、空間の明るさ感を数値化した。更に3Dシミュレーション分析では、写真分析で得られた考察を詳細に検証する為、一般的なサイズの居室、W3200mm×D4000mm×H2400mmを仮定し、一定の面積を持った開口部を異なる手法で配することにより、どのような明るさ感を得ることができるか、シミュレーションソフトradianceを使用して検証、同様に輝度分布図作成とFeu値の算出によって、各採光手法の性格を比較評価した。

第4章では、それまでの章で行った分析の有効性を示す試みとして、第3章によって効果が検証された採光手法を応用し、光をテーマにした戸建住宅の設計を行った。敷地は首都圏近郊の一般的な住宅地とした。従来、平面・断面計画の後に採光に関する検討が成されるが、本提案においては、設計の初期段階から採光方法を検討し、シミュレーションを重ねることで、第1章で示した光環境デザインの三つの側面における(2)(3)を満たす豊かな光環境を創出した。またその建築提案に対しても、輝度分布図の作成、Feu値の算出を行うことで、空間の状態を定量的に表現することを可能にした。

結章では、本研究で行った分析・設計提案について総括と展望を示した。環境配慮型住宅は一般的な平面構成に対して環境装置を付加することが多いのに対し、採光計画から建築設計を始めることによって、建築と一体化した採光手法と、豊かな光環境を実現することができた。以上より、間接採光手法を用いることによる空間への影響を定量的に評価し、採用することの可能性を示した。

序 背景と目的

近年，地球温暖化やオゾン層の破壊などの環境問題が注目視されるようになり，環境に配慮した様々な社会的取り組みが展開されるようになった．建築の分野においても環境配慮型建築への意識が高まるようになり，建築計画において採光を取り入れることの省エネルギー効果などが重要視されつつあるが，それらは建築の性能として語られることが多く，外光を遮光するか，採光するかといった二者択一的な計画が大半を占める．

またそれは光環境が照度といった物理的な光量のみでしか評価されていないことが原因として挙げられる．太陽光は太陽の動きによって予測することができるが，天候の影響を受けやすく安定しない．1日の中を見ても変動が大きいなどの理由から光環境を定量的に扱うことは難しいとされている．



序 背景と目的

一方、意匠の観点からも、人間の知覚の大部分は視覚に依存することから、光環境を活かすことが空間の質を大きく左右すると言える。建築という概念が生まれてから現代まで、建築空間における光というテーマは最重要なものであった。しかし戦後復興において、大量生産、大量供給が主題となった時代背景により、建築の価値も床面積へとシフトした。本来、ひとが自分で居場所を見つけるように建築をつくってきたのに対し、現代においては居室という名詞が空間を規定し、その名詞にとらわれるように行為が展開されている。低成長時代、成熟社会へとシフトしつつある本国では、様々な分野で資本に変わる新たな価値観が求められており、建築空間にも新たな価値が求められる。古来よりひとは居心地の良い場所を見つけ、ては屋根をかけ、居場所をつくってきた。プリミティブハットと呼ばれるその建築は名詞ではなく、形容詞によって空間が規定されたモデルであると言える。そうした形容詞によって空間をつくりだすことが、現代における新しい価値になるのではないだろうか。

こうした背景から本論文において、建築空間における採光手法や心理的な光量の評価方法を再考することを主題とし、新たな建築計画とその設計プロセスを示すことを目的とする。

第1章 採光の評価方法

the current evaluation method of natural lighting

1-1 光環境デザインの現状

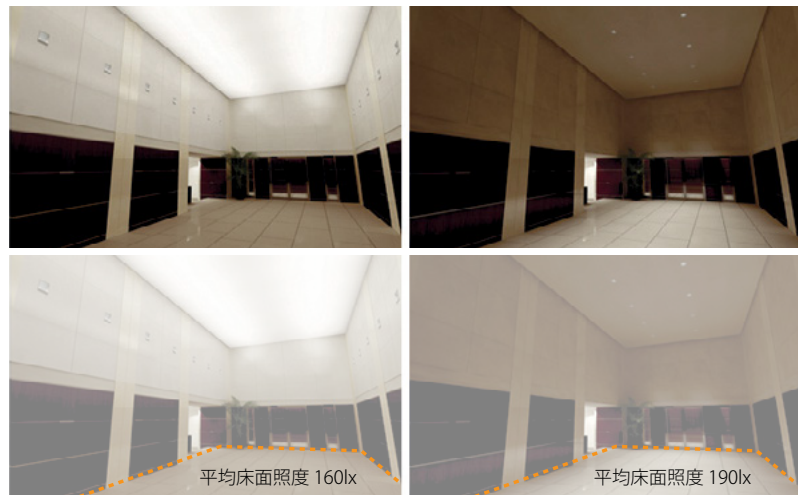
1-2 明るさ感を用いた見え方の検討

1-3 Feu理論

1

1-1 光環境の評価方法の現状

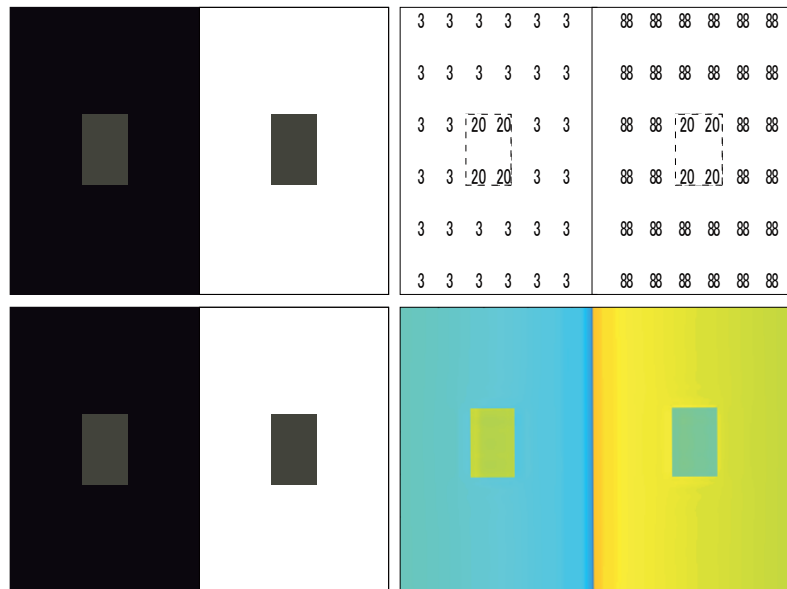
現状，光環境の評価方法は空間の視作業性を考慮するため，水平面照度を用いられることが多い．しかしこの指標では光環境デザインの際に重要視される(1)視認性の確保，(2)用途に応じた視覚的效果の創出，(3)グレアのような不快要因の排除，のうち(1)のみしか検証できず実用的ではない．下図のような空間において，左の空間の方がより明るいと感じるが，平均床面照度のみを比較すると右の画像の方が明るいということになる．このように水平面照度からは物理的な光量のみしか扱うことができず，光の対比効果などによる心理的な光量を評価することができない．空間の明るさを評価するには別の指標が必要となるだろう．



- 明るさと床面照度の不一致

1-2 明るさ感を用いた見え方の検討

人間の視覚は単純な輝度を認識している訳ではなく、輝度の対比効果によって異なる認識をしている。また実際順応という効果によって暗い空間でも視認することはできるし、まぶしい空間でも時間の経過によってまぶしく感じなくなる。それを受けて近年、空間の輝度値に着目し、明るさの対比効果を考慮することで、空間の明るさを人間の視覚に近い形で表現する「明るさ感」という概念が考案された。下記の図の中央にある真ん中部分は同じ輝度値を持ったグレーであるが、右側の方が暗いグレーに見え、左側の方が明るく見える。このように人間の視覚は輝度の対比効果によって補正して認識しており、右下の画像がそれを考慮して作成された明るさ画像である。明るさ感は光源を物体として認識できる輝度の限界値、色モード境界輝度法によって精度よく評価できるとされている。



- 輝度対比効果と明るさ画像

1-3 Feu理論

一方空間の明るさ感を評価するためには、定量化が必須項目である。単に明るさ感を画像として示すだけでは光環境デザインには応用できない。また色モード境界輝度法は人間の視感評価に頼らなければならないため、照度設計のように設計条件から計算によって値を求められないことが課題であった。そこで岩井らは住宅居住空間を想定した実験を行い、

(1)誘導視野内（左右100度×上下85度）の輝度の平均値

→空間座標軸への誘導効果に関与する視野として定義されており、空間からの影響を強く受ける範囲。

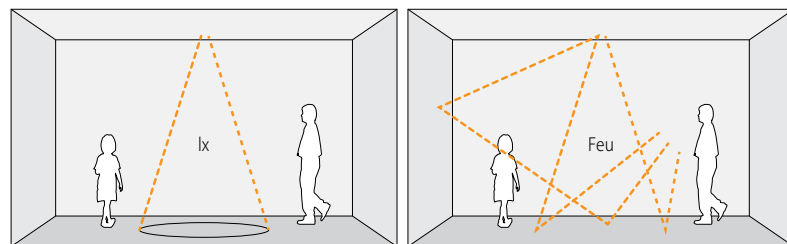
(2)幾何平均による視野内の輝度の平均値

→明るさの感覚はFechnerの法則に代表されるように輝度の対数に比例する。

(3)1000cd/m²以上の輝度を除いた平均値

→屋内環境下で明らかに発光部として知覚される1000cd/m²以上の輝度は除外する。

といった3つの計算式から色モード境界輝度 L_c を推定する方法を検討した[3]。

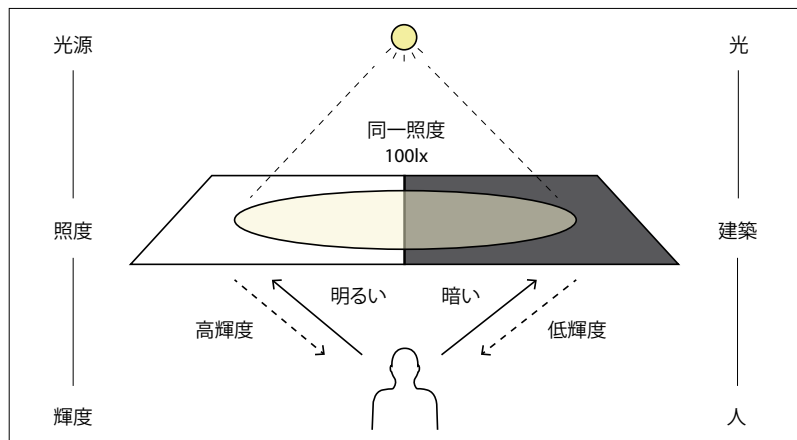


1-3 Feu理論

視野内輝度分布 L_c は色モード境界輝度 L_g と高い相関関係を示しており、0.7乗に比例するとされている。そこで以下の計算式によって求められる値を明るさ感評価指標としてFeuと名付けた。

$$Feu = 1.5 \cdot L_g^{0.7}$$

Feu値を用いることで、図3のような水平面照度と明るさ感が一致しない空間の心理的光量を数値化し、比較することができた。本論文において、Feu理論を建築空間における明るさ感を定量化するための指標として以降の分析に用いることとした。



第2章 採光方法事例分析・体系化 analysis of natural lighting technique

2-1 事例分析・間接採光手法の抽出

2-2 間接採光手法の分類・体系化

2

2 章 間接採光手法事例分析・体系化

本章では，間接採光の手法を事例より収集，それらを一覧した上で分類し，体系化することを目的として調査を行った．できるだけ多くの事例を，広範囲から集めることで以降の分析の参考とする．

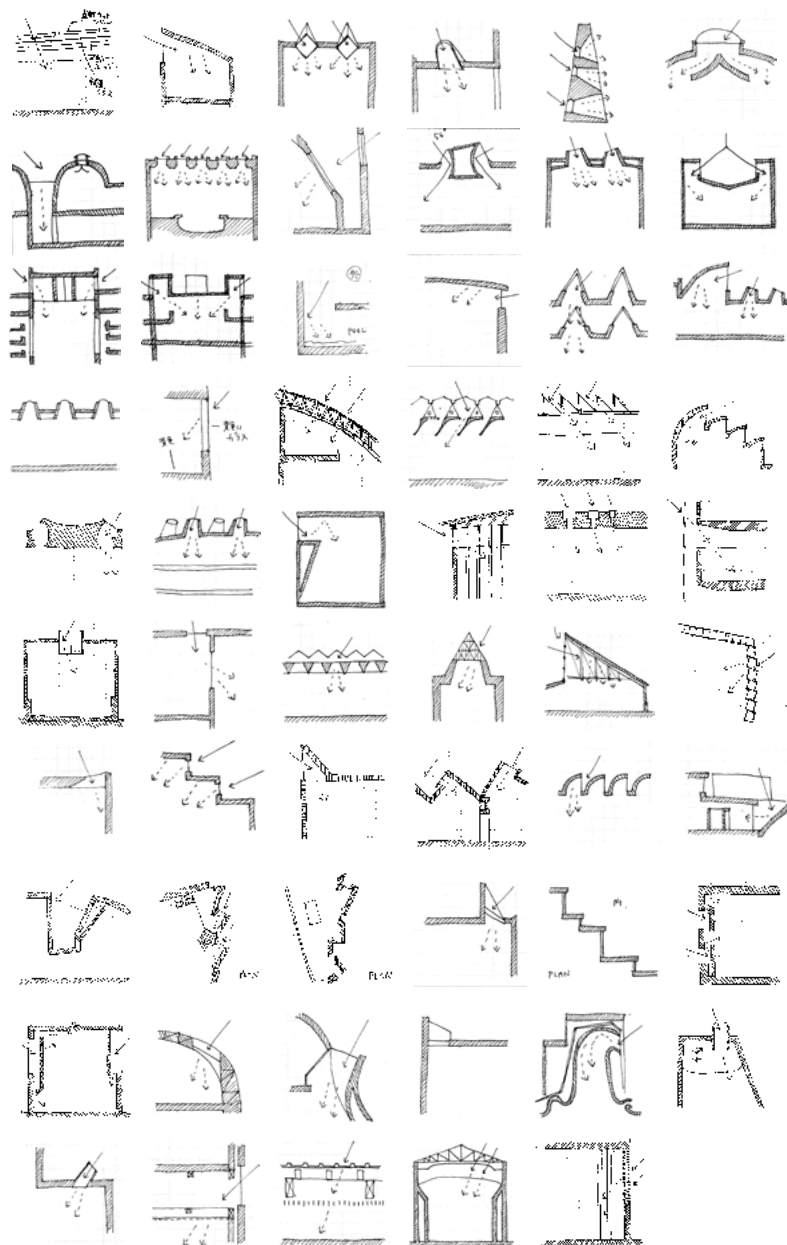
2-1 事例分析

近代建築以降、建築家によって設計されたモノの中から、自身によって
実地調査を行った建築を中心に、事例をピックアップした。それより図面
と建築写真を主に参照しながら、間接採光手法を抽出、ダイアグラム化し
た。以下に事例のリストを示す。

No.	建築名称	建築家	国	用途	竣工年	分類
01	ルーブルランス	SANAA	フランス	美術館	2012	素材
02	アアルトのアトリエ	アルヴァ・アアルト	フィンランド	教会	1956	照射
03	アカデミア書店	アルヴァ・アアルト	フィンランド	店舗	1969	拡散
04	ヴィープリの図書館	アルヴァ・アアルト	ロシア	図書館	1935	照射
05	ヴォクセンニスカの教会	アルヴァ・アアルト	フィンランド	教会	1958	奥行
06	オルボの美術館	アルヴァ・アアルト	デンマーク	美術館	1973	反射
07	セイナツツァロの役場	アルヴァ・アアルト	フィンランド	公共施設	1952	奥行
08	セイナヨキの教会	アルヴァ・アアルト	フィンランド	教会	1960	照射
09	フィンランド国民年金局	アルヴァ・アアルト	フィンランド	公共施設	1956	拡散
10	ヘルシンキ大学図書館	アルヴァ・アアルト	フィンランド	図書館	1958	奥行・照射
11	ユヴァスキュラ教育大学	アルヴァ・アアルト	フィンランド	公共施設	1957	奥行・拡散
12	リオラ教区センター	アルヴァ・アアルト	イタリア	教会	1978	照射
13	ロヴァニエミの図書館	アルヴァ・アアルト	フィンランド	図書館	1968	奥行
14	アヴェイロ大学図書館	アルヴァロ・シザ	ポルトガル	図書館	1995	奥行
15	マルエ・デ・カナヴェーデス教会	アルヴァロ・シザ	ポルトガル	教会	1989	奥行・照射
16	カサ・ミラ	アントニ・ガウディ	スペイン	住宅	1907	照射
17	ロサンゼルス現代美術館	磯崎新	アメリカ	美術館	1986	拡散
18	オタニエミの礼拝堂	カイヤ&ヘイツキ	フィンランド	教会	1957	照射
19	リナー美術館	ギゴン&ゴヤー	スイス	美術館	1998	照射・反射
20	マルメアートギャラリー	クラス・アンスヘルム	スウェーデン	美術館	1975	照射
21	アシタノイエ	小泉雅生	日本	住宅	2005	反射
22	イグナティウス教会	スティーブン・ホール	アメリカ	教会	1997	照射
23	キアズマ現代美術館	スティーブン・ホール	フィンランド	美術館	1998	奥行
24	板橋のハウス	西沢大良	日本	住宅	2006	素材
25	宇都宮のハウス	西沢大良	日本	住宅	2008	素材
26	現代美術館	ハンス・ホライン	ドイツ	美術館	1991	拡散
27	聖コロナ(教会ケルン大司教区美術館)	ピーター・ズントー	オーストリア	美術館	2007	奥行
28	聖ベネディクト教会	ピーター・ズントー	スイス	教会	1989	照射
29	テルメ・ヴァルス	ピーター・ズントー	スイス	その他	1996	奥行
30	ブレゲンツ美術館	ピーター・ズントー	オーストリア	美術館	1997	素材
31	ローマンシェルト	ピーター・ズントー	スイス	美術館	1986	奥行
32	ハルパ・コンサートホール	ヘニング・ラーセン	アイスランド	公共施設	2011	拡散
33	タスキギーの礼拝堂	ポール・ルドルフ	アメリカ	教会	1969	照射
34	ヴァッキラの図書館	ユハ・レイヴィスカ	フィンランド	図書館	1991	照射
35	パッキラの教会	ユハ・レイヴィスカ	フィンランド	教会	2002	照射
36	マンニスト教会	ユハ・レイヴィスカ	フィンランド	教会	1992	照射
37	ミュールマキの教会	ユハ・レイヴィスカ	フィンランド	教会	1984	照射
38	パウスベア教会	ヨーン・ウツソン	デンマーク	教会	1976	照射
39	フィルミニの教会	ル・コルビュジエ	フランス	教会	2006	奥行
40	ラ・トゥーレットの修道院	ル・コルビュジエ	フランス	教会	1959	奥行
41	ロンジャンの教会	ル・コルビュジエ	フランス	教会	1955	奥行
42	キンベル美術館	ルイス・カーン	アメリカ	美術館	1972	照射
43	ファースト・ユニタリオン教会	ルイス・カーン	アメリカ	教会	1969	照射
44	フィリップエクスターアカデミー図書館	ルイス・カーン	アメリカ	公共施設	1972	照射
45	プリンモア大学ホール	ルイス・カーン	アメリカ	公共施設	1965	照射
46	ジラルティ邸	ルイス・バラガン	メキシコ	住宅	1978	素材
47	トラルパンの礼拝堂	ルイス・バラガン	メキシコ	教会	1960	素材
48	アストルツ・ファーンリ現代美術館	レンゾ・ピアノ	ノルウェー	美術館	2012	素材
49	パイエラー財団美術館	レンゾ・ピアノ	スイス	美術館	2000	反射
50	メニルコレクション美術館	レンゾ・ピアノ	アメリカ	美術館	1986	反射

2-1 事例分析

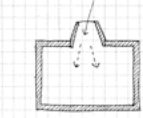
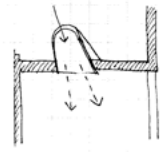

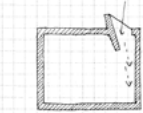
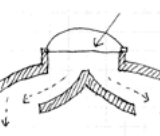
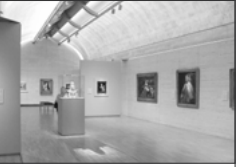
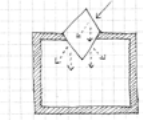
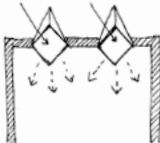

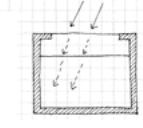
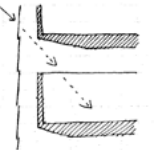

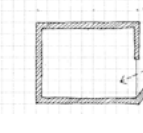
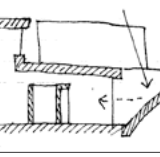

抽出したダイアグラムを以下に示す。主に断面図から採光手法を抽出したが、壁面を雁行配置させて、隙間より光を取り入れる、平面図からのみ抽出できるものも見られた。

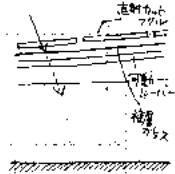
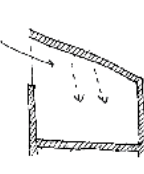
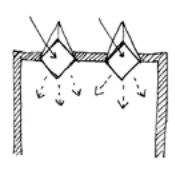
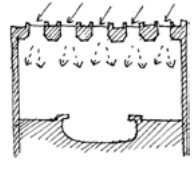
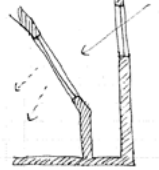
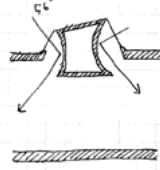
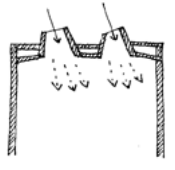
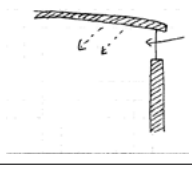
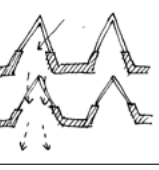
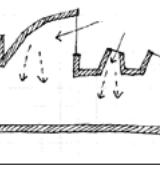
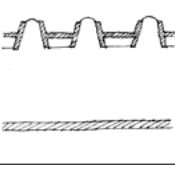


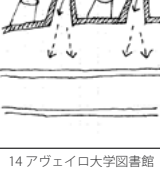
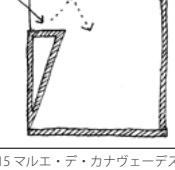
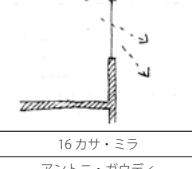
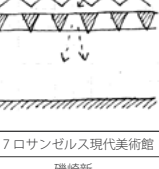

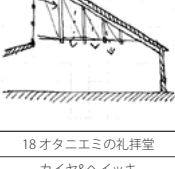


2-2 分類・体系化

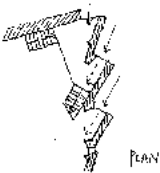

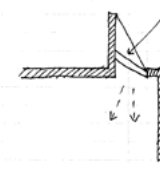
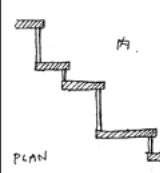
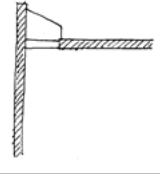

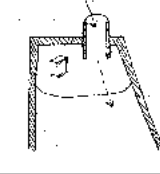
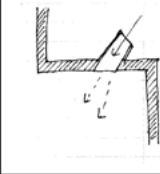
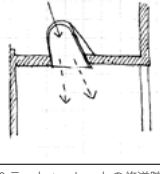
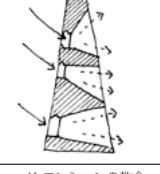
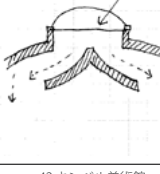
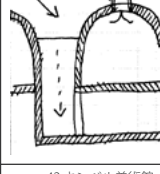
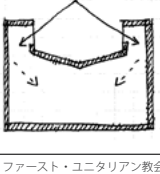
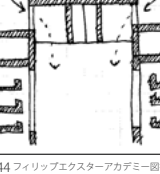
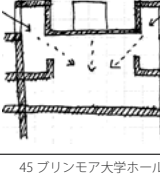
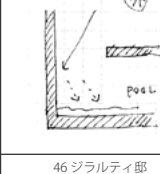
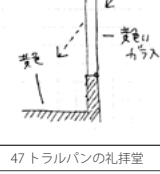
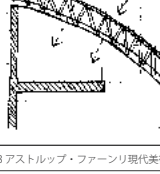
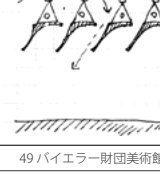
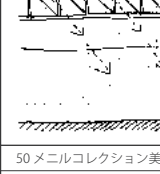
ダイアグラムとして可視化された間接採光手法から、光の拡散方法の違いにより、①開口部内に奥行を設けることによって、開口部内で光を拡散させて和らげる「奥行型」、②光に方向性を持たせて天井面や壁面等の部位を照らすように採光する「照射型」、③開口部に配される複数のガラス面で光の屈折・反射・透過を組み合わせる「拡散型」、④開口部の素材の透過性や色を変更することで調光する「素材型」、⑤建築部位に光を当てることで反射光を取り入れる「反射型」の5つに分類し図4に示した。またそれぞれの手法から以下のような傾向が見られた。①奥行型は奥行に対し、幅を変化させることで拡散の度合いを変化させることができ、狭めることでスリット状の光が入り、広めることによってより柔らかな光となる。②照射型は太陽光に対して角度を振った建築部位によって受けるものが多く、入射光を分割することで空間に落ちる光はより均一になる。③拡散型は複数のガラス面を配することによって熱負荷を下げ、透過性の高く、明るい空間を得ることができる。④素材型は光に面的にフィルターをかけるようなものが多く見られ、光に色をつける、透過性の違いによって光の強弱をつける事例が見られた。⑤反射型は事例数は少ないものの、太陽光に対してリフレクターを設けることで反射光を意図的に作り出すもので、光を様々な方角から取り入れることができる。そうした分類や傾向を以降の分析の参考とし、有効性が見られる事例について更なる分析を重ねることとした。

間接採光手法の分類とその特徴を以下に示す。それぞれの分類を代表する作品を情報として記載した。また次項より先述した分類を加え、ダイアグラムと事例データをまとめたものを図を記載する。

<p>①奥行型</p>  <p>開口部内の奥行によって、光を和らげるもの。開口部の幅に比例して光が柔らかくなり、絞ることによってスリット状の光が入るようになる。</p>	  <p>ex.) No.40 ラ・トゥーレットの修道院 / ル・コルビュジエ 奥行のあるトップライトは光を開口内部で拡散させ、内部を柔らかく照らす。円形にすることでより柔らかな光となる。</p>
<p>②照射型</p>  <p>光に方向性を持たせて天井面や壁面等の建築部位を照らすように採光するもの。曲面状に柔らかく入れるものが見られた。また分割して採光することで均一に光が入る。</p>	  <p>ex.) No. 42 キンペル美術館 / ルイス・カーン 天井面に配されたトップライトから光を取り入れ、それを受け流すような材を設けることで、曲面状の天井面が照らされる。</p>
<p>③拡散型</p>  <p>開口部に複数面のガラスを配すことによって、光の屈折・反射・透過の性質によって光が拡散し、柔らかな光が落ちる。熱負荷を下げつつ、透過性の高い空間を作ることができる。</p>	  <p>ex.) No. 03 アカデミア書店 / アルヴァ・アアルト 大きな吹き抜け空間の上部に菱形の断面をしたガラスのボックスを挿入し、拡散効果によって柔らかく採光している。</p>
<p>④素材型</p>  <p>開口部の素材の透過性や色を変更することで、光の性質を変化させるもの。透過性の違いによって強弱が変化する。また面的にフィルターをかけるようなパターンが多い。</p>	  <p>ex.) No.30 プレゲンツ美術館 / ビーター・ズントー 外壁と内壁、天井側にスペースを設け、透過性のある外壁と天井材によって光を取り入れている。</p>
<p>⑤反射型</p>  <p>建築部位に光を当ててから、反射光を取り入れるというもの。光を入れる方角を変化させ、意図的に天空光をつくりだすことができる。</p>	  <p>ex.) No.21 アシタノイエ / 小泉雅生 敷地のコンテクストに合わせて、外部空間を斜面とし、リフレクターとして外部からの反射光を取り入れる。</p>

採光手法 ダイアグラム							
建築名称		01 ルーブルランス		02 アアルトのアトリエ		03 アカデミア書店	
建築家		SANAA		アルヴァ・アアルト		アルヴァ・アアルト	
所在国	用途	フランス	美術館	フィンランド	教会	フィンランド	店舗
竣工年	分類	2012	素材	1956	照射	1969	拡散
							
04 ヴィープリの図書館		05 ヴォクセンニスカの教会		06 オルボの美術館		07 セイナツァアロの役場	
アルヴァ・アアルト		アルヴァ・アアルト		アルヴァ・アアルト		アルヴァ・アアルト	
ロシア	図書館	フィンランド	教会	デンマーク	美術館	フィンランド	公共施設
1935	照射	1958	奥行	1973	反射	1952	奥行
							
08 セイナヨキの教会		09 フィンランド国民年金局		10 ヘルシンキ大学図書館		11 ユヴァスキュラ教育大学	
アルヴァ・アアルト		アルヴァ・アアルト		アルヴァ・アアルト		アルヴァ・アアルト	
フィンランド	教会	フィンランド	公共施設	フィンランド	図書館	フィンランド	公共施設
1960	照射	1956	拡散	1958	奥行・照射	1957	奥行・拡散
							
12 リオラ教区センター		13 ロヴァニエミの図書館		14 アヴェイロ大学図書館		15 マルエ・デ・カナヴェーデス	
アルヴァ・アアルト		アルヴァ・アアルト		アルヴァ・シザ		アルヴァ・シザ	
イタリア	教会	フィンランド	図書館	ポルトガル	図書館	ポルトガル	教会
1978	照射	1968	奥行	1995	奥行	1989	奥行・照射
							
16 カサ・ミラ		17 ロサンゼルス現代美術館		17 ロサンゼルス現代美術館		18 オタニエミの礼拝堂	
アントニ・ガウディ		磯崎新		磯崎新		カイヤ&ヘイッキ	
スペイン	住宅	アメリカ	美術館	アメリカ	美術館	フィンランド	教会
1907	照射	1986	拡散	1986	拡散	1957	照射

19 リナー美術館	20 マルメアートギャラリー	21 アシタノイエ	22 イグナティウス教会
ギゴン&ゴヤー	クラス・アンスヘルム	小泉雅生	スティーブン・ホール
スイス	スウェーデン	日本	アメリカ
美術館	美術館	住宅	教会
1998	1975	2005	1997
照射・反射	照射	反射	照射
22 イグナティウス教会	22 イグナティウス教会	23 キアズマ現代美術館	23 キアズマ現代美術館
スティーブン・ホール	スティーブン・ホール	スティーブン・ホール	スティーブン・ホール
アメリカ	アメリカ	フィンランド	フィンランド
教会	教会	美術館	美術館
1997	1997	1998	1998
照射	照射	奥行	奥行
24 板橋のハウス	25 宇都宮のハウス	26 現代美術館	27 聖コロンバ教会ケルン大司教区美術館
西沢大良	西沢大良	ハンス・ホライン	ピーター・ズントー
日本	日本	ドイツ	オーストリア
住宅	住宅	美術館	美術館
2006	2008	1991	2007
素材	素材	拡散	奥行
28 聖ベネディクト教会	29 テルメ・ヴァルス	30 プレゲンツ美術館	31 ローマンシェルター
ピーター・ズントー	ピーター・ズントー	ピーター・ズントー	ピーター・ズントー
スイス	スイス	オーストリア	スイス
教会	その他	美術館	美術館
1989	1996	1997	1986
照射	奥行	素材	奥行
32 ハルバ・コンサートホール	33 タスキギーの礼拝堂	34 ヴァッキラの図書館	35 パッキラの教会
ヘニング・ラーセン	ポール・ルドルフ	ユハ・レイヴィスカ	ユハ・レイヴィスカ
アイスランド	アメリカ	フィンランド	フィンランド
公共施設	教会	図書館	教会
2011	1969	1991	2002
拡散	照射	照射	照射

							
35 バッキラの教会		35 バッキラの教会		36 マンニスト教会		36 マンニスト教会	
ユハ・レイヴィスカ		ユハ・レイヴィスカ		ユハ・レイヴィスカ		ユハ・レイヴィスカ	
フィンランド	教会	フィンランド	教会	フィンランド	教会	フィンランド	教会
2002	照射	2002	照射	1992	照射	1992	照射
							
37 ミュルマキの教会		38 パウスベア教会		39 フィルミニの教会		40 ラ・トゥーレットの修道院	
ユハ・レイヴィスカ		ヨーン・ウツソン		ル・コルビュジエ		ル・コルビュジエ	
フィンランド	教会	デンマーク	教会	フランス	教会	フランス	教会
1984	照射	1976	照射	2006	奥行	1959	奥行
							
40 ラ・トゥーレットの修道院		41 ロンシャンの教会		42 キンペル美術館		42 キンペル美術館	
ル・コルビュジエ		ル・コルビュジエ		ルイス・カーン		ルイス・カーン	
フランス	教会	フランス	教会	アメリカ	美術館	アメリカ	美術館
1959	奥行	1955	奥行	1972	照射	1972	照射
							
43 ファースト・ユニタリアン教会		44 フィリップエクスターアカデミー図書館		45 プリンモア大学ホール		46 ジラルティ邸	
ルイス・カーン		ルイス・カーン		ルイス・カーン		ルイス・バラガン	
アメリカ	教会	アメリカ	公共施設	アメリカ	公共施設	メキシコ	住宅
1969	照射	1972	照射	1965	照射	1978	素材
							
47 トラルパンの礼拝堂		48 アストルップ・ファーンリ現代美術館		49 バイエラー財団美術館		50 メニルコレクション美術館	
ルイス・バラガン		レンゾ・ピアノ		レンゾ・ピアノ		レンゾ・ピアノ	
メキシコ	教会	ノルウェー	美術館	スイス	美術館	アメリカ	美術館
1960	素材	2012	素材	2000	反射	1986	反射

3

第3章 事例の定量分析

simulation of natural lighting technique

3-1 建築事例写真分析

3-2 建築事例3D分析

3 章 事例の定量分析

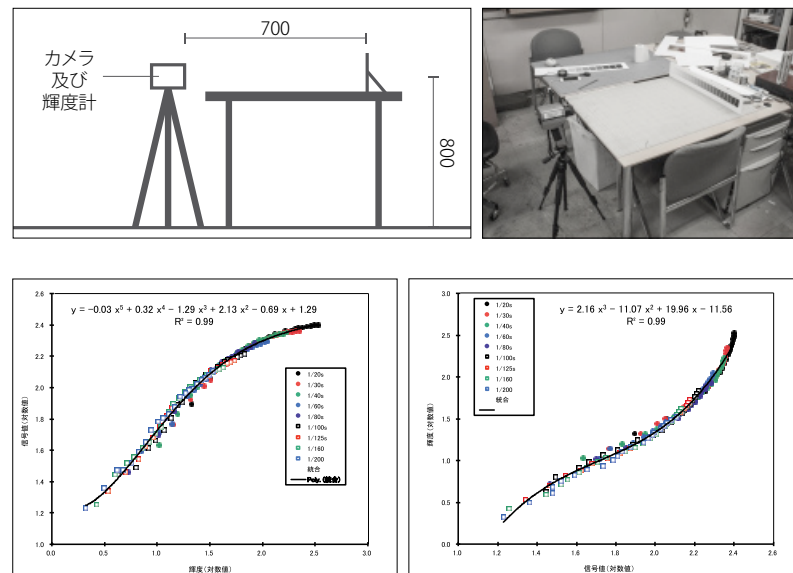
第3章では、第2章によって示された間接採光手法に対して、それら間接採光手法によって得られる効果の分析及び定量的な表現を目的に、建築写真分析と3Dシミュレーション分析を行った。本章によってそれぞれの間接採光がどのような効果をもたらすかを考察し、これまで意匠設計において曖昧に使用されていた採光手法を、より明確な目的を持って使用できるようにする。

3-1 建築事例写真分析

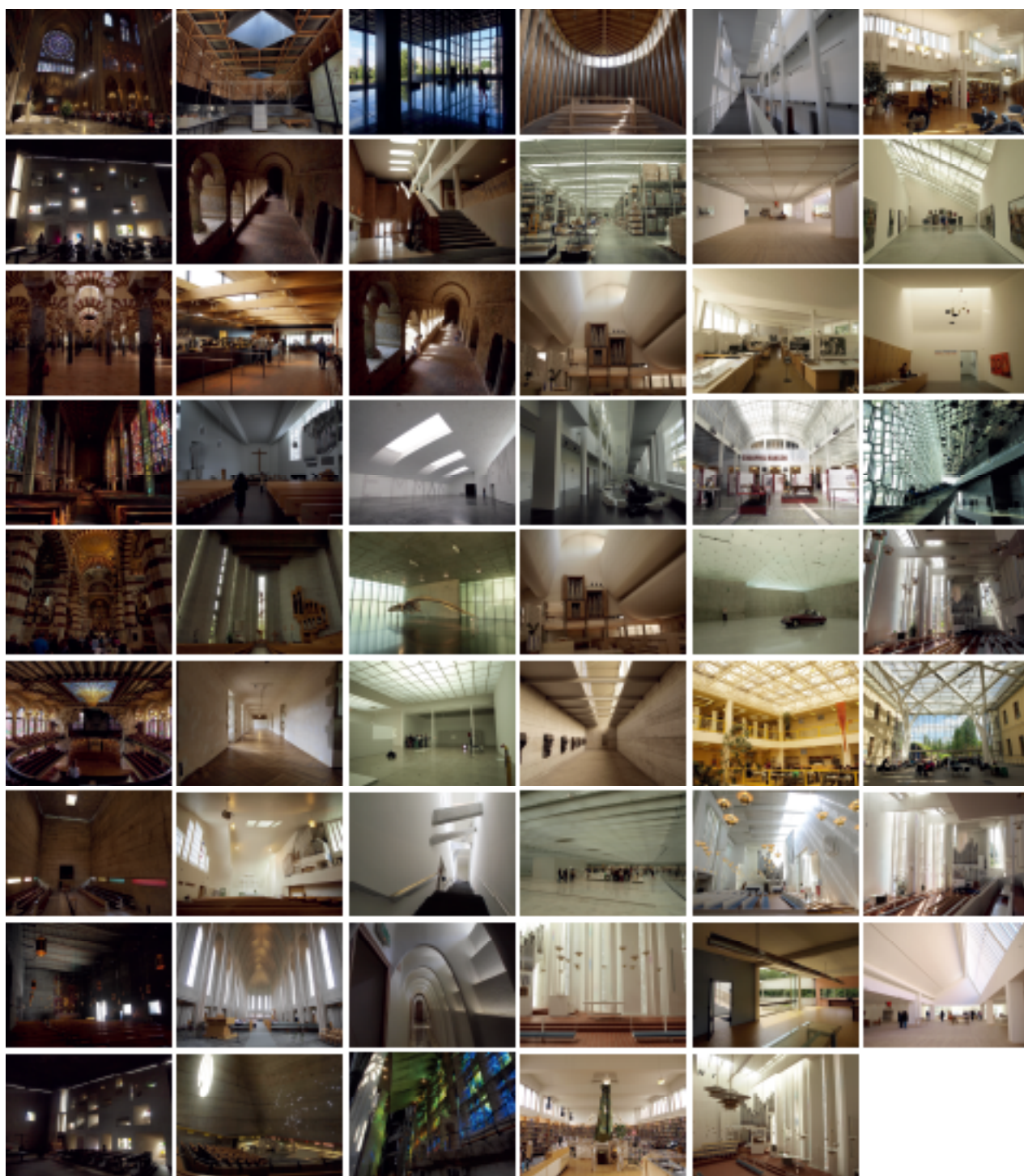
本項では実地調査によって撮影された写真を基に分析を試みた。まず撮影された写真はそれぞれ異なる条件下で撮影されたものである。例えばシャッタースピードの違いによって異なる明るさの空間も同じ明るさのように見えるということが起きる。そこで既往論文を参考に実空間の輝度と、カメラが jpg データとして現像する際の信号値の対応関係を下図に示す実験によって検証し以下の式が得られた。

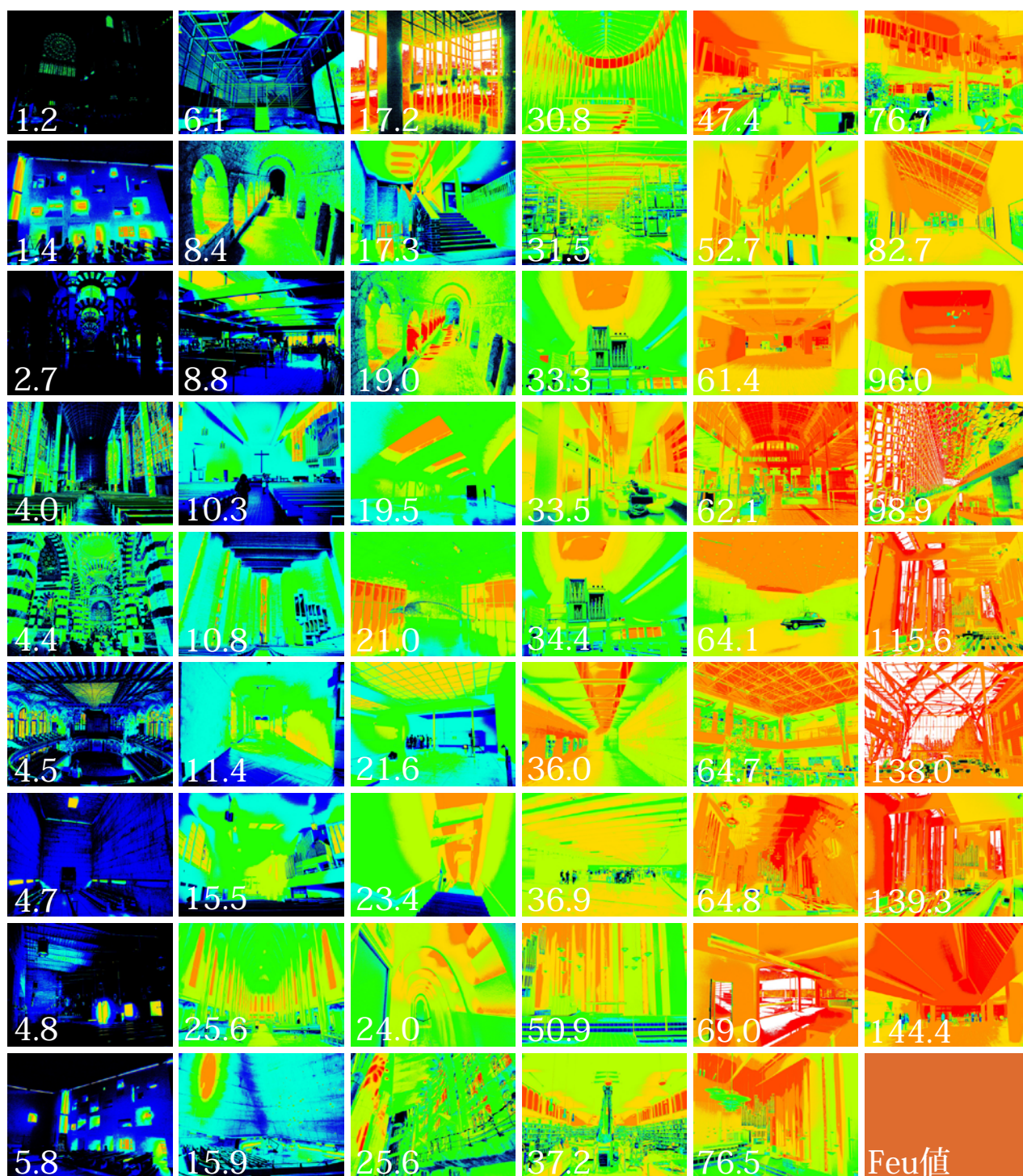
$$y = 2.16 x^3 - 11.07 x^2 + 19.96 x - 11.56 \quad (R^2 = 0.99)$$

測定のために用いたカメラは、分析に用いる写真の撮影に使用したものと同様のOLYMPUS製のE-P1とし、実験の際の撮影条件をF4.5, ISO320, ホワイトバランスを曇天モードとした。相関係数0.99以上の条件の回帰曲線を描くことができたため、これを元に表2に示す写真から輝度分布画像を作成し、1章で有効性が示されたFeu値を算出した。ここで示すFeu値は本来の条件である誘導視野（左右100度×上下85度）を満たしていないため、参考値として分析に用いることとした。輝度分布図に変換された画像を次項に示す。



建築名称	F値	S値	ISO	Feu値
ノートルダム大聖堂	2	1/25	400	1.1
セント・マークス教会	2.8	1/20	100	1.8
メスキータ	2	1/40	200	2.1
聖アントニウス教会	3.2	1/100	200	2.2
ロンシャンの教会	2.8	1/60	250	2.3
カタルーニャ音楽堂	2.5	1/60	200	2.4
ロンシャンの教会	2.8	1/60	200	4.1
ラ・トゥーレットの修道院	2.5	1/60	250	4.2
メスキータ	3.2	1/100	200	4.7
ローマンシェルター	2.2	1/80	250	4.9
ルイジアナ美術館	2.8	1/25	200	5.5
ラハティの教会	2.8	1/60	200	6.8
ル・トロネの修道院	4.5	1/80	200	6.9
フィルミニの教会	3.2	1/60	200	7.6
ミュールマキの教会	2.8	1/100	200	8.9
ヴォクセンニスカの教会	2	1/80	250	10.3
ブリタニー民族衣装美術館	3.5	1/40	200	11.2
ユヴァスキュラ教育大学	2.8	1/100	200	11.4
ナント裁判場	10	1/100	200	14.8
セセッション館	2	1/50	125	15.3
キアズマ現代美術館	2	1/100	200	16.1
サグラダ・ファミリア	5	1/80	200	16.3
ル・トロネの修道院	5.6	1/80	200	16.8
ヴィトラ社工場	2.5	1/125	200	20.1
ハットルグリムス教会	2	1/160	160	21.2
バウスベア教会	2.8	1/125	160	21.3
ベルリン・ユダヤ博物館	4.5	1/40	200	22.9
バウスベア教会	2.8	1/125	160	23.3
ブレゲンツ美術館	2.8	1/125	200	24.0
カサ・パトリヨ	4.5	1/100	200	26.1
聖ベネディクト教会	4	1/125	200	26.1
スカンディナビア館	2.5	1/125	160	27.8
パッキラの教会	3.2	1/100	250	28.0
バルセロナ現代美術館	5	1/125	250	30.8
ループル・ランス	4	1/80	200	32.3
彫刻の家	5.6	1/80	250	39.2
ヴァッキラの図書館	4.5	1/100	200	41.8
ハルバ・コンサートホール	8	1/80	200	42.5
パッキラの教会	4.5	1/100	250	43.8
アアルトのアトリエ	4.5	1/100	200	47.4
ブレゲンツ美術館	3.2	1/160	200	47.8
ユヴァスキュラ大学図書館	4	1/100	200	48.6
バルセロナ現代美術館	4.5	1/125	200	49.2
アストルップ・ファーンリ現代美術館	3.5	1/100	160	53.0
マルメアートギャラリー	2.8	1/200	100	58.1
ウィーン郵便貯金局	4.5	1/100	160	60.6
マンニスト教会	6.3	1/100	200	62.5
リナー美術館	5.6	1/100	200	63.0
ミュールマキの教会	3.5	1/125	125	64.5
マンニスト教会	8	1/125	200	67.8
サヴォア邸	9	1/160	200	80.1
ベルリン・ユダヤ博物館	11	1/100	200	90.5
マルメアートギャラリー	2.8	1/200	100	94.4





3-1 建築事例写真分析

本来明るさはどれくらい明るいという感覚的で定性的な評価しかされ得なかったが、Feu 理論を用いて数値化することで明るさ感の違いを一覧することができた。それらの輝度分布画像を分類別に見ると、奥行型の空間は Feu 値が低く、照射型の空間は高い傾向にあることがわかる。それは Feu 値による評価が、水平面照度による評価と異なって、視野内の壁面や天井面といった広い範囲を照らしている場合に明るさ感が強くなるということが言える。同様に面的に空間を照らす素材型も比較的高い明るさ感を得られる場合が多いということがわかった。加えて白く塗られた建築空間の方が Feu 値が高いという結果が得られた。それにより空間の明るさ感は輝度の影響によるところが大きいということが見て取れる。また空間の体積に対する開口部の割合は大きく影響し、天井面が高い空間においては壁面から、低い空間においては天井面からの採光が有効に働くということが言える。

一方、本分析では時間帯別の評価をすることが難しい、撮影範囲や視野が一定でないなどの理由から、各開口部の性質を厳密に比較するには至らなかった。次項よりこれらの考察を元に、更なる分析を行った。

3-2 建築事例3D分析

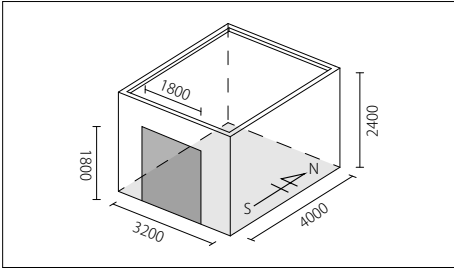
本項では写真分析で得られた考察を詳細に検証する為、3Dモデリングを用いた分析を行った。シミュレーションモデルとして一般的なサイズの居室、約8畳の居室（W3200mm×D4000mm×H2400mm）を仮定した。またこうした居室には1800mm×1800mm程度の開口部が設けられることが多いことから、その開口部面積3.24㎡を固定し、異なるパターン・形状の開口部によるシミュレーションを行う。信頼性が高いとされるradiance^[1]を用いて図8の条件でレンダリングを行った。

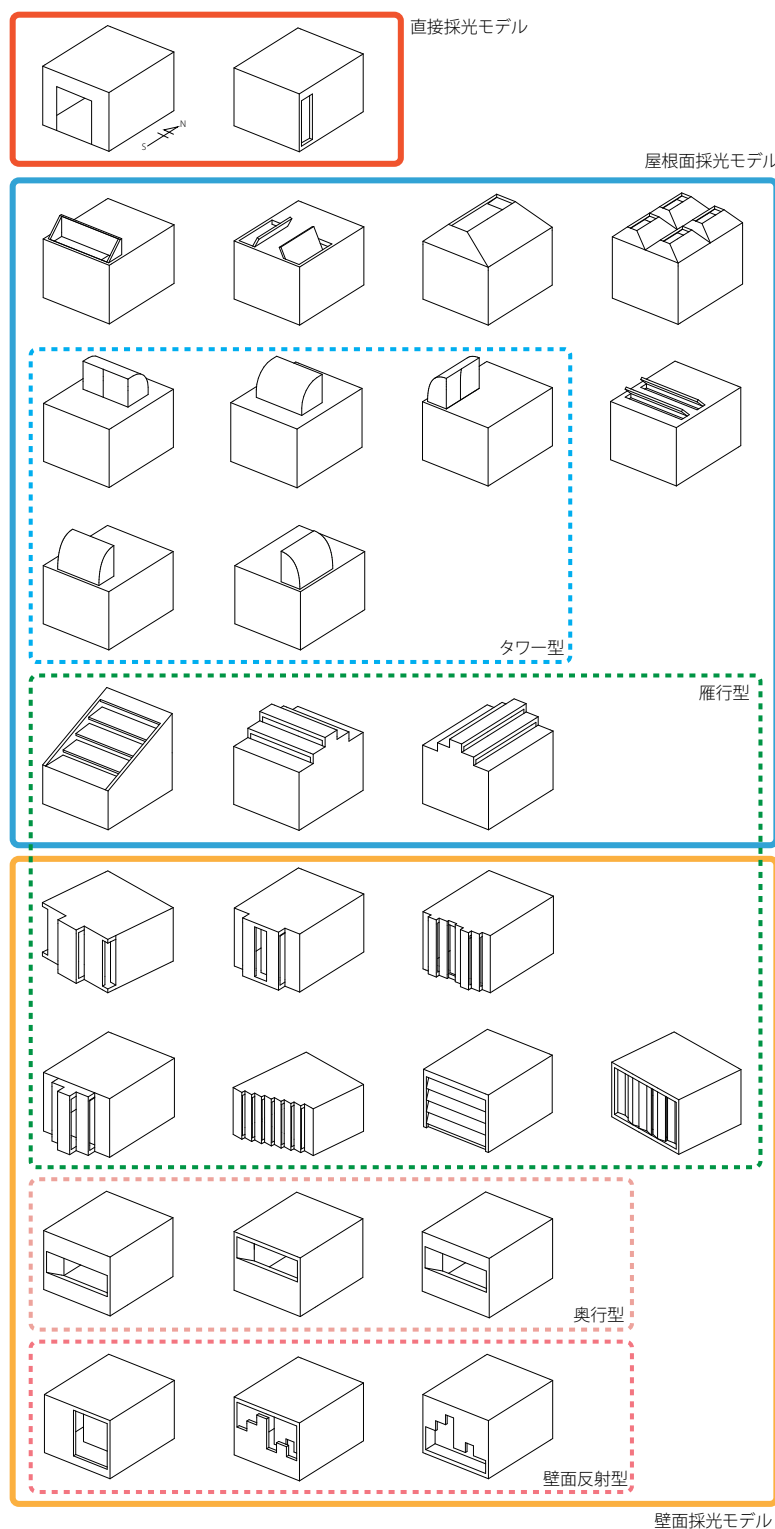
また前章と同様にFeu値による分析を試みた。以下の計算値を用いてレンダリング画像から各ピクセルに対応する信号値RGBを輝度値へと変換し、求められた輝度分布からFeu値の算出を行った。

$$\text{luminance}=(0.298912\times R+0.586611\times G+0.114478\times B)$$

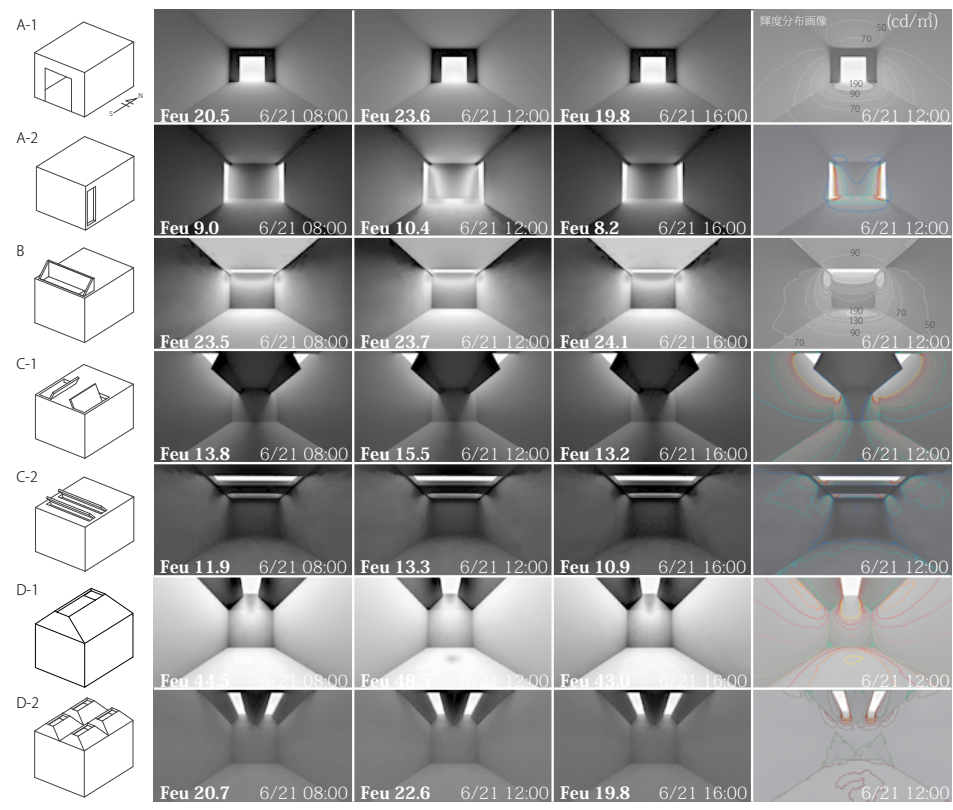
下に radiance によるレンダリング条件を示す。太陽光を規定するために敷地を千葉県とし、緯度・経度を設定した。天候はCIE標準の曇天とし、地盤面反射率を0.2、光の反射回数を2回としてレンダリングを行った。

次項に採光のパターンをダイアグラム化し、分類したものを示す。

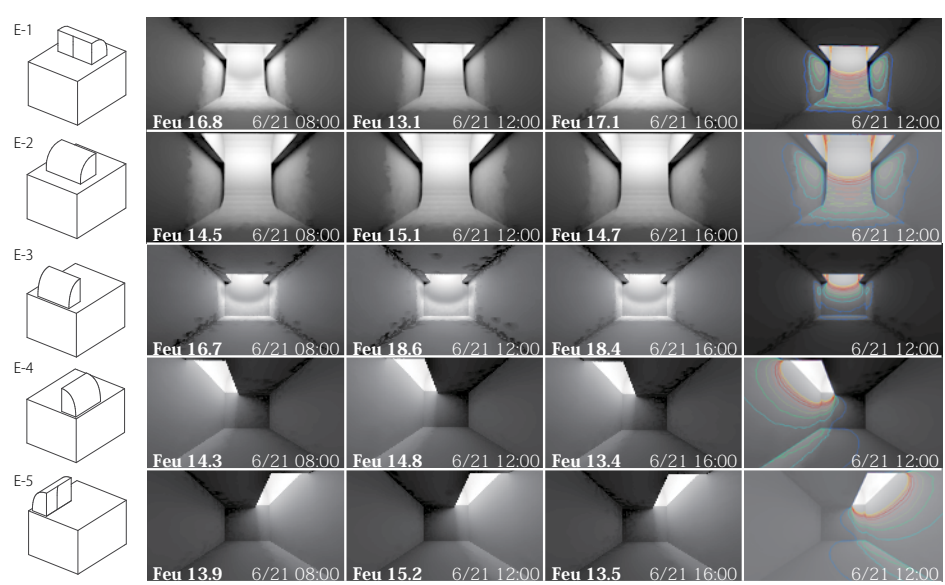
	敷地	日本, 千葉県
	緯度	35.7167
	経度	139.9562
	天候	CIE標準 曇天
	地盤面反射率	0.2
	光の反射回数	2



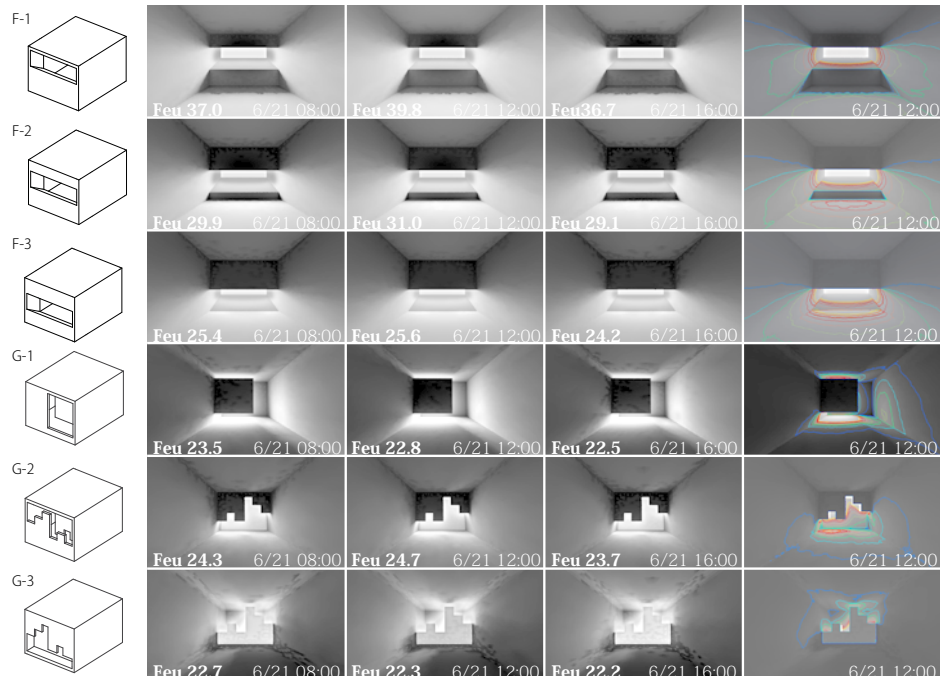
下図は直接採光パターンと，屋根面から採光を取り入れるパターンのシミュレーションモデルである．直接採光モデルに比べ，間接採光モデルは 1 日の中での Feu 値の変動が小さい．D-1 では開口部面積の大きさにより直接採光に近いものとなってしまうため，分割したモデルを D-2 とした．開口部面積を狭めることで明るさを抑えたものとなった．



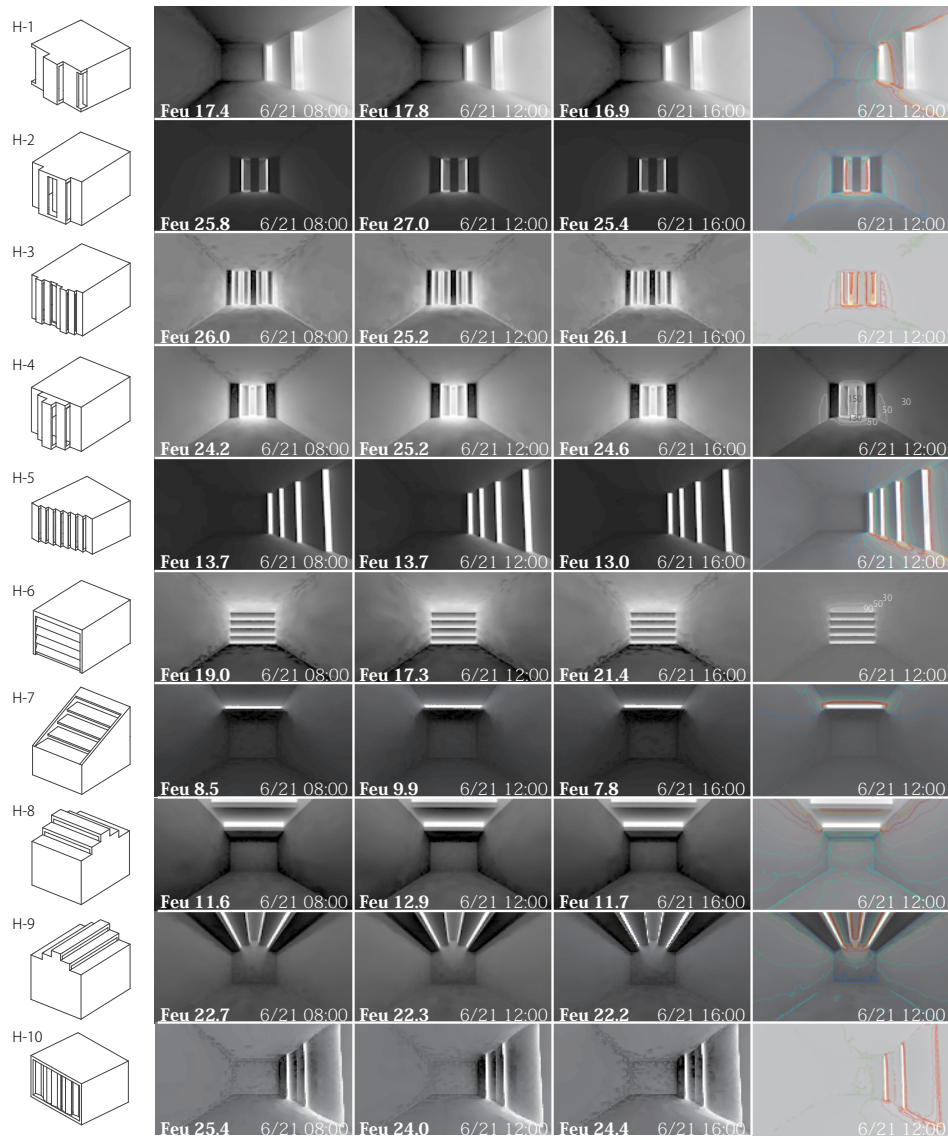
下のモデルは屋根面にタワー状の開口部を開けることで空間に光を落とすモデルである。タワー形状に合わせて壁面を配置したモデルをE-1、E-2とした。タワーから入った光は壁面に沿って内部空間に入り込む。またタワーのみで採光するものがそれ以降のモデルである。タワー形状に合わせて明確に空間に光を落とすものとなった。またそれぞれ方角と時間の組み合わせによって、建築計画に効率的に採用できる。



F のモデルは壁面に厚みを持たせることによって，開口部内で光を拡散させるパターンである．開口部の壁面内における位置の差異による光の違いを検証した．また G は壁面をずらして配置することで，その隙間から光を取り入れるモデルである．G-2，G-3 はガラス面の長さを長くとれるように配置した場合に光の状態に違いが生まれるのではないかと仮定の下に作成した．またそれらを壁面の内側と外側，それぞれに配置することで違いを検証した．



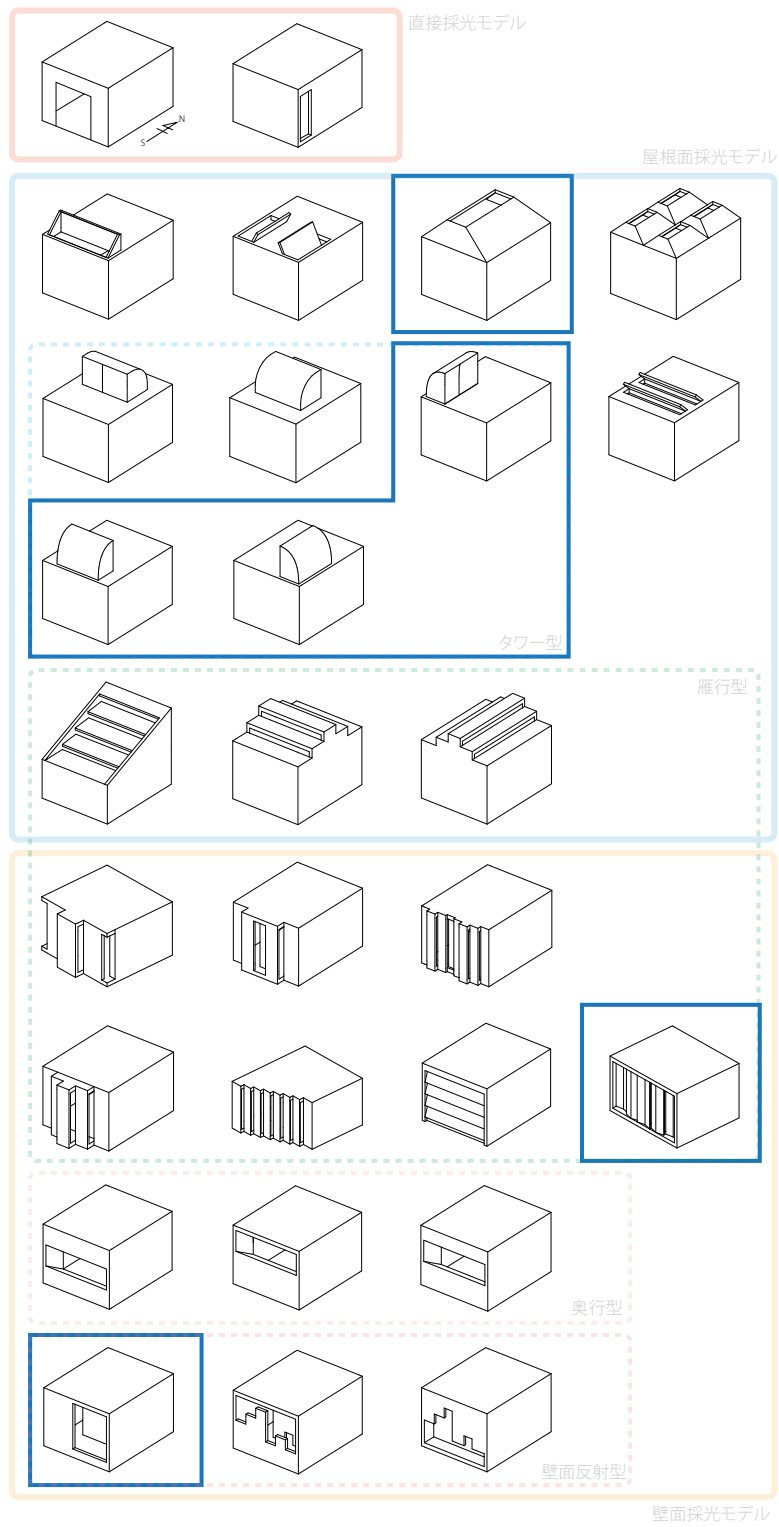
Hのモデルはユハ・レイヴィスカの建築によく見られる壁面を雁行配置することでその間から光を取り入れるパターンである。分割数の変化や配置パターンの違い、またそれらを壁面、屋根面に採用することでそれぞれの性格を検証した。



3-2 建築事例3D分析

第2章、第3章により見られた採光手法をシンプルなモデルとして作成し、どのような効果が得られるかを検証した。直接光が入るモデルに対し、他の間接採光手法では1日の中でのFeu値、明るさ感の変動が小さいことがわかる。また輝度分布図を見てみると、直接採光モデルは輝度値が非常に高いことがわかるが、人間の視覚は空間に順応するため、明るさのコントラストは小さい方が明るく感じやすい。それによって他の間接採光手法よりもFeu値が小さくなることがわかる。直接採光モデルよりも間接採光モデルの方が明るく感じやすい空間がつけれることが言える。また各間接採光手法から、それぞれの手法によって照らされる面が異なることが見られ、それらに対して異なる用途を当てることができると考えられる。

またモデリングのパターンを微調整しながら検証した。例えばユハ・レイヴィスカの建築によく見られた壁面を雁行させることで隙間から光を取り入れ、壁面を照らすパターンを様々な方角に配置して検証した。分割数を変化させたり、幅を変化させることで違いを考察した。空間を天井面から均一に照らすモデルは輝度分布も均一になるが、壁面を照らすモデルでは輝度分布に差が生まれるため、視界のどの位置に開口部が入るかによって明るさ感も異なる。そうした行為の向きを考慮した開口デザインが求められる。こうした考察を基にこれらのパターンを設計のツールとして利用することとした。



3-2 建築事例 3D分析

次章よりこれまでの研究の有効性を示すための取り組みとして、設計提案を行う。その際、前項に示した4つの間接採光手法、タワー状の開口部によって、方角や時間に対して有効な採光を得ることができるモデル、屋根面から垂直方向に光を落とすモデル、そして壁面に適用できる2つのモデルを採用することとした。

第4章 設計提案

housing design proposal

4-1 計画概要

4-2 空間モデルスタディ

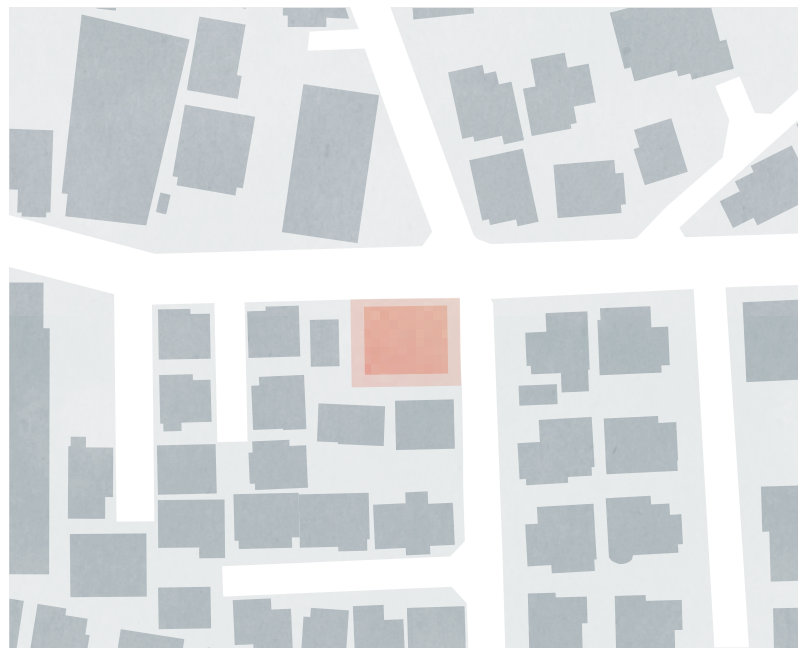
4-3 設計提案

4

4 設計提案

4-1. 計画概要

これまでの分析の有効性を示す試みとして、第3章によって効果が検証された採光手法を応用し、光をテーマにした戸建住宅の設計を行った。敷地は首都圏近郊の一般的な住宅地とし、夫婦と子どものための住宅とする。3Dシミュレーションを用いて、3人の生活パターン等を基に光の状態を設計する。2方向を道路に囲まれ、周囲には住宅が立ち並ぶ、開けた場所でもなく、交通量も一定量が見込まれる敷地において、建築を開くのではなく、内部完結するようなあり方を光を観点に設計することで考える。



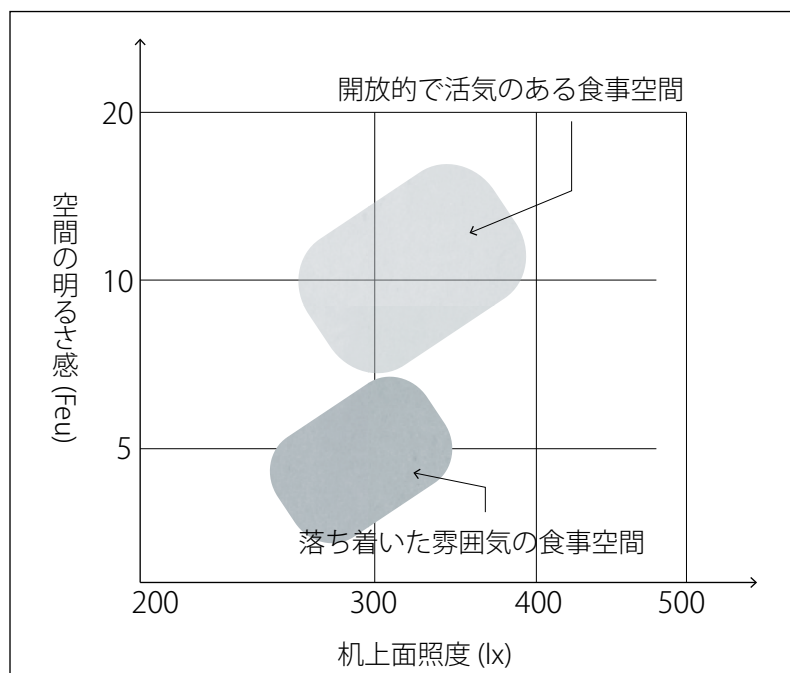
- site plan s=1/500

4-2. 空間モデルスタディ

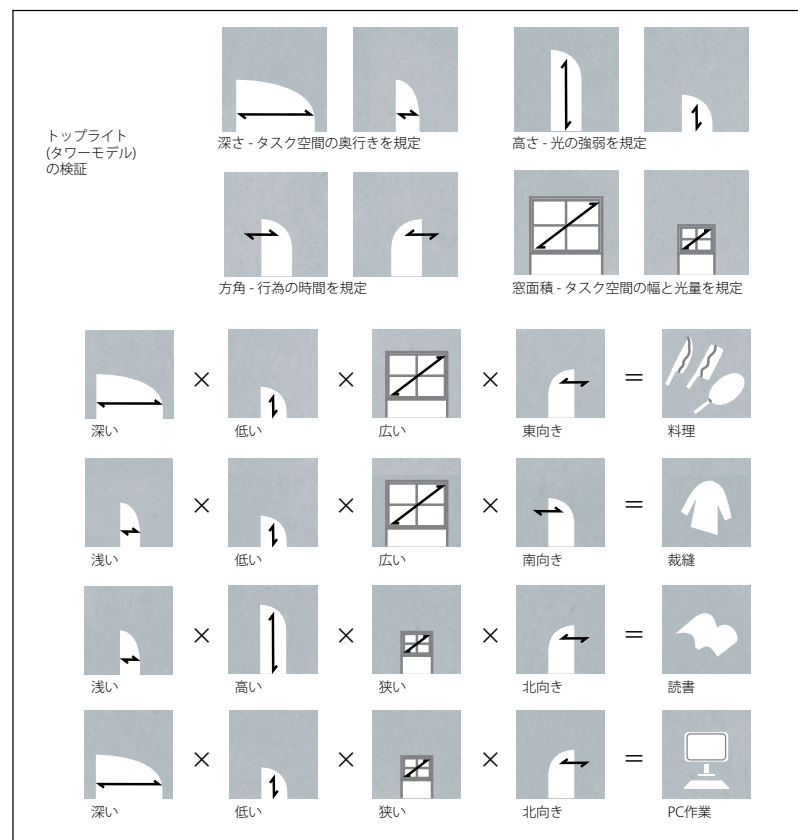
1章で述べたように建築空間の光環境評価は行為に対する視作業性を重視するために水平面照度にて行われる（タスク）。また空間の光環境指標として水平面照度だけでなく、心理的な光量を考慮したFeu理論の有効性を示した（アンビエント）。それらは推奨値が設けられているが、別々のものとして扱われている。本項において、そのタスク&アンビエントの関係性により、光の状態（形容詞）と行為（動詞）の関係性の目安を定義した。更にそれらの関係性を基に、住宅ボリュームに対する間接採光モデルを作成し、シミュレーションを重ねながらその空間に対するアクティビティをデザインした。

動詞	室名	Feu値	照度 (lx)
読む	書斎	12 - 8	1000 - 500
書く	書斎	12 - 8	1000 - 500
働く	PC室	16 - 10	1500 - 750
食う	食卓	10 - 5	500 - 200
遊ぶ	子供室	6 - 5	300 - 150
話す	会議室	10 - 7	750 - 300
化粧する	寝室	10 - 7	750 - 300
裁縫する	居間	20 - 10	2000 - 750
靴を履く	玄関	6 - 5	300 - 150
洗濯する	洗濯場	6 - 5	300 - 150
料理する	台所	8 - 6	500 - 200

またそれぞれの値は厳密に決められるものではなく、幅を持ったものである。一定の机上面照度を確保した上で Feu 値を押さえた空間は落ち着いた雰囲気、Feu 値を高く設定した場合、開放的で活気のある食事空間となる。そのようにして間接採光手法を用いて一定の明るさを確保しつつ、明るさにムラをつくるように設計を重ねることで、多様な光環境を持った住宅となる。



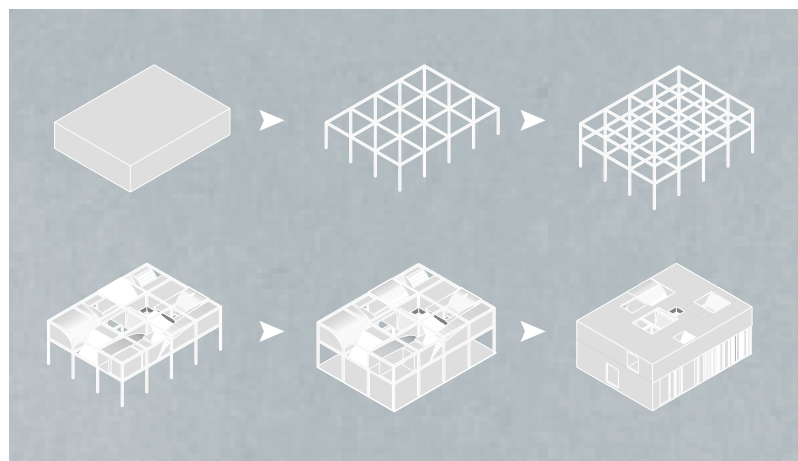
第2章，3章の分析を基に，空間モデルを設計していく．例えば屋根面に棟のように配されたタワー型の開口部では方角，奥行や幅，高さによって明るさや明るさの範囲を規定することができる．それらをシミュレーションしながら，アクティビティと対応させた．開口部の性格によって空間の用途や雰囲気が規定される．



4-3 設計提案

それらのシミュレーションモデルを用いて設計を行った。これは既存の住宅設計へのオルタナティブである。従来の住宅設計ではボリュームスタディを行ってから、平面計画を行い、最後に採光や通風といった環境設計を行う。しかしそれでは平面計画（室名）に規定された空間で、名称通りのアクティビティが行われる住宅となってしまう。いわば住宅に住まわされている状態である。本提案は光の状態（形容詞）を設計することで、住民が自分で居場所を見つけるように生活する住宅である。

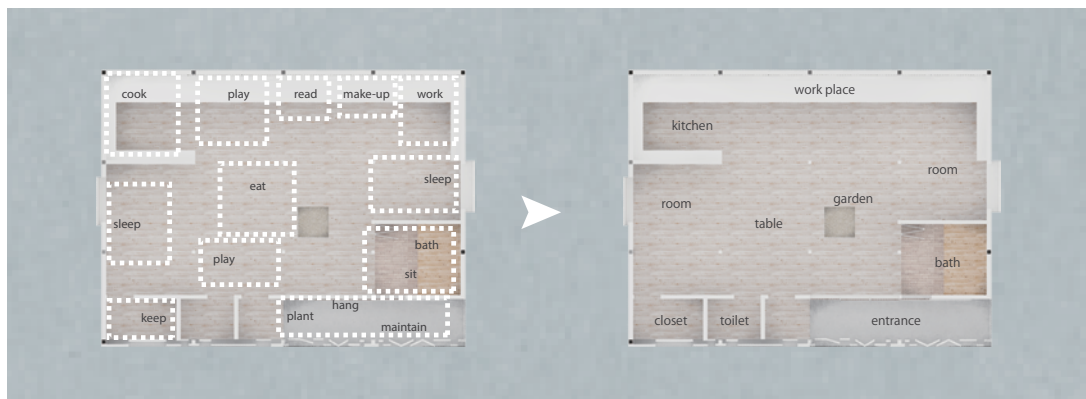
シンプルなボリュームに対し、2730mm グリッド、天井高 2400mm で柱を落とした。その構造グリッドに対し、更に天井懐として 1800mm 設けることにした。天井懐によって光を調節し、空間に光の状態を作り出すモデルである。方角等の余条件を基に開口部を配置した。



- 間接採光手法を用いた設計プロセス

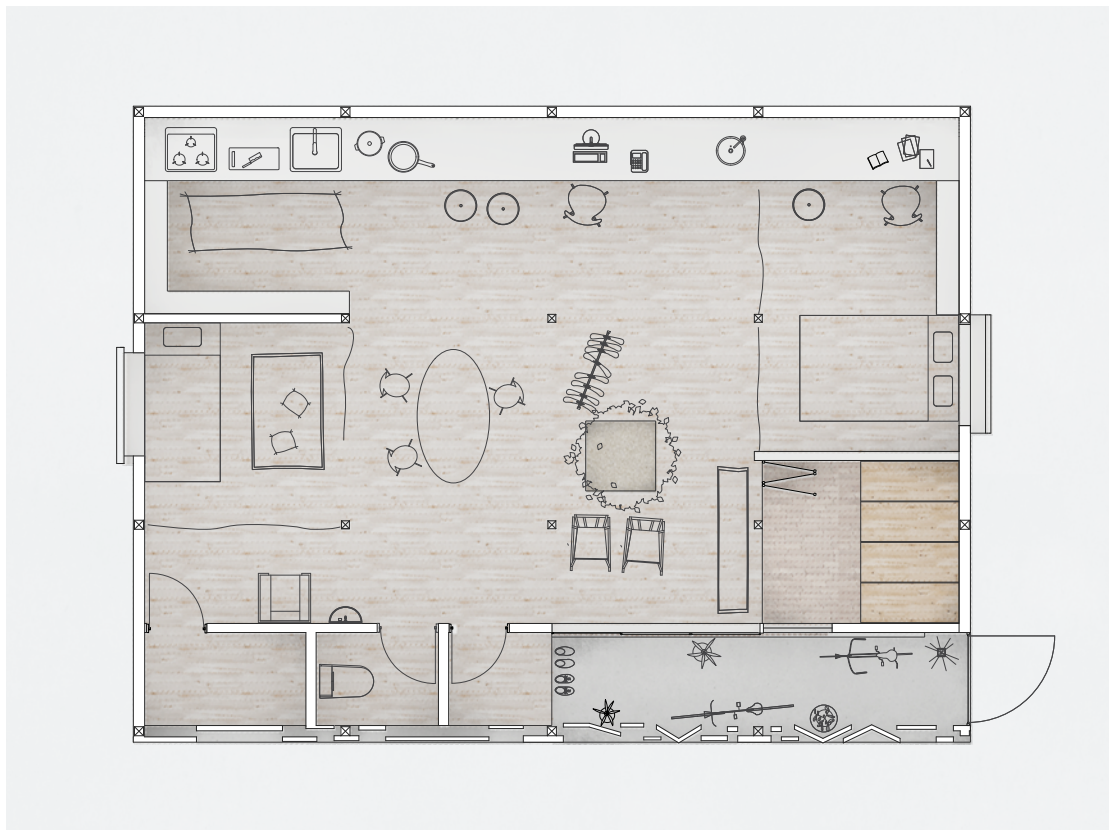
空間に落ちる光（形容詞）によって，空間にアクティビティ（動詞）が生まれる．そうしてゆるやかに平面が規定され，住宅ができあがる．かつてひとが木の下に居場所を見つけ屋根をかけた，建築がプリミティブハットと呼ばれた時代のような，居心地の良い場所を見つけては活動を行う，猫のように暮らすプリミティブな住宅である．

また光を基に平面構成ができあがる．南側には光を受けとめ，溜め込むようなヒカリドマが，北側には北側採光を緩やかに取り入れるヒカリテーブルを，そして空間の中央は上部から光を取り入れる明るく自由な空間となる．



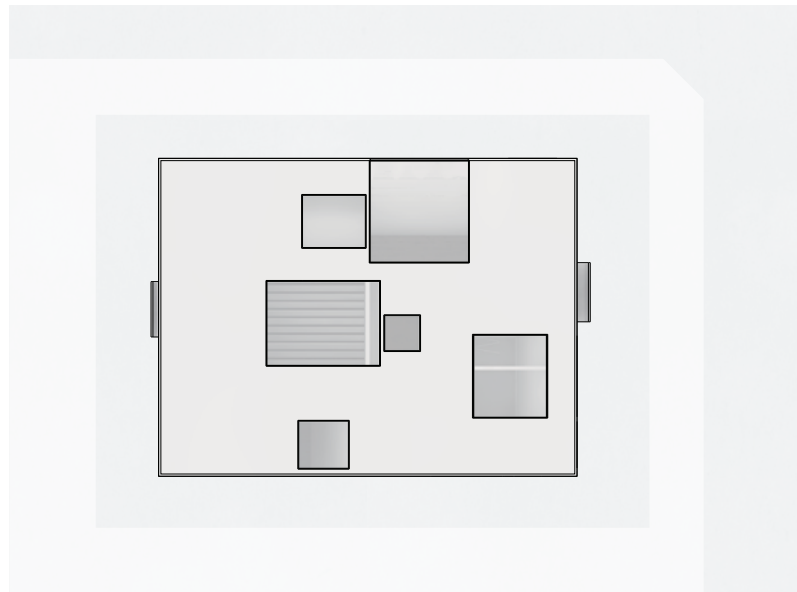
- 光の状態によるアクティビティデザイン

光によって緩やかに規定された平面は最小限の壁面と構造グリッドによって構成される。必要に応じてカーテンなどを用いて空間をつくりだしていく。

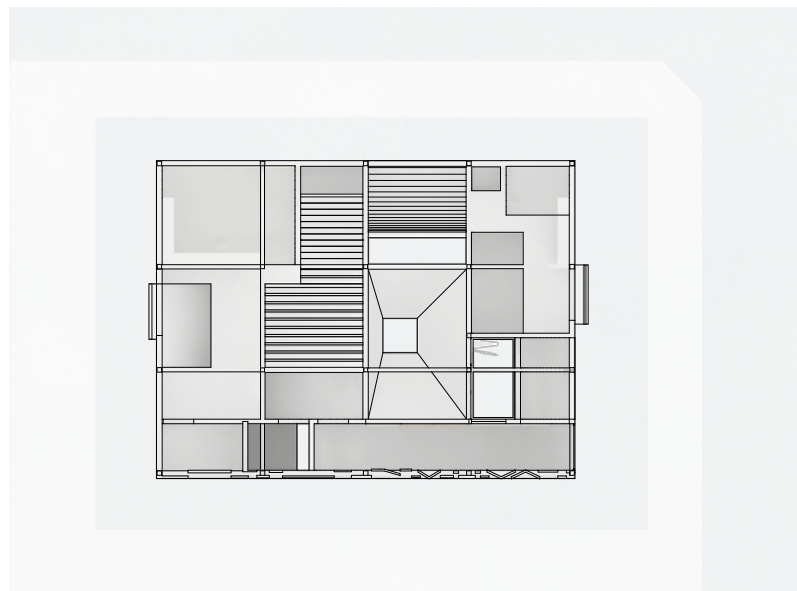


- plan s=1/50 GL+1200

シンプルな構造と平面に対して，屋根裏空間は複雑な様相を見せる．構造グリッドと無関係に配された開口部は空間に多様な光環境をつくりだす．



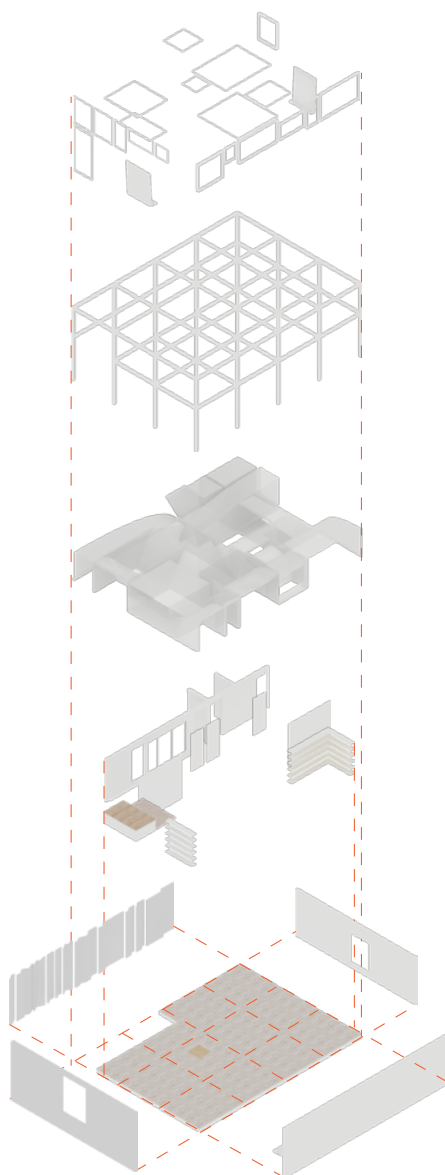
- roof plan s=1/100



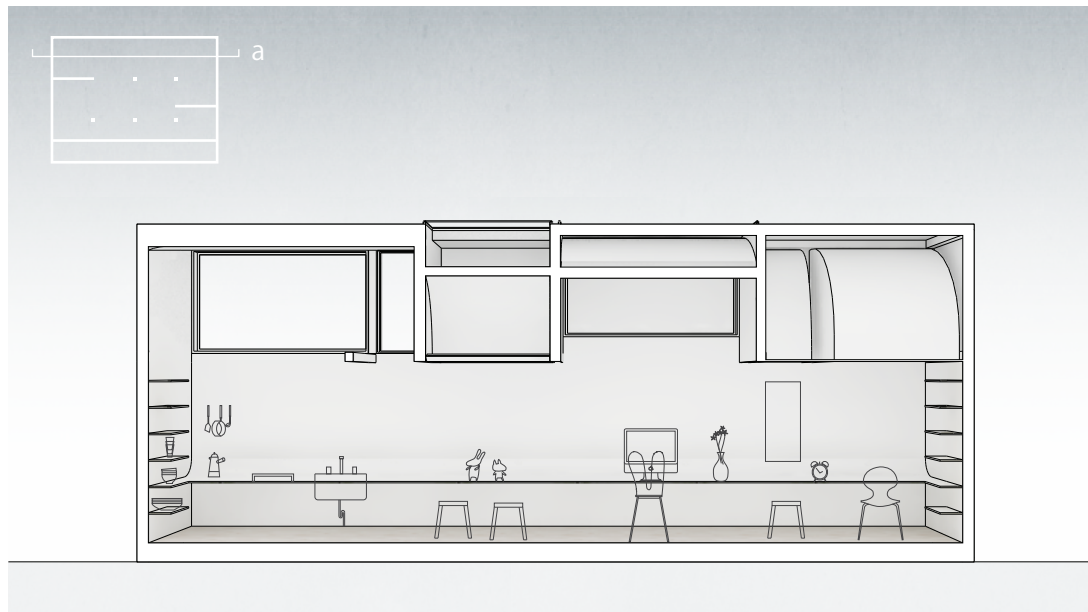
- ceiling plan s=1/100

－ アクソメトリック図

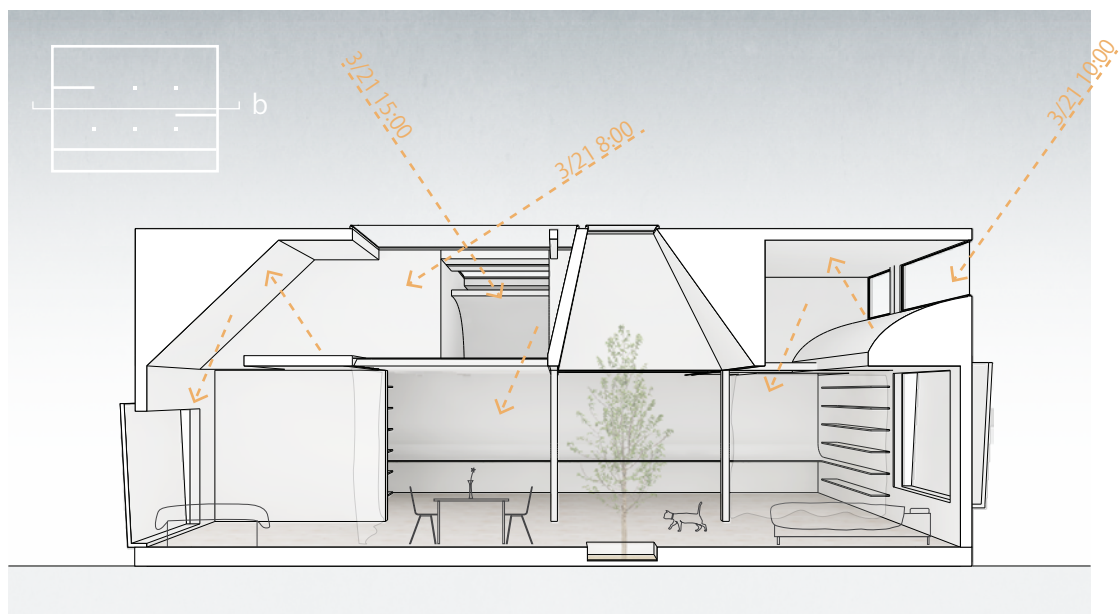
シンプルな平面に 2730mm グリッドの構造体と最小限の間仕切り壁，そして天井懐に配された間接採光装置によって構成される．従来の建築と類似した様相を見せながら天井懐による採光方法によって，建築空間に差異が生み出される．



光環境を設計するためにつくられた屋根裏空間は、すべての断面において異なる形態を持つ。

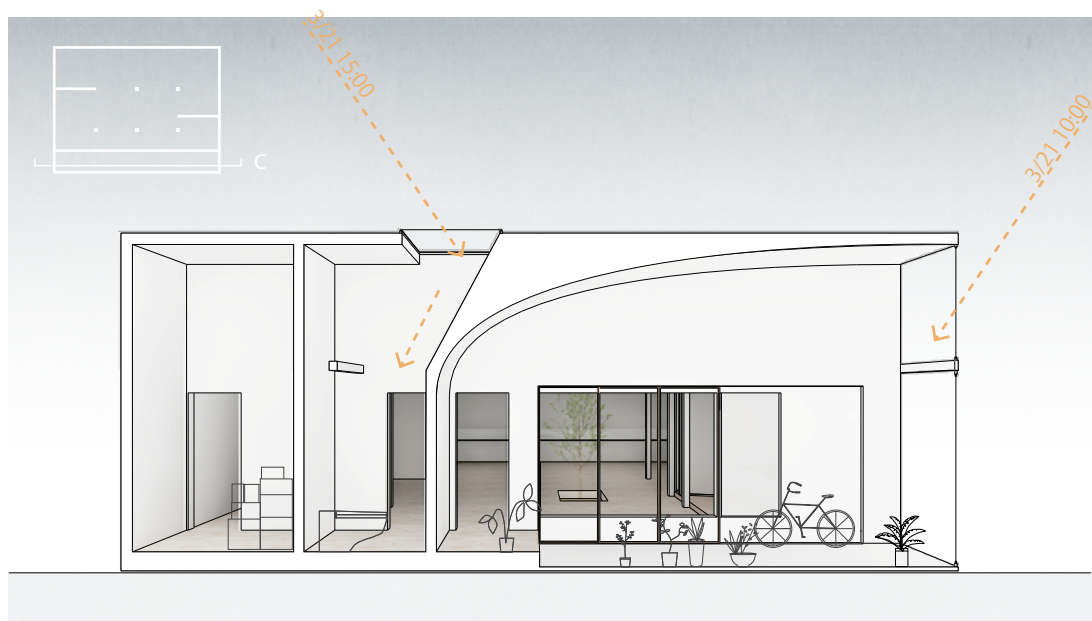


- a section s=1/100

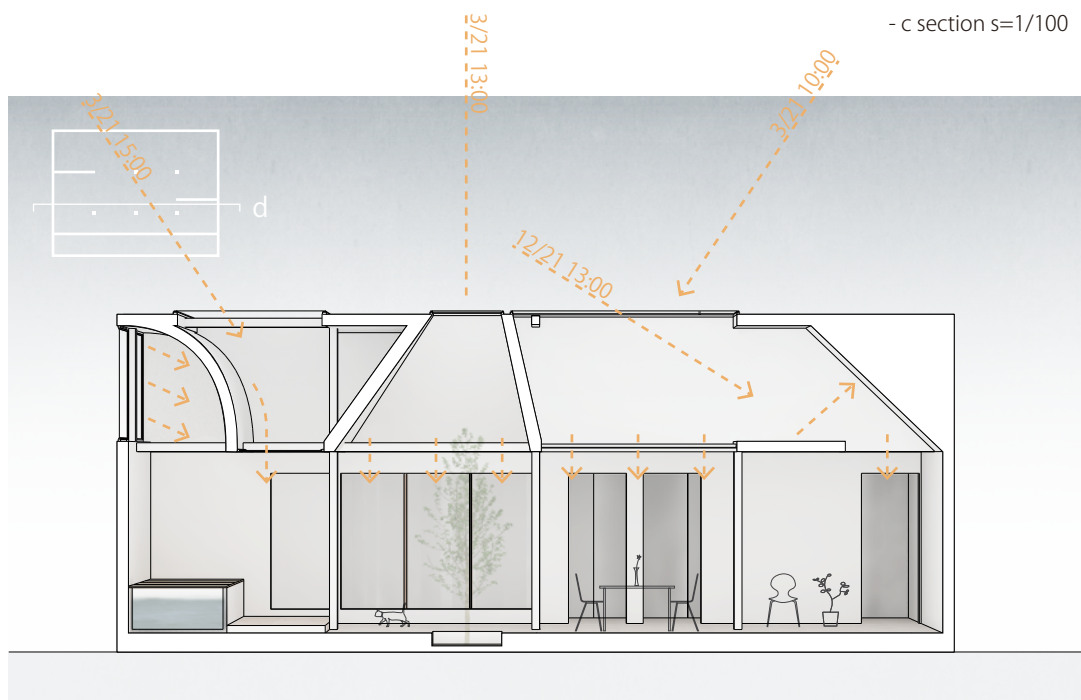


- b section s=1/100

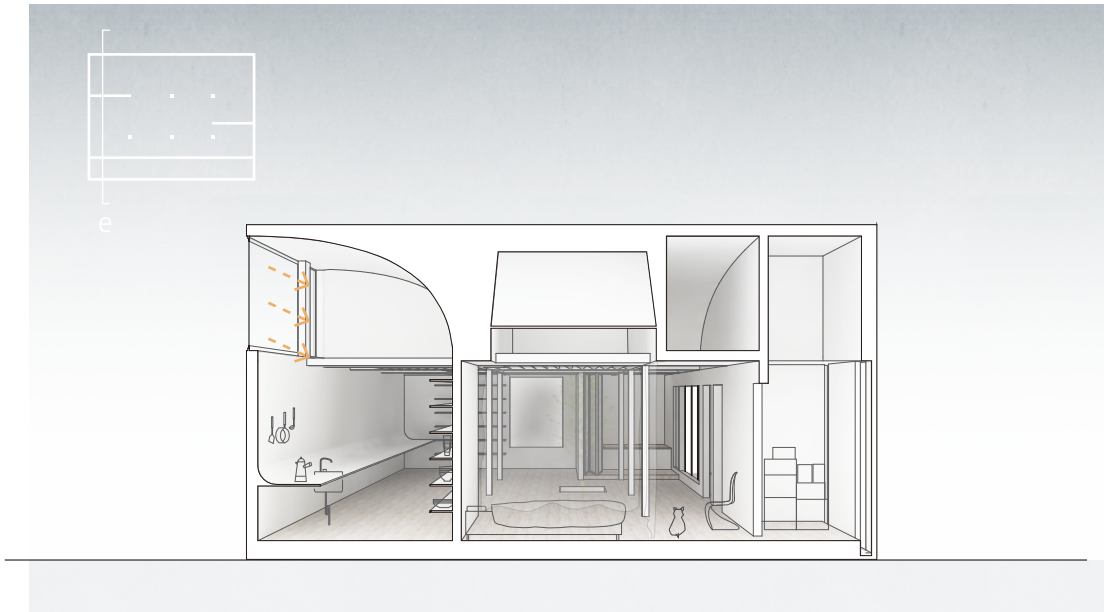
それぞれが様々な時間帯に対して働く多様な開口部である。



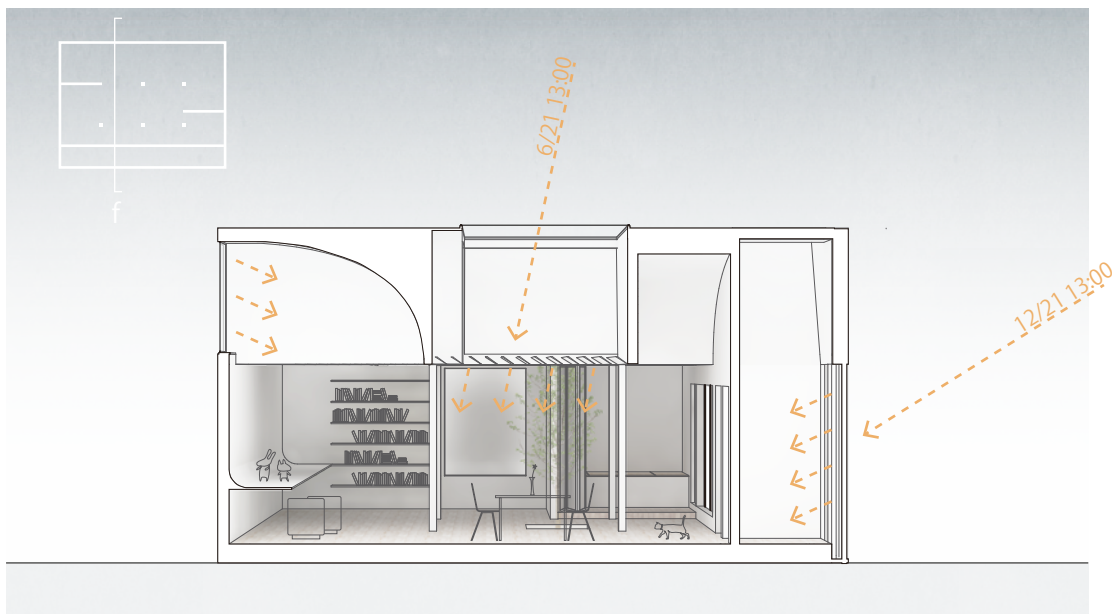
- c section s=1/100



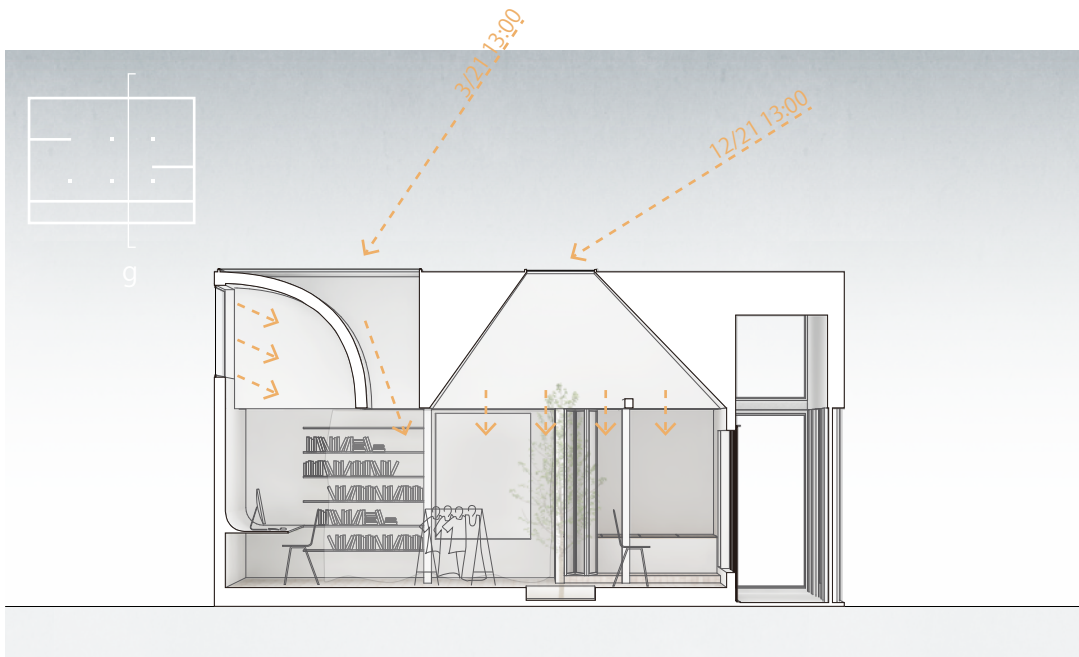
- d section s=1/100



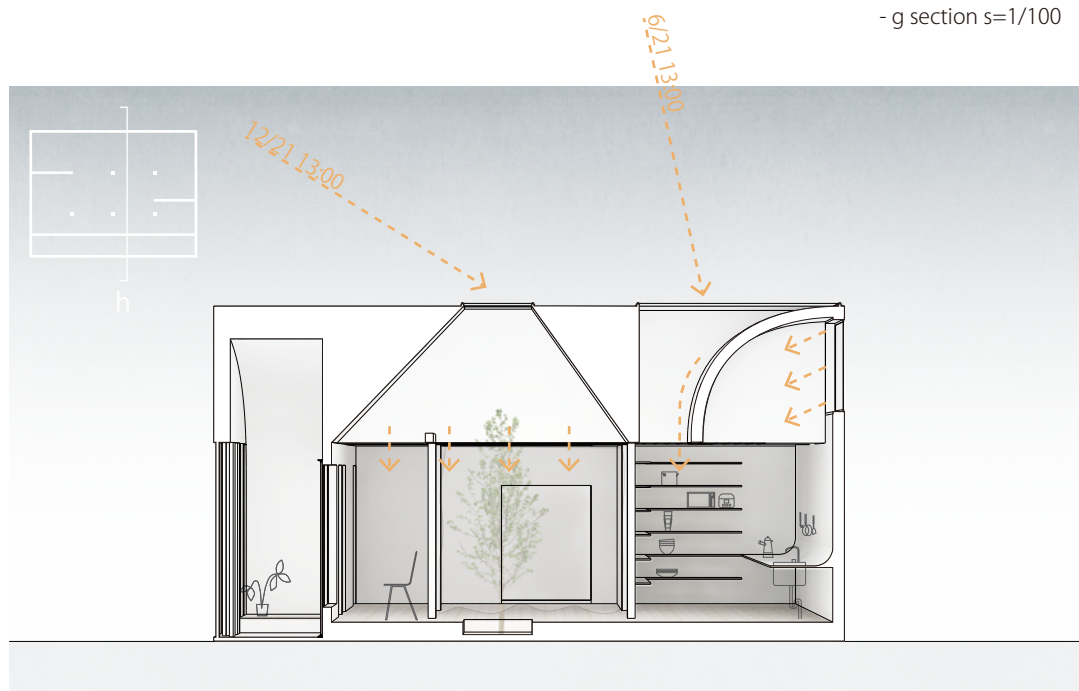
- e section s=1/100



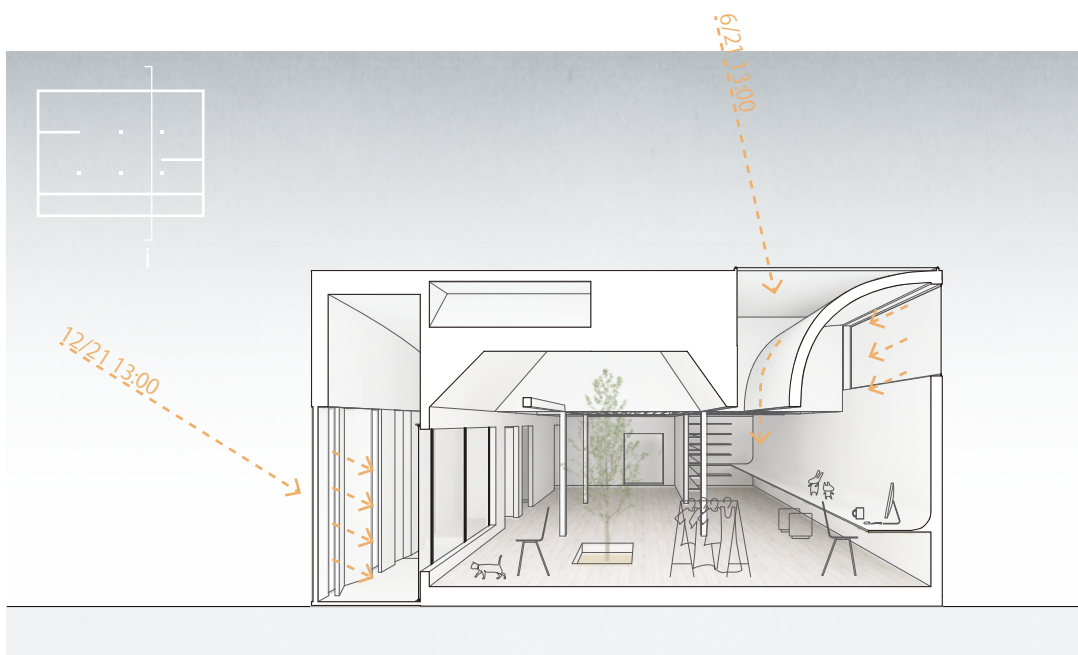
- f section s=1/100



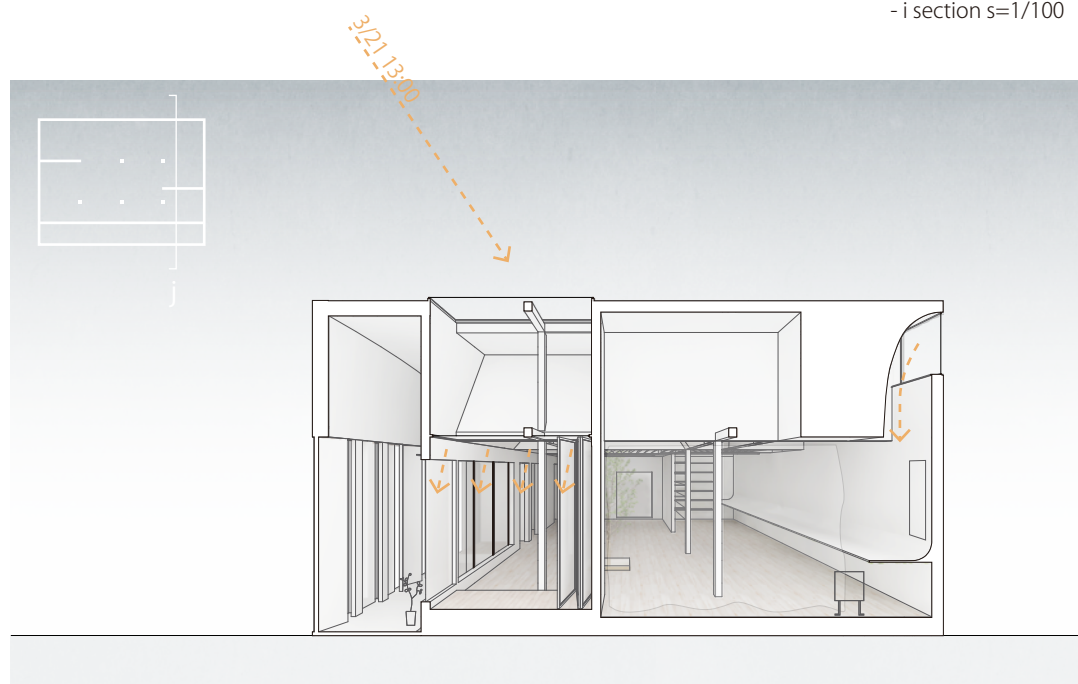
- g section s=1/100



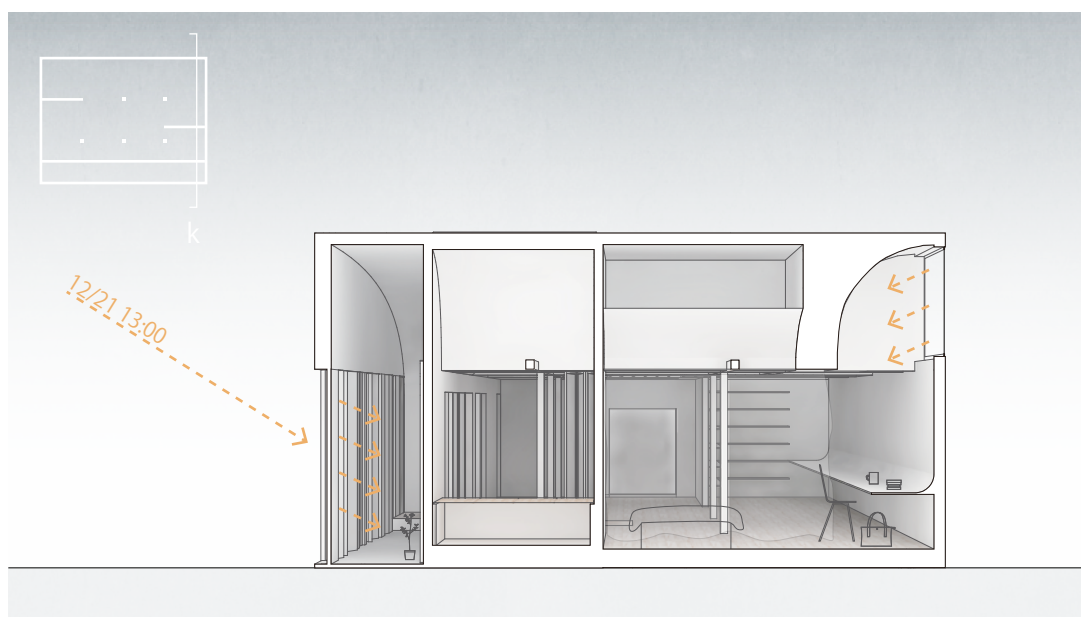
- h section s=1/100



- i section s=1/100

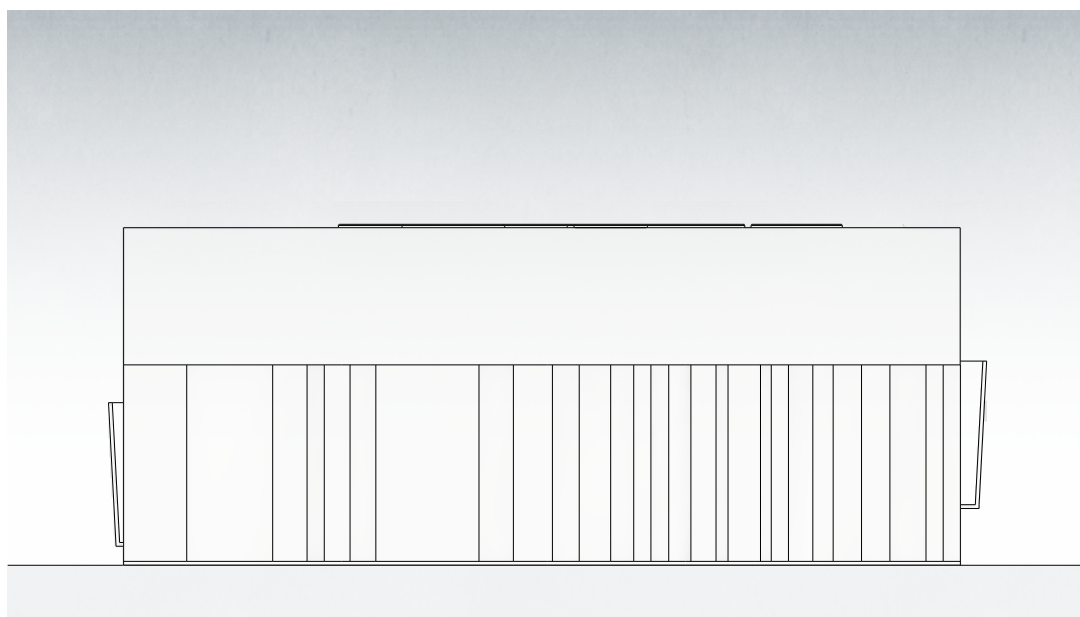


- j section s=1/100

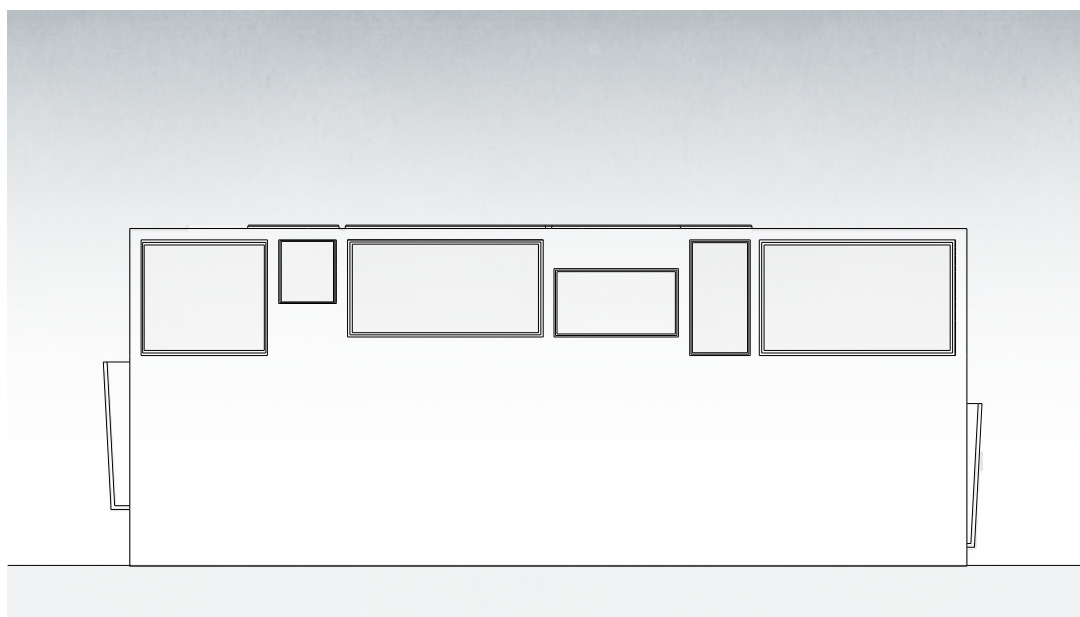


- k section s=1/100

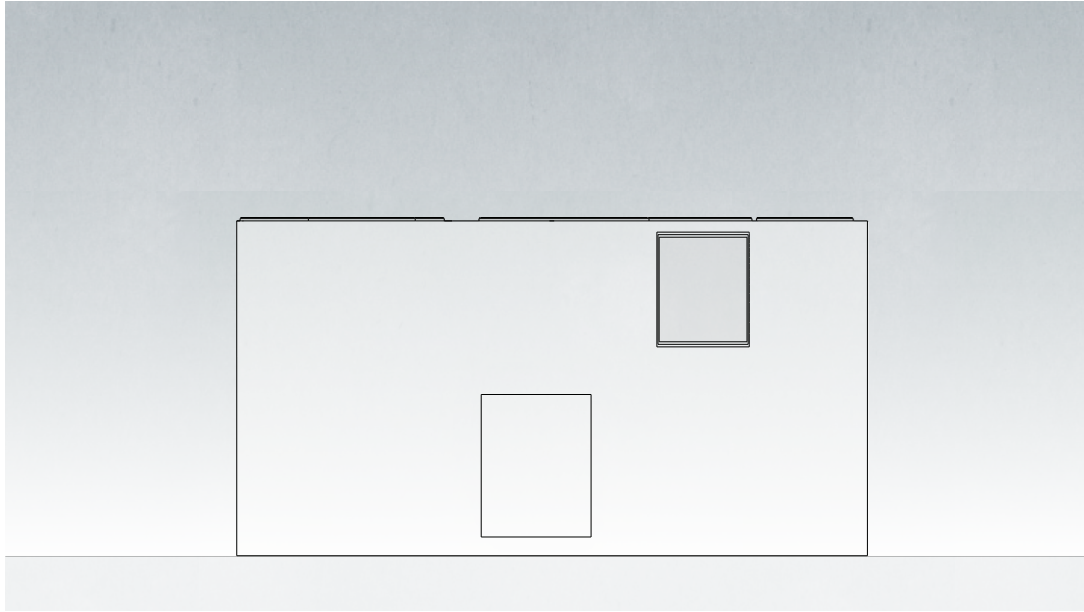
何の変哲もないシンプルな立面が唯一異なるのは、従来の建築よりも高い階高を持つということである。



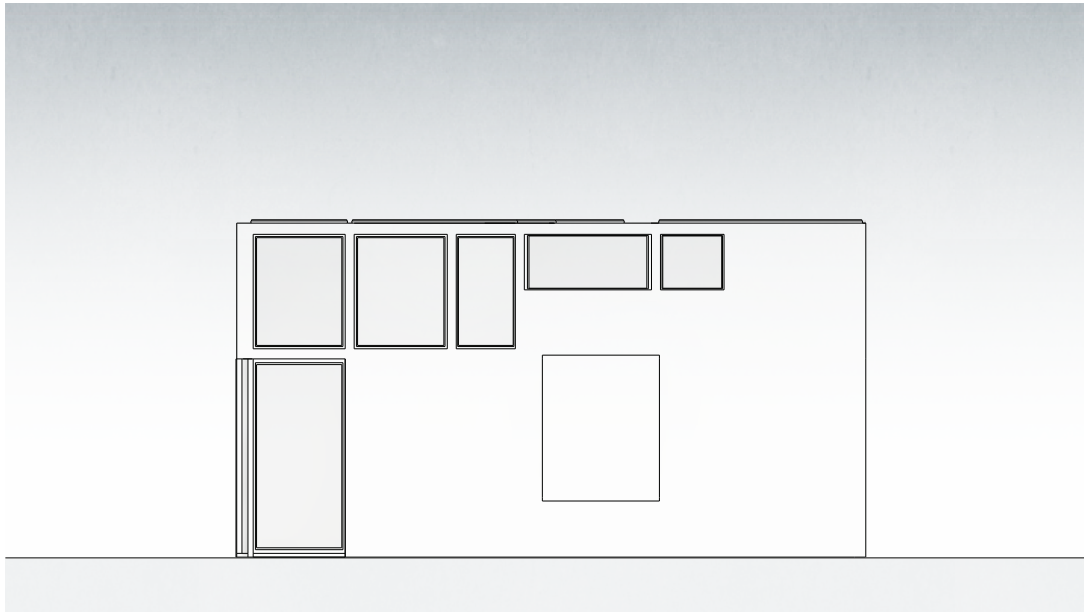
- south elevation s=1/100



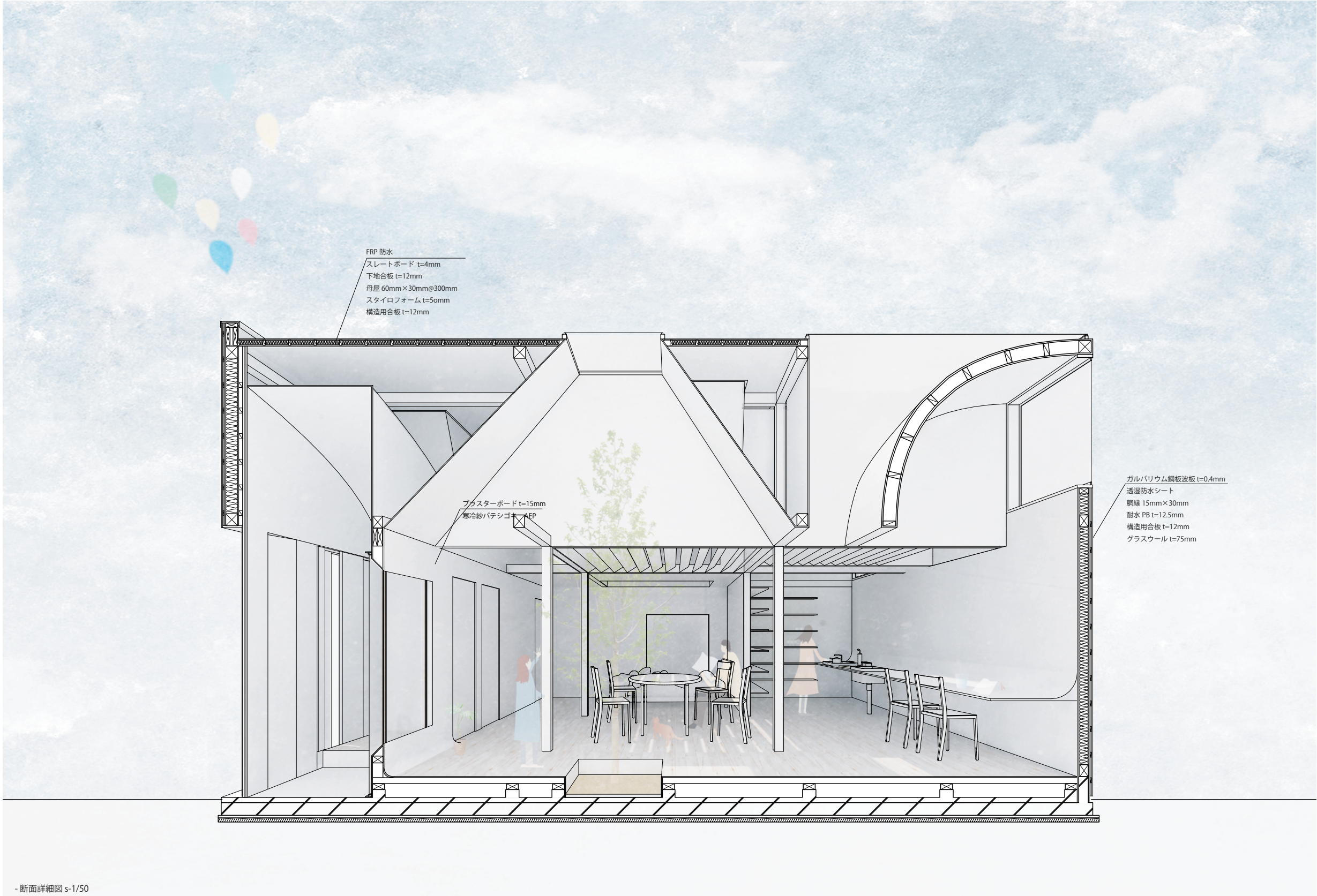
- north elevation s=1/100



- west elevation $s=1/100$

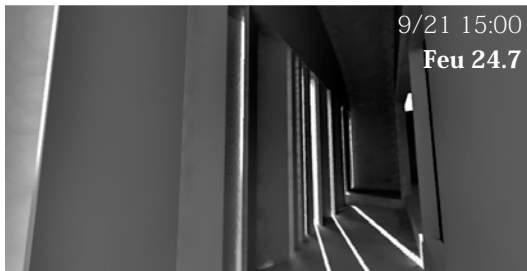
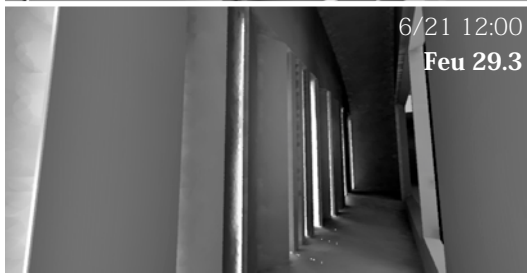
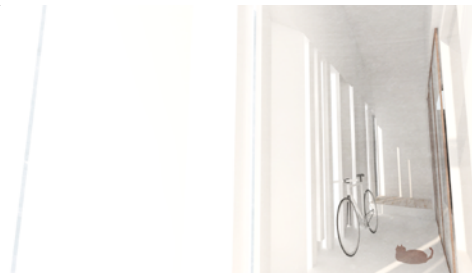
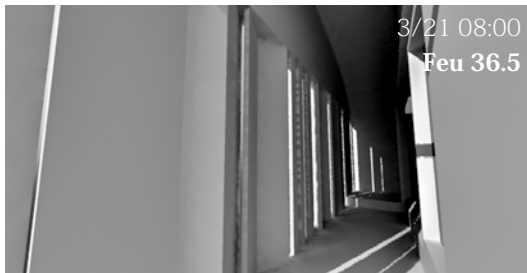


- east elevation $s=1/100$

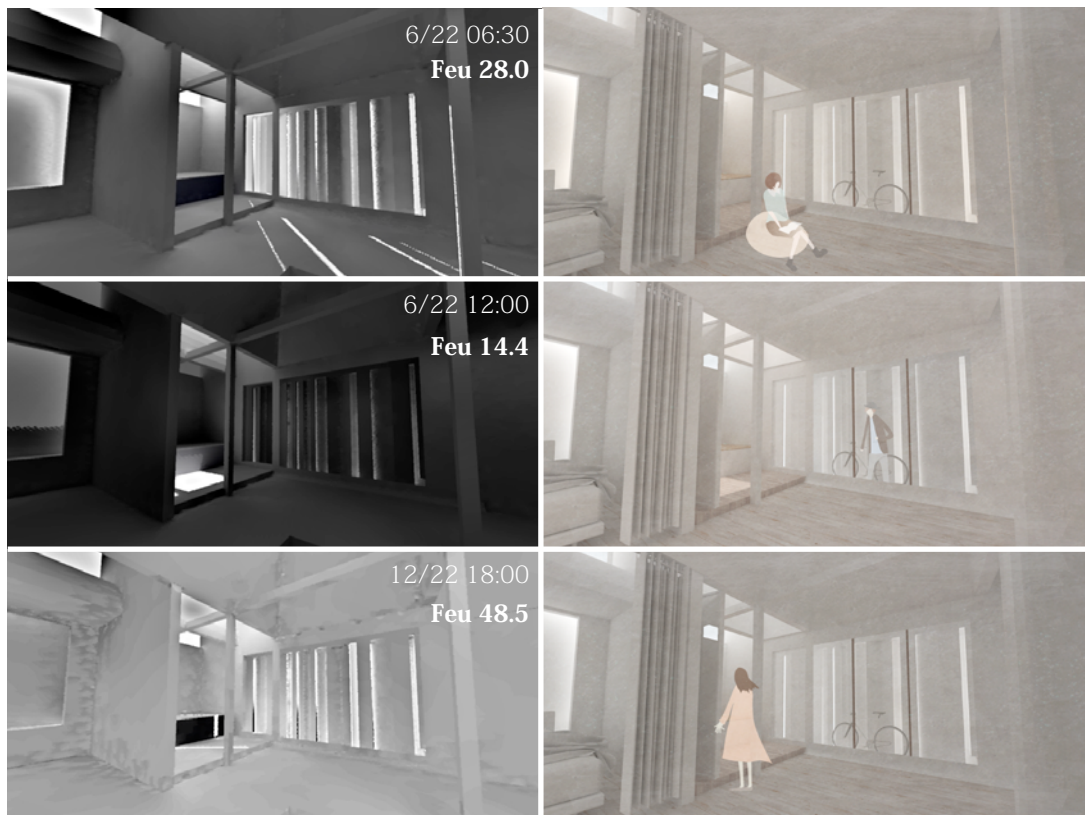


1章で有益性が認められた Feu を用いて、設計した住宅のシミュレーションを行った。以降に radiance によるレンダリングと空間のアクティビティ、使われ方を示すイメージを示す。

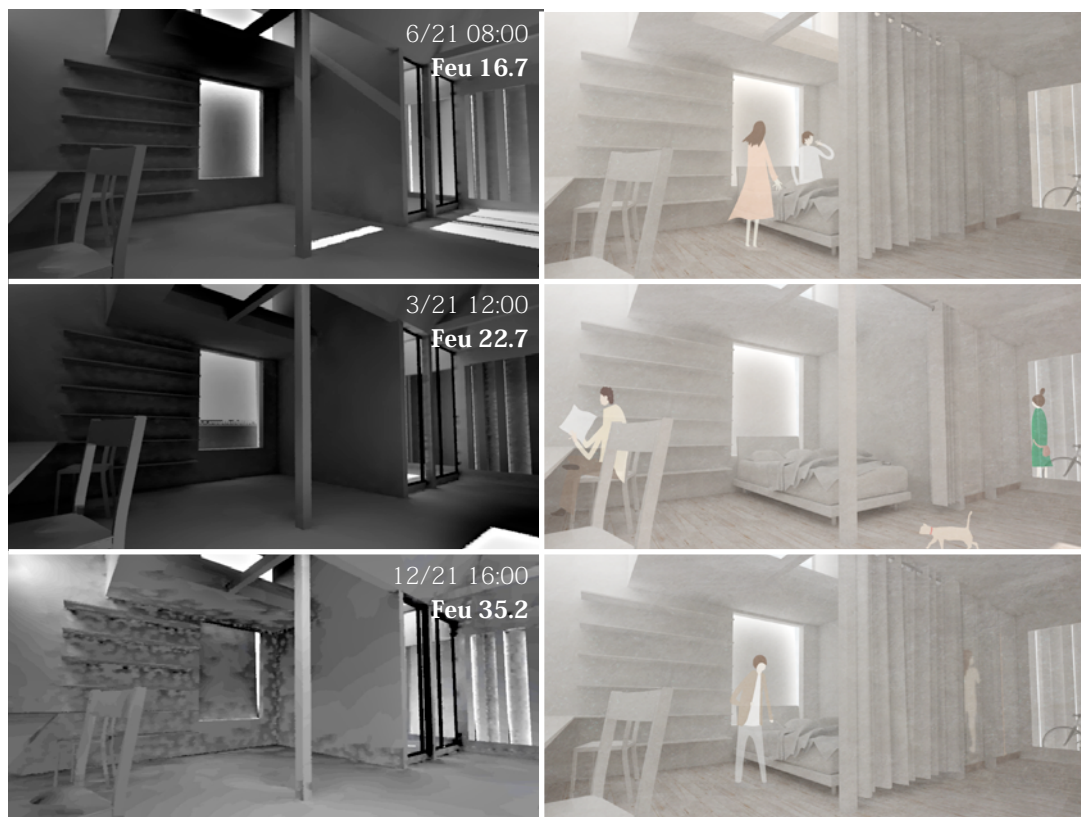
ー ヒカリドマ / 東側からの朝日を受ける光溜め空間。雁行配置された壁面の陰影が時間の変化とともに変化する。



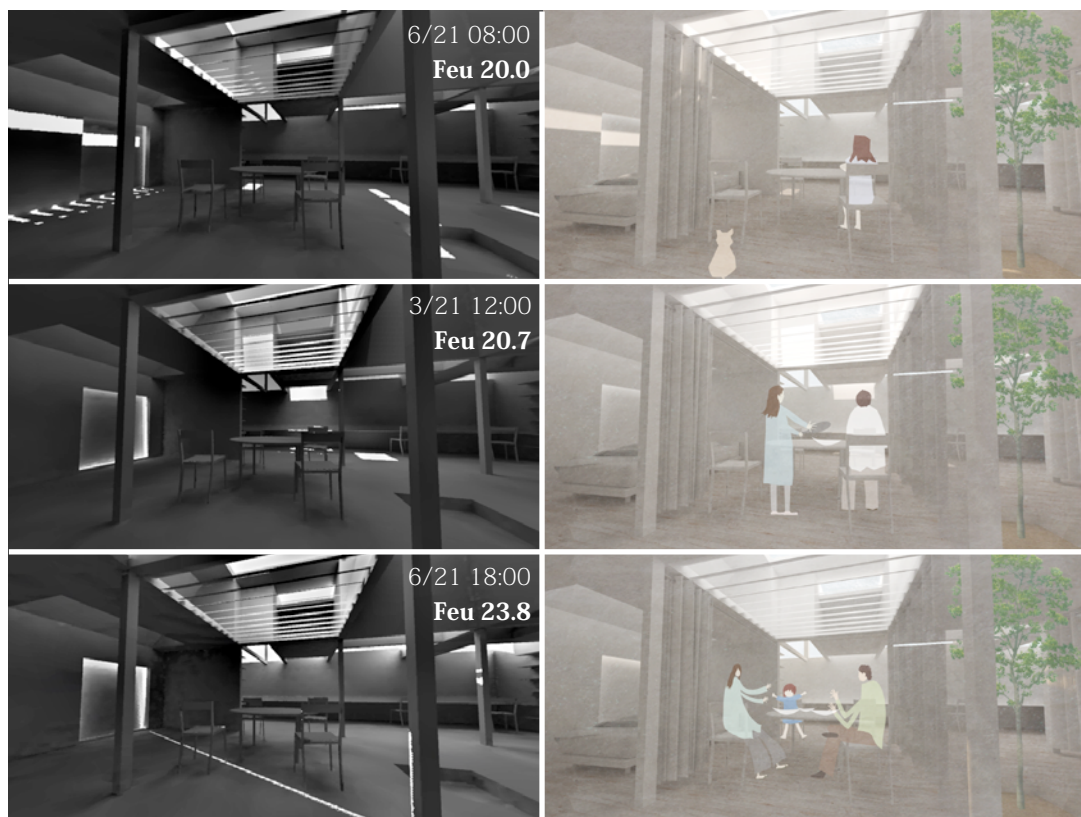
- ヒカリカベ / 陰影の変化する壁面が絵画のようにディスプレイされ、
室内側から鑑賞するように暮らす。



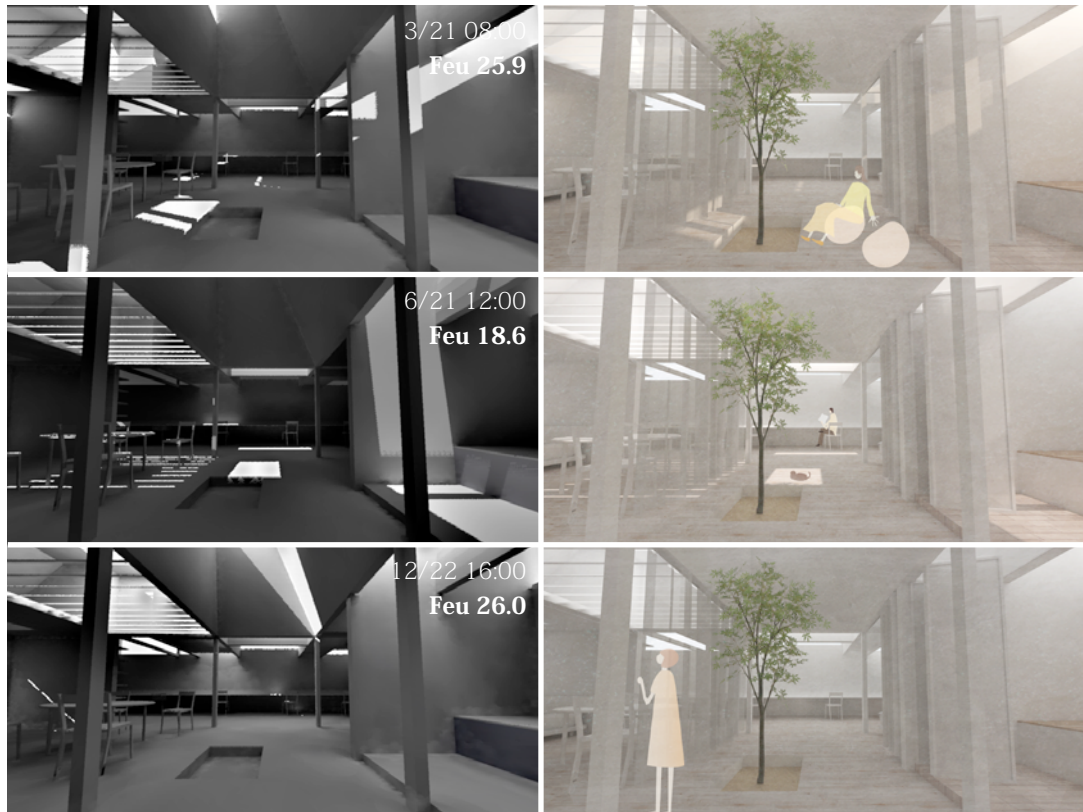
- ベッドのある場所 / なにもない空間にカーテンをつかって居場所をつくりだす. 上部からの朝日によって照らされる場所が寝るための場となる.



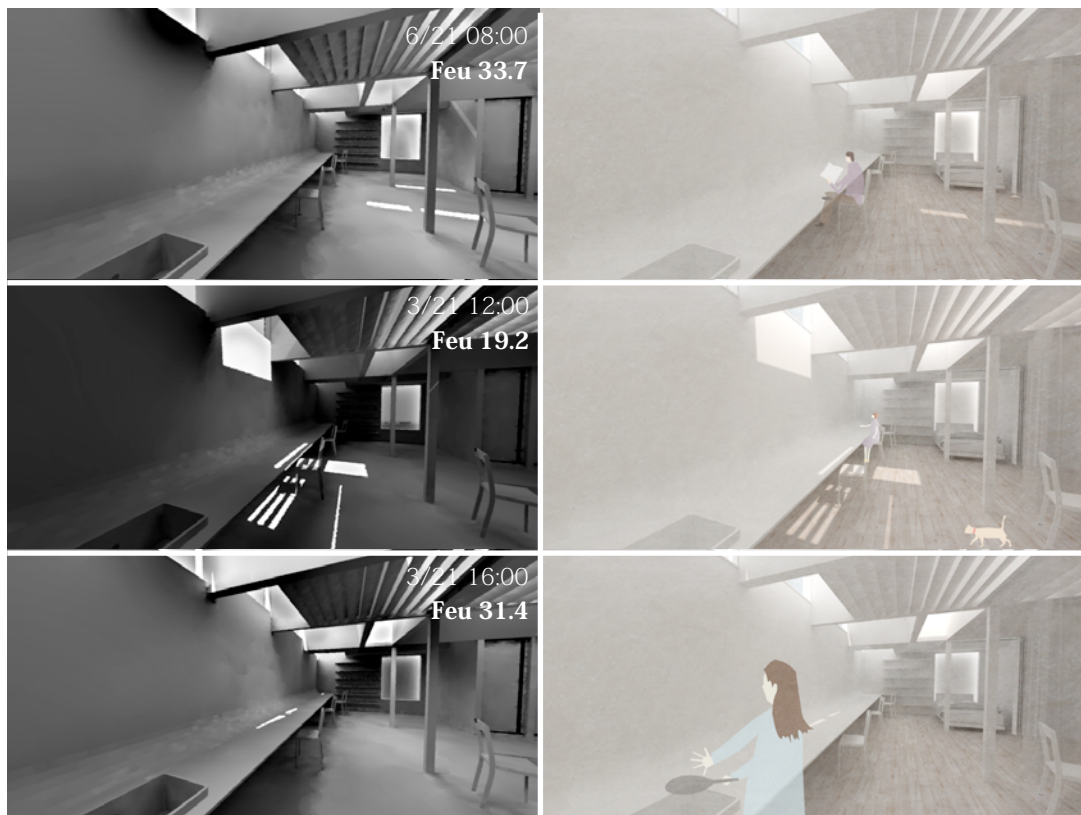
- テーブルのある場所 / 住民がテーブルをすきな場所に移動させて使用する. 自分たちでその日決めた場所が食事空間となる.



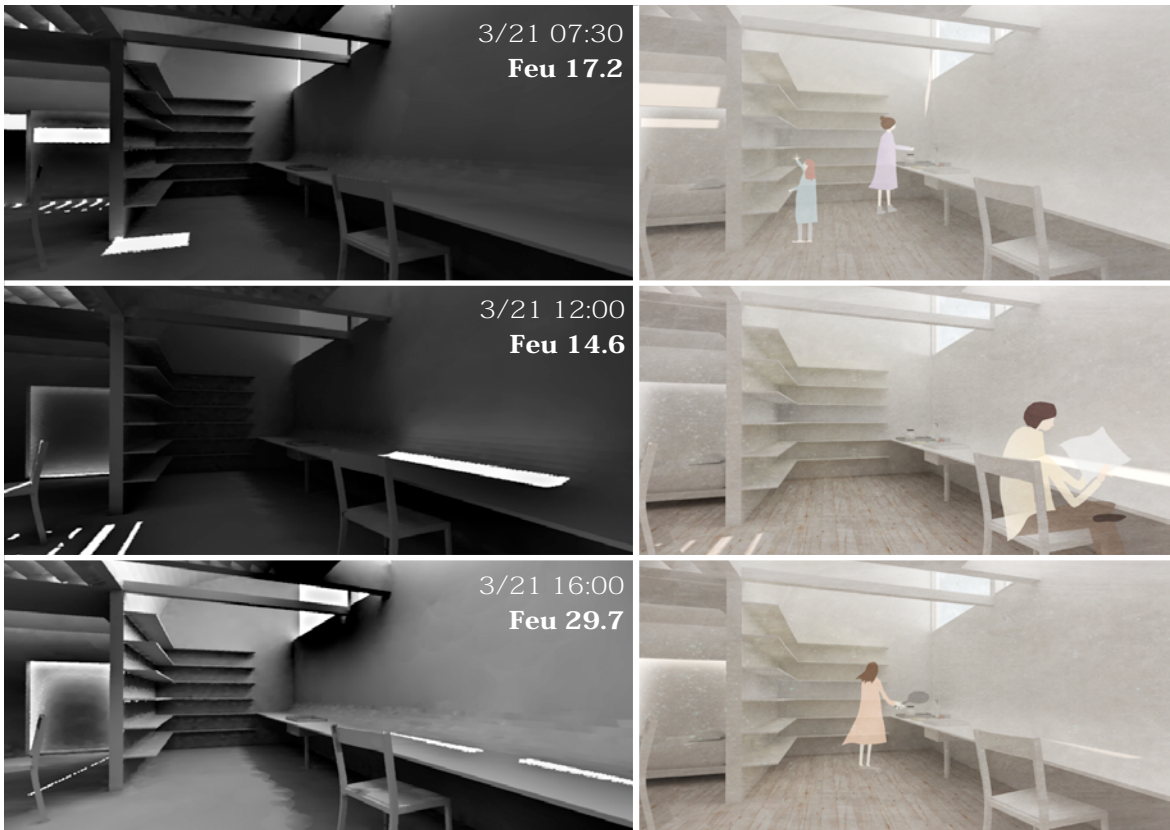
- 庭のような場所 / 光の状態を操作して，内部に庭のような場所をつくりだす．上部に吹き抜けた場所が突如現れ，光に照らされる場所で自由な使い方が生まれる．



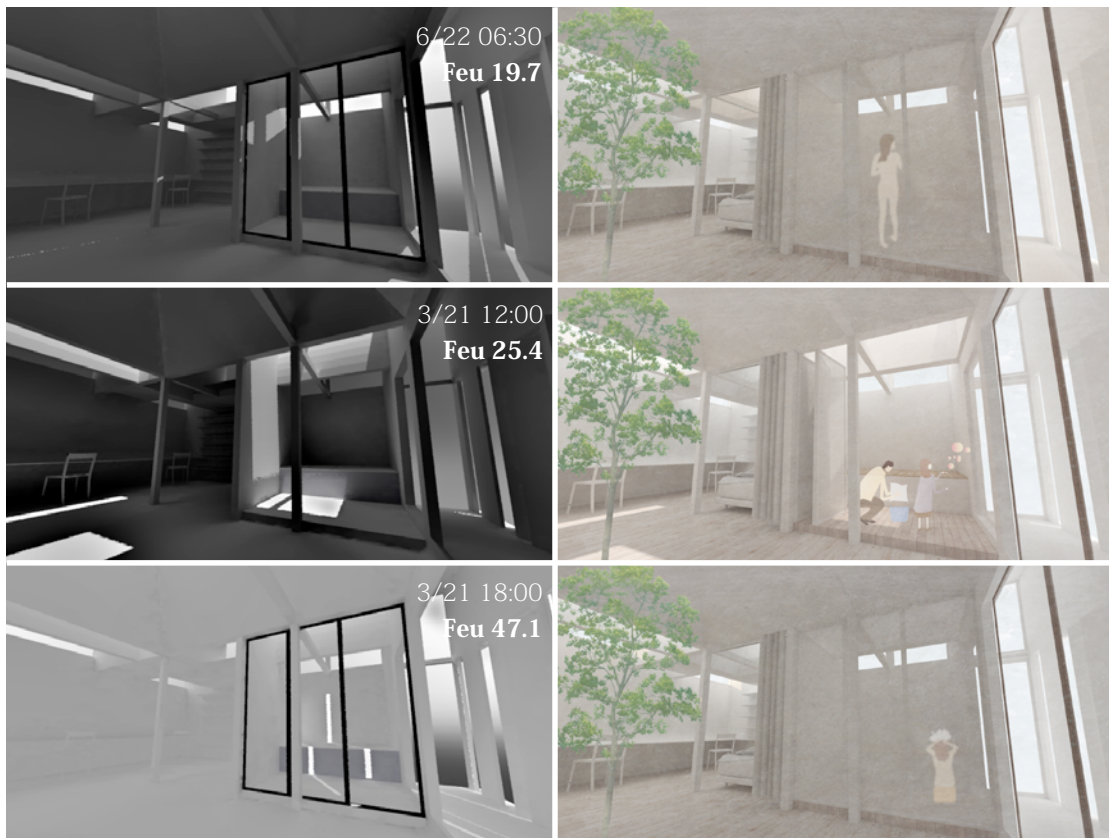
- ヒカリテーブル / 北側の壁面に沿うようにテーブルが配される。テーブルに様々な光が落ち、用途に適した場所を見つけ出して使用する。



- 料理をする場所 / テーブルの一角に料理をするための設えを施した。
北側からの柔らかい光に照らされる調理空間である。



- お風呂のような場所 / 住空間と同じように設えられたお風呂空間はときに光溜めに、作業スペースに、そしてバスルームとして機能する。



安定した明るさを間接採光によって確保しつつ、刻一刻と光の状態が変化するこの住宅では、その偶発的な光の状態に触発されるようにアクティビティが展開される。それは暖かい場所を見つけては居座る猫のように、心地の良い空間を
探すように暮らすプリミティブな風景となる。



結 総括と展望

conclusion and prospects

結

結 総括と展望

現状，建築設計における採光計画は，計画された平面に対して，必要な窓を追加するという付加的かつ，事後的なものが一般である．またそれは光環境を評価する指標が水平面照度のみに頼っているという現状が一端を担う．そこで本研究では，Feu理論という空間の明るさ感を定量的に評価する指標を用いて，間接採光を評価し，採光計画から建築設計を始めるというプロセスを用いることで，建築と一体化した採光手法と，従来の設計手法では得られない豊かな光環境を実現することができた．また室名という名詞に規定されるように，窮屈な生活をする現代住宅に対して，光という形容詞によってゆるやかに変化する空間は，生活に彩りと多様性をもたらすものとなった．以上より，間接採光手法を用いることによる空間への影響を定量的に評価し，採用することの可能性を示した．

一方，Feu理論によって明るさ感を数値化することを可能とし，明るさの比較を容易にしたが，それは空間全体を対象としたものとなり，個々のシーンに対して検討するまでに至らなかった．またいまだ直接採光の評価に問題が残る．今後，直接採光を含めた採光手法の評価指標や，空間の中のシーンを切り取って明るさを評価することなどが求められるであろう．

参考文献

- 文献

- (1) 自然光を活かした建築, ヘンリー・ブラマー, ガイアブックス, 2010
- (2) アルベルト・カンポ・バエザ 光の建築, アルベルト・カンポ・バエザ, TOTO 出版, 2009
- (3) ハウジングフィジックス・デザインスタディーズ, 小泉雅生他, INAX 出版, 2008
- (4) フィンランド 光の旅, 小泉隆, プチブラパブリッシング, 2009
- (5) アルヴァール・アールト 光と建築, 小泉隆, プチブラパブリッシング, 2013
- (6) 設計のための建築環境学, 日本建築学会, 彰国社, 2011

- 論文

- [1] 人と自然光, 中村芳樹, 東京工業大学
- [2] 昼光と人工光を併用した窓面を有する室内の明るさ感の定量的予測法の検討, 原直也他, 電気関係学会 2009
- [3] 空間の明るさ感評価指標「Feu」の開発と照明設計への適用, 岩井彌, 照明学会誌 2009 年 12 月号
- [4] 視覚特性に基づく照明応用の考え方とその実践, 篠田博之
- [5] デジタルカメラを利用した輝度分布測定システムに関する研究, 林洋一
- [6] デジタルデータの分布分析 -- デジタル画像からの輝度分布分析, 鎌田信也

資料編
appendix

資料編

radiance マニュアル

今後、光について取り扱うひとがいるかもしれないので、radiance の使用方法を簡単にまとめます。

まず基本的な作業に関しては「Radiance による光環境シミュレーション入門」を参照するのが一番良いかと思います。下記のサイトで電子書籍を購入することができます。

http://www.dlmarket.jp/products/detail.php?product_id=238961

radiance は sketchup のプラグインとして使用することができます。他にも使用方法があるのですが、基本的にはスケッチアップベースで使うことを推奨します。ちなみに細かい動作に関しては自分も理解できていない点も多いのですが、取り組むにあたってわかりづらかった部分について補足します。

まず radiance を使う為の環境を整えないといけません。また radiance は mac でしか動かないのでご注意ください。基本的な環境設定は「Radiance による光環境シミュレーション入門」の8章を参照です。radiance は基本的に太陽光の状態を詳細に設定ができるレンダリング用プラグインといった感じです。恐らく建築設計に用いる場合はそういった認識でいいかと思います。ただ環境設定がされていない場合レンダリングができないといったことが起こるので注意してください。

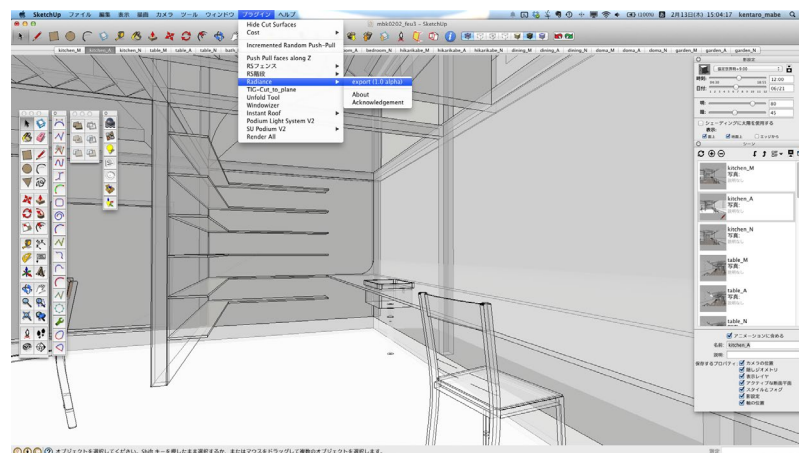


また radiance の操作は基本的にターミナル上で行います。ターミナルとは簡単に言うと、パソコンに対して直接コマンドを入力して命令するアプリケーションです。アプリケーションの中にある、ユーティリティフォルダにあります。ターミナルを使ったことがないと、相当苦労すると思うので、その辺りを少し解説します。

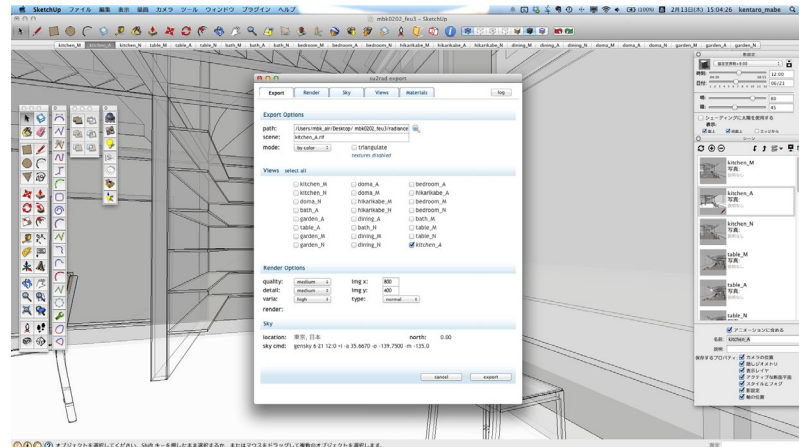
細かい操作の前に一番重要な注意点として、ファイル名やシーン名に日本語を使うと radiance は動きません。必ずローマ字にすること。またそのスケッチアップファイル自体も日本語のフォルダに置いておいてはいけません。問題を起こさないためにも sketchup データはデスクトップに置いておくのが無難だと思います。

－レンダリングの仕方について。

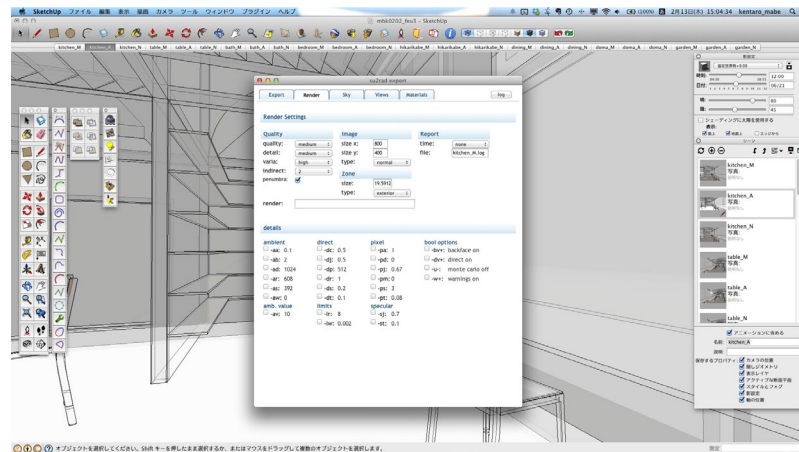
radiance がインストールされている場合、プラグインの項目に radiance が表示されているはずですが、レンダリングはそれより export を実行することで行われます。



設定画面です。Render Optionでレンダリングのサイズを指定できます。
あまり大きくするとパソコンがフリーズする可能性もあるので注意。

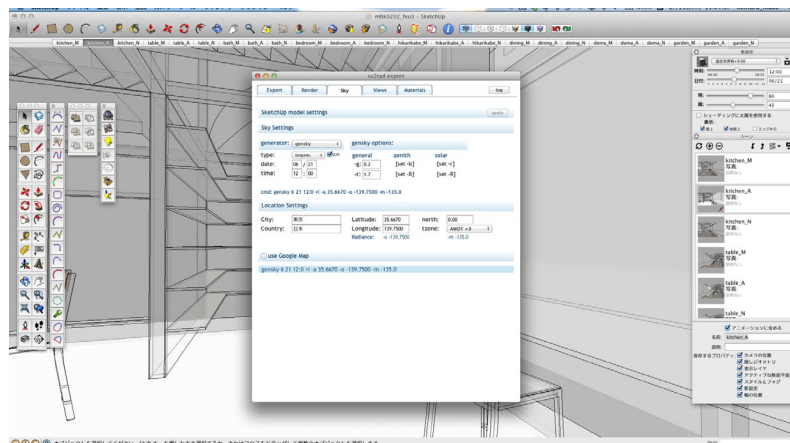


また sketchup 上でシーン登録をしておくとそのまま利用してレンダリングできます。

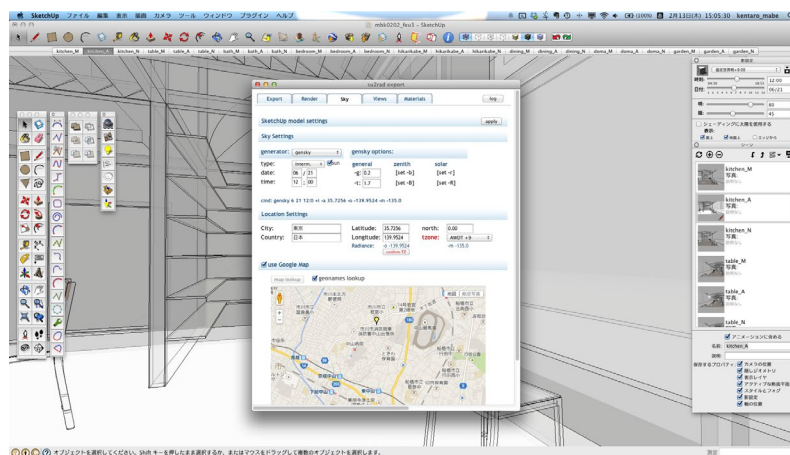


Render のウィンドウで太陽光の設定を行います。詳細は書籍 8 ページ
参照。

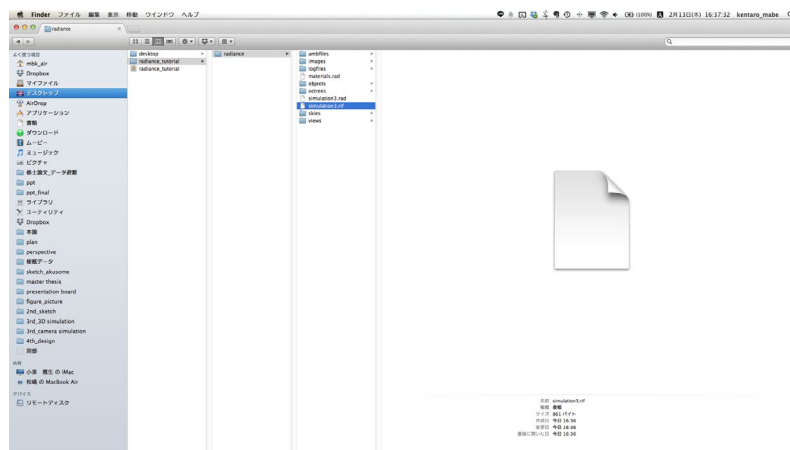
sky のウィンドウでは日時や場所の設定を行います。



また場所は google map を使って入力することができます。ピンを動かして、自分が参照したい場所を選択し、最後に右上の apply をクリックします。



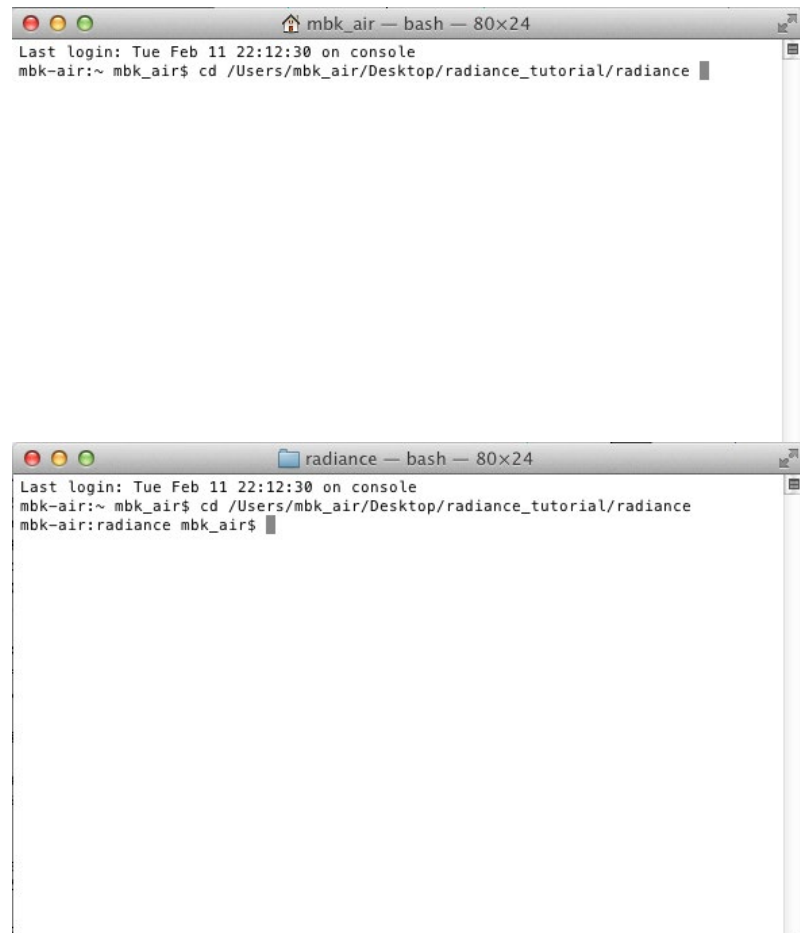
設定が終了したら export をクリックします。ここで注意しなければならないのは export した時点ではレンダリングされた訳ではないということです。この時点でできているのは「レンダリングに必要な情報をまとめた text ファイル」になります。このテキストファイルをターミナルを使いながらレンダリングします。ここまでは基本的に Radiance による光環境シミュレーション入門を参照すればわかるのですが、ターミナルの使い方だけは別に勉強しなければならないことなので少し詳細に書きます。



export が完了した時点で、sketchup データがある場所に同一名称のフォルダができます。更にその中には radiance というフォルダがあります。その中にあるのがレンダリングに必要なデータです。次のシーンを export するとそれまで radiance という名前だったフォルダが別名称になって、最新のものが radiance という名前で存在するようになります。ファイルを見失ってしまうので、その都度フォルダの名前をわかるように変更することを推奨します。


次にターミナルを起動してレンダリングをします。また輝度分布図の作成などもターミナルを通して行います。基本的にターミナルはコマンド入力をするするとパソコンが実行するというものです。一番最初にコマンドを、その後に必要な条件や情報を入力します。例えば say hello と入力するとパソコンが hello と言います。

レンダリングをする場合、まずターミナルにどこのフォルダを参照するか教えてあげなければなりません。そしてフォルダを移動するために必要なコマンドは "cd" です。"cd"+"spacekey" を入力したあとに参照したいフォルダをドラッグ & ドロップ, enterkey を押すとそのフォルダに移動します。



レンダリングに必要なファイルは radiance フォルダの中の rif ファイルなので, "cd radiance" で radiance フォルダを参照している状態とします。

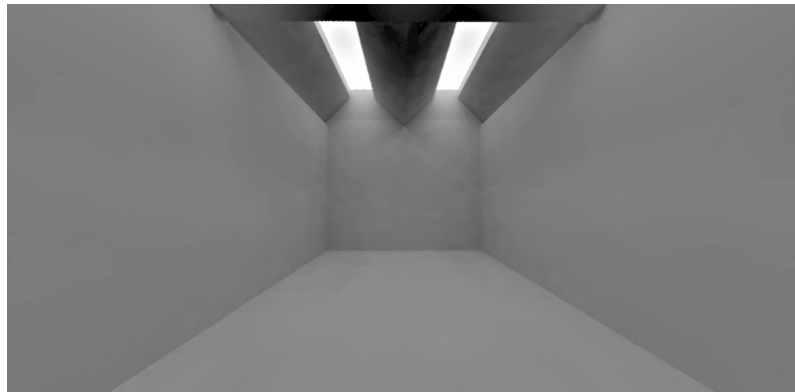
そしてレンダリングコマンドは "rad" です。"rad simulation3.rif" でレンダリングが実行され, image というフォルダの中にレンダリングされたデータが作成されます。simulation3.rif という名前は今回の場合のもので, 自分でつくったシーン名称が rif ファイルの名前になります。



```
radiance — bash — 80x24
Last login: Tue Feb 11 22:12:30 on console
mbk-air:~ mbk_air$ cd /Users/mbk_air/Desktop/radiance_tutorial/radiance
mbk-air:radiance mbk_air$ rad simulation3.rif
oconv -w materials.rad simulation3.rad > octrees/simulation3.oct
rpict -t 0 -e logfiles/simulation.log -vf views/simulation3.vf -dp 512 -
ar 22 -ms 0.15 -ds .2 -dj .9 -dt .1 -dc .5 -dr 1 -ss 1 -st .1 -ab 2 -af ambfiles
/simulation3.amb -aa .1 -ad 1536 -as 392 -av 2 2 2 -lr 8 -lw 1e-4 -x 64 -y 64 -p
s 1 octrees/simulation3.oct > /dev/null
rpict -t 0 -e logfiles/simulation.log -vf views/simulation3.vf -x 1600 -
y 1280 -dp 512 -ar 22 -ms 0.15 -ds .2 -dj .9 -dt .1 -dc .5 -dr 1 -ss 1 -st .1 -a
b 2 -af ambfiles/simulation3.amb -aa .1 -ad 1536 -as 392 -av 2 2 2 -lr 8 -lw 1e-
4 -ps 3 -pt .08 octrees/simulation3.oct > images/radiance_tutorial_simulation3.u
nf
pfilt -l -e -2 -r .6 -x /2 -y /2 images/radiance_tutorial_simulation3.un
f > images/radiance_tutorial_simulation3.hdr
rm -f images/radiance_tutorial_simulation3.unf
mbk-air:radiance mbk_air$
```

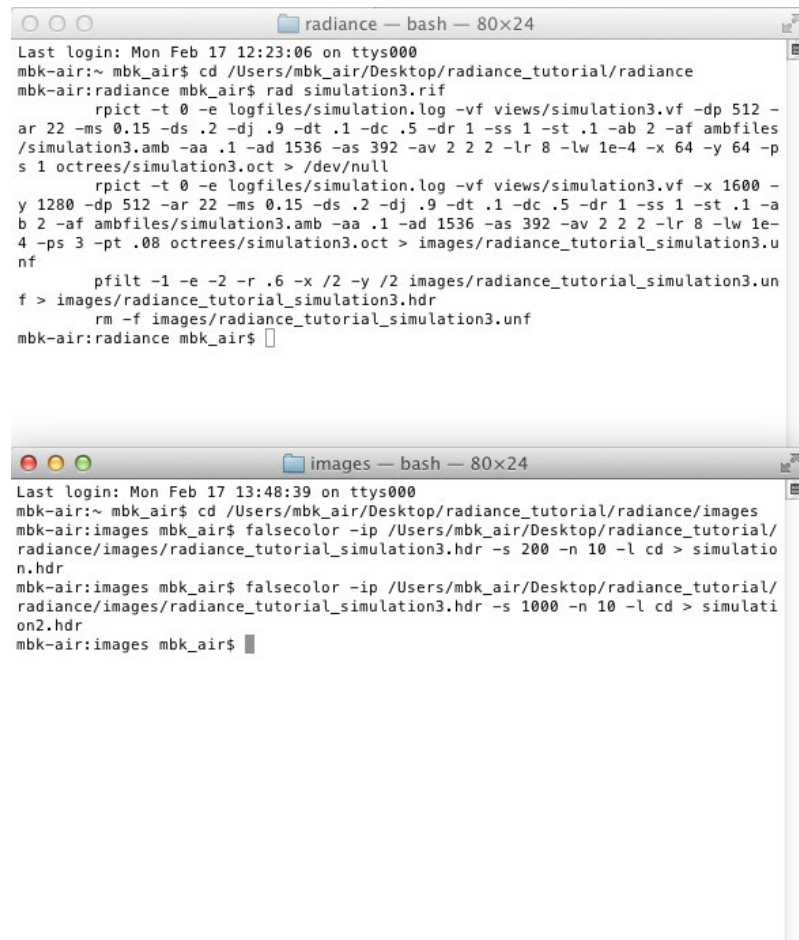
\$ が表示されたらレンダリング終了です。次のコマンドを入力できます。またターミナルのウィンドウをいくつか開いて, 同時にレンダリングすることもできます。

レンダリングした画像はこのようになります。hdr という拡張子のものなので、プレビューで開いて jpg に書き出したりすると、このように貼付けたりできるようになります。しかしパソコンによっては書き出したときに色味が変わってしまったりしたので注意してください。



基本的に必要な要領はこのようになります。コマンドを実行したいファイルが入っているフォルダに対して cd でちゃんと移動してから、コマンドを入力することが重要です。

最後に輝度分布図について説明します。度々になりますが、詳細は p. 59 参照です。輝度分布図を作成するコマンドは“falsecolor”です。“-s”でスケール、つまり輝度の範囲を設定します。200 にすると 200cd/m^2 が一番大きなしきい値となります。

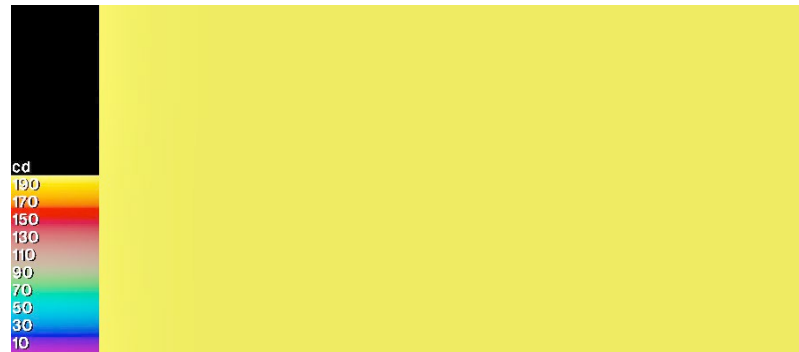


```
radiance — bash — 80x24
Last login: Mon Feb 17 12:23:06 on ttys000
mbk-air:~ mbk_air$ cd /Users/mbk_air/Desktop/radiance_tutorial/radiance
mbk-air:radiance mbk_air$ rad simulation3.rif
      rpict -t 0 -e logfiles/simulation.log -vf views/simulation3.vf -dp 512 -
ar 22 -ms 0.15 -ds .2 -dj .9 -dt .1 -dc .5 -dr 1 -ss 1 -st .1 -ab 2 -af ambfiles
/simulation3.amb -aa .1 -ad 1536 -as 392 -av 2 2 2 -lr 8 -lw 1e-4 -x 64 -y 64 -p
s 1 octrees/simulation3.oct > /dev/null
      rpict -t 0 -e logfiles/simulation.log -vf views/simulation3.vf -x 1600 -
y 1280 -dp 512 -ar 22 -ms 0.15 -ds .2 -dj .9 -dt .1 -dc .5 -dr 1 -ss 1 -st .1 -a
b 2 -af ambfiles/simulation3.amb -aa .1 -ad 1536 -as 392 -av 2 2 2 -lr 8 -lw 1e-
4 -ps 3 -pt .08 octrees/simulation3.oct > images/radiance_tutorial_simulation3.u
nf
      pfilt -1 -e -2 -r .6 -x /2 -y /2 images/radiance_tutorial_simulation3.un
f > images/radiance_tutorial_simulation3.hdr
      rm -f images/radiance_tutorial_simulation3.unf
mbk-air:radiance mbk_air$

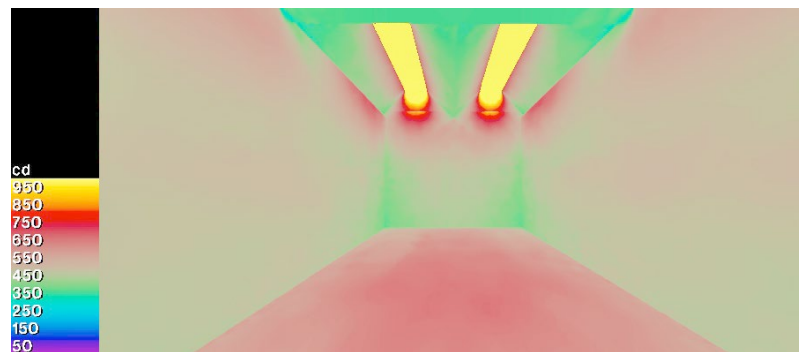
images — bash — 80x24
Last login: Mon Feb 17 13:48:39 on ttys000
mbk-air:~ mbk_air$ cd /Users/mbk_air/Desktop/radiance_tutorial/radiance/images
mbk-air:images mbk_air$ falsecolor -ip /Users/mbk_air/Desktop/radiance_tutorial/
radiance/images/radiance_tutorial_simulation3.hdr -s 200 -n 10 -l cd > simulatio
n.hdr
mbk-air:images mbk_air$ falsecolor -ip /Users/mbk_air/Desktop/radiance_tutorial/
radiance/images/radiance_tutorial_simulation3.hdr -s 1000 -n 10 -l cd > simulati
on2.hdr
mbk-air:images mbk_air$
```

上記がレンダリングの後に輝度分布図を作成したことになります。“-ip”のあとに再び hdr ファイルをドラッグ & ドロップするとそのファイルの輝度分布図作成となります。

また作成された輝度分布図が下の画像です.

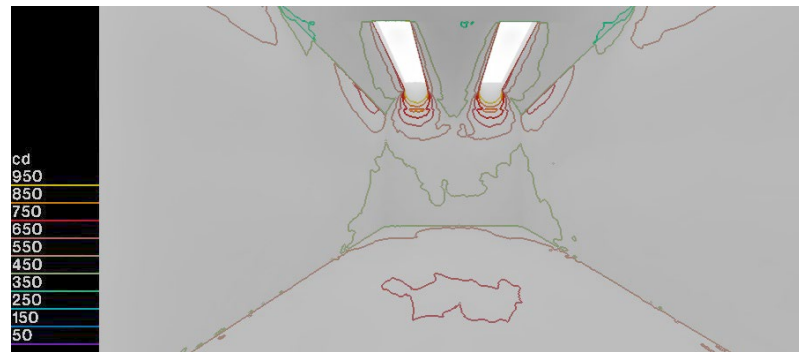


この場合空間がすごく明るかったために、スケールの最大を 200 としたものでは輝度分布図をきれいに作成できませんでした。また全体が真っ黒くなってしまった場合は値が大きすぎたということになります。



そこでスケールを 1000 にして作成してみました。するとおおよそ正しい範囲で取れているように見えます。こうして調整していきます。

コマンドに“-cl”を追加すると輝度分布図をコンタによって作成することができます。下の画像のようになります。



本論文において使用した radiance のコマンドは大体以上となります。ターミナルの使用の要領が掴めれば恐らく他のコマンドも問題なく使用できるはずです。フォルダやファイル、シーンの名称に日本語を用いないこと。参照するフォルダをしっかりと指定すること（たまに違うフォルダに輝度分布図ができていたりします）などを注意して、使用してみてください。

謝辭

acknowledgement

謝辞

7年間の学生生活を締めくくる、感謝の気持ちをささやかながらここに残したいと思います。

3年生の頃にはまだ設計に進むかもあやふやだったのに、いまこうして振り返ってみると小泉研究室に入って本当によかったなと思います。なにもかもふがいなく、卒業設計も空回りしてしまいましたが、熱心に指導して頂いた小泉先生には心より感謝しております。小泉先生から聞いた一つ一つの言葉が自分の財産になっているように感じます。なにより考えて生きることの大切さを学びました。

1年間研究室にいなかったため、あまり一緒に活動することができませんでしたが、光嶋先生の書いた著書やエッセイにいつも建築に対するモチベーションを上げて頂いていました。建築の楽しさを学んだ気がします。

こうして修士論文・設計をまとめることができたのは、ひとえにお手伝いをしてくれたメンバーのおかげです。なんだかんだ忙しいのに、良い仕事をしてくれた西川、家すらないのに学校に泊まり込みでずっと手伝ってくれた岡さん、もう帰るよって言いながらすごいきれいな模型をつくってくれた達也、焦ったときに手伝いに来て場を和ませてくれた絹子、誰ひとりかけても卒業できなかったんじゃないかと思います。本当にどうもありがとう。来年差し入れしに来ます。

それから同期のメンバーへ。同期だった友人はほとんどみんな卒業したのに、いまだに全員学生という10期のメンバーにはいつも励まされていました。異分野に進んで、いつのまにかたくさん新しい技術を身につけていたさよ、エクセルやらプログラミングやら助けてくれて本当に助かりました。ななちゃんにはいつも癒されていました。ほんとななこの周りは酸素濃度が高いよね。しょーたろうのマイペースっぷりにもいつも和まされていました。なぜかしょうたろうを見ていると安心します。

修士に入ってから一気にメンバーが入れ替わって、最初は戸惑ったけれど、みんなキャラが強く、最終的には最強の同期だったなと思うようになりました。いつも着々と作業するありよし、弱いタバコを吸ってるくせにすぐ喫煙所に行きたがるひろし、黙々と作業しつつ気づいたら寝てる宇野氏、それからいつも一緒にコンペをやり、議論してきたさんぺー。さんぺーとの議論は今後の自分の建築観に強く残っていくような気がします。この修士設計に思い悩んだときの深夜エスキスは本当に有意義でした。自分でも満足できる作品になったのはさんぺーの助けがあったからこそです。修士に入ってからこのメンバーは意匠研究室として最強だったのではないかと思います。

小泉研のかわいい後輩たちへ。1年間いなかった間に、研究室の雰囲気もなんとなく変わっていたけれど、半年間一緒に過ごしながらか、議論を重ねた時間はとても充実したものとなりました。4年生はみんな優秀で卒業設計の話を聞いていてとても楽しかったです。今後の成長を楽しみにしています。M1はあまり研究室にいないので少し心配ですが、みんなそれぞれ優秀なのでこれから力を合わせて研究室を盛り上げてください。

そしてこの論文の核を担って頂いたpanasonicの岩井さん。本当にお忙しいところ何度も何度もご指導頂き、またお時間を取って頂きありがとうございました。岩井さんなくしてこの論文はなかったということだけは確実に言えます。

最後に7年間も学生でいさせてくれた両親に、絶対に直接は言えないのでここにこっそり感謝の気持ちを残したいと思います。本当にどうもありがとう。4月からは社会人として活躍することをここに宣言します。

まだまだ書き足りないほどの感謝で、私の修士設計は埋め尽くされていますが、ひとまずこれにて謝辞とさせていただきます。本当にどうもありがとうございました。

平成25年2月19日

論文梗概

abstract of master thesis

建築空間における間接採光手法に関する考察及び設計提案

11886443 間部 賢太郎
指導教員 小泉 雅生

序. 背景と目的

近年、地球温暖化やオゾン層破壊などの環境問題が注目視されるようになり、環境に配慮した様々な社会的取り組みが展開されるようになった。建築の分野においても環境配慮型建築への意識が高まるようになり、建築計画において採光を取り入れることの省エネルギー効果などが重要視されつつあるが、それらは建築の性能として語られることが多く、外光を遮光するか、採光するかといった二者択一的な計画が大半を占める。また現状、光環境は水平面照度といった物理的な光量のみでしか評価されない場合が多く、実空間における光環境を評価するには不十分である。意匠の観点からも、人間の知覚の多くは視覚に依存することから、光環境を活かすことが空間の質を大きく左右する。余剰床面積が増えている現代において建築空間に床面積に変わる新たな価値が求められ、光という付加価値が建築を評価する指標のひとつとなり得るであろう。

また直接採光は変動が大きく視覚への負担が大きい、グレアによる不快感をもたらすなどと問題点が多い。そこで庇を伸ばして、彫りを深くし、障子などにより間接的に光取りをするという日本特有の間接的な採光方法に着目し、本論文で取り上げることとした。

こうした背景から本論文において、建築空間における間接採光手法を取り上げ、その心理的な光量を含めた評価法を再考することで、新たな建築計画とその設計プロセスを示すことを目的とする。

1. 採光の評価方法

1-1. 光環境デザインの現状 これまでは自然光は基本的に天空光だけを利用することとし、昼光率という指標を用いて光環境を検討してきた。また一般的に建築空間の光環境は視作業性を優先し、水平面照度による物理的な光量のみで評価される。この指標では光環境デザインの際に重要視される(1)視認性の確保、(2)用途に応じた視覚的效果の創出、(3)グレアのような不快要因の排除、のうち(1)のみしか検証できず実用的ではない。例えば図1のように空間が白く塗られた場合と黒く塗られた場合では、同一照度でも知覚する明るさが異なる為、輝度による評価が求められる。

1-2. 明るさ画像を用いた見え方の検討 明るさを評価するには、明るさの対比効果を考慮しなければならない。図2に示した画像において、中央部分の輝度値は同一であるが、周囲との色の対比効果によって異なる輝度として認識される。それを考慮して考案されたものが右側の明るさ画像であり、明るさ感という概念である^[2]。その明るさ感は光源を物体色として認識できる上限輝度、色モード境界輝度から測定することで精度良く評価できる。

1-3. Feu理論 色モード境界輝度法は人間の視感評価に頼らなければならないため、照度設計のように設計条件から計算によって値を求められないことが課題であった。そこで岩井らは住宅居住空間を想定した実験を行い、(1)誘導視野内(左右100度×上下85度)の輝度の平均値、(2)幾何平均による視野内の輝度の平均

論文構成	序 背景と目的	第3章 事例の定量分析
	第1章 採光の評価方法	3-1 建築事例写真分析
	1-1 光環境デザインの現状	3-2 建築事例3D分析
	1-2 明るさ感を用いた見え方の検討	3-3 章結
	1-3 Feu理論	第4章 設計提案
	第2章 採光方法事例分析・体系化	4-1 計画概要
	2-1 事例分析・間接採光手法の抽出	4-2 空間モデルスタディ
	2-2 間接採光手法の分類・体系化	4-3 設計提案
	2-3 章結	結 総括と展望

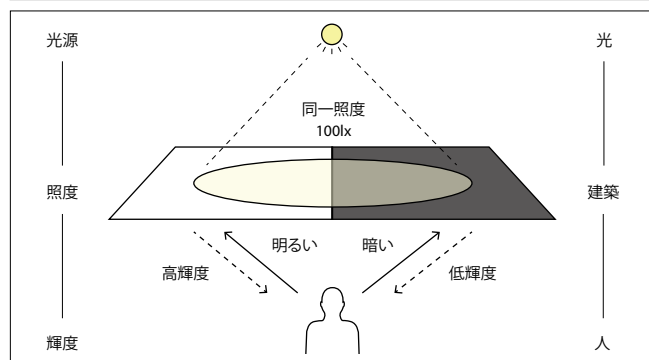


図1. 照度と輝度の違い

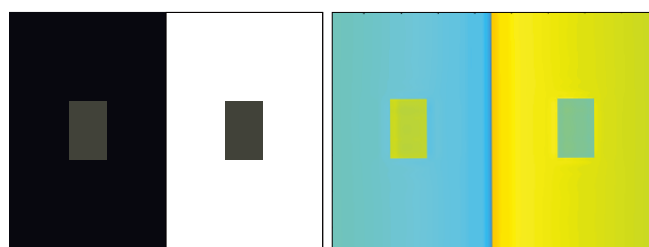


図2. 輝度の対比効果と明るさ画像

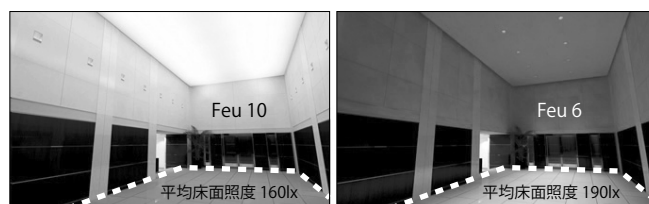


図3. 照度とFeu値の不一致

値、(3)1000cd/m²以上の輝度を除いた平均値、といった3つの計算式から色モード境界輝度 L_c を推定する方法を検討した^[3]。視野内輝度分布 L_v は色モード境界輝度 L_c と高い相関関係を示しており、0.7乗に比例するとされている。そこで以下の計算式によって求められる値を明るさ感評価指標としてFeuと名付けた。

$$Feu = 1.5 \cdot L_g^{0.7}$$

Feu値を用いることで、図3のような水平面照度と明るさ感が一致しない空間の心理的光量を数値化し、比較することができた。本論文において、Feu理論を建築空間における明るさ感を定量化するための指標として以降の分析に用いることとした。

2. 建築と光の事例分析・体系化

2-1 事例分析 近代以降、建築家が設計したものの中で間接採光手法が見られる建築を、実地調査を行ったものを中心に、50事例をピックアップし分析を行った（表1）。建築図面や写真を基に間接採光手法を抽出し、ダイアグラムを作成した。

2-2 分類・体系化 ダイアグラムとして可視化された間接採光手法から、光の拡散方法の違いにより、①開口部内に奥行を設けることによって、開口部内で光を拡散させて和らげる「奥行型」、②光に方向性を持たせて天井面や壁面等の部位を照らすように採光する「照射型」、③開口部に配される複数のガラス面で光の屈折・反射・透過を組み合わせることで採光する「拡散型」、④開口部の素材の透過性や色を変更することで調光する「素材型」、⑤建築部位に光を当ててから反射光を取り入れる「反射型」の5つに分類し図4に示した。またそれぞれの手法から以下のような傾向が見られた。①奥行型は奥行に対し、幅を変化させることで拡散の度合いを変化させることができ、狭めることでスリット状の光が入り、広めることによってより柔らかな光となる。②照射型は太陽光に対して角度を振った建築部位によって受けるものが多く、入射光を分割することで空間に落ちる光はより均一になる。③拡散型は複数のガラス面を配すことによって熱負荷を下げ、透過性の高く、明るい空間を得ることができる。④素材型は光に面的にフィルターをかけるようなものが多く見られ、光に色をつける、透過性の違いによって光の強弱をつける事例が見られた。⑤反射型は事例数は少ないものの、太陽光に対してリフレクターを設けることで反射光を意図的に作り出すもので、光を様々な方向から取り入れることができる。そうした分類や傾向を以降の分析の参考とし、有効性が見られる事例について更なる分析を重ねることとした。

表 1. 各事例データと間接採光手法

No.	建築名称	建築家	国	用途	竣工年	分類
01	ルーブルランス	SANAA	フランス	美術館	2012	素材
02	アアルトのアトリエ	アルヴァ・アアルト	フィンランド	教会	1956	照射
03	アカデミー書店	アルヴァ・アアルト	フィンランド	店舗	1969	拡散
04	ウィープリの図書館	アルヴァ・アアルト	ロシア	図書館	1935	照射
05	ウオクセンニスカの教会	アルヴァ・アアルト	フィンランド	教会	1958	奥行
06	オルボの美術館	アルヴァ・アアルト	デンマーク	美術館	1973	反射
07	セイナツァアロの役場	アルヴァ・アアルト	フィンランド	公共施設	1952	奥行
08	セイナヨキの教会	アルヴァ・アアルト	フィンランド	教会	1960	照射
09	フィンランド国民年金局	アルヴァ・アアルト	フィンランド	公共施設	1956	拡散
10	ヘルシンキ大学図書館	アルヴァ・アアルト	フィンランド	図書館	1958	奥行・照射
11	ユヴァスキュラ教育大学	アルヴァ・アアルト	フィンランド	公共施設	1957	奥行・拡散
12	リオラ教会センター	アルヴァ・アアルト	イタリア	教会	1978	照射
13	ロヴァニエミの図書館	アルヴァ・アアルト	フィンランド	図書館	1968	奥行
14	アヴェイロ大学図書館	アルヴァロ・シザ	ポルトガル	図書館	1995	奥行
15	マルエ・デ・カナヴェーデス教会	アルヴァロ・シザ	ポルトガル	教会	1989	奥行・照射
16	カサ・ミラ	アントニ・ガウディ	スペイン	住宅	1907	照射
17	ロサンゼルス現代美術館	磯崎新	アメリカ	美術館	1986	拡散
18	オタニエミの礼拝堂	カイヤ&ヘッキ	フィンランド	教会	1957	照射
19	リナー美術館	ギボン&ゴヤー	スイス	美術館	1998	照射・反射
20	マルメアートギャラリー	クラス・アンスヘルム	スウェーデン	美術館	1975	照射
21	アジナノエ	小泉雅生	日本	住宅	2005	反射
22	イグナティウス教会	ステイブン・ホール	アメリカ	教会	1997	照射
23	キアズム現代美術館	ステイブン・ホール	フィンランド	美術館	1998	奥行
24	板橋のハウス	西沢大良	日本	住宅	2006	素材
25	宇都宮のハウス	西沢大良	日本	住宅	2008	素材
26	現代美術館	ハンス・ホライン	ドイツ	美術館	1991	拡散
27	聖コロナバ教会ケルン大司教区美術館	ピーター・ズント	オーストリア	美術館	2007	奥行
28	聖ベネデクト教会	ピーター・ズント	スイス	教会	1989	照射
29	デルメ・ヴァルス	ピーター・ズント	スイス	その他	1996	奥行
30	ブレゲンツ美術館	ピーター・ズント	オーストリア	美術館	1997	素材
31	ローマノスルター	ピーター・ズント	スイス	美術館	1986	奥行
32	ハルバ・コンサートホール	ヘニング・ラセン	アイスランド	公共施設	2011	拡散
33	タスキギーの礼拝堂	ポール・ルドルフ	アメリカ	教会	1969	照射
34	ヴァッキラの図書館	ユハ・レイヴィスカ	フィンランド	図書館	1991	照射
35	バッキラの教会	ユハ・レイヴィスカ	フィンランド	教会	2002	照射
36	マンニスト教会	ユハ・レイヴィスカ	フィンランド	教会	1992	照射
37	ミュールマキの教会	ユハ・レイヴィスカ	フィンランド	教会	1984	照射
38	バウスバダ教会	ヨーン・ウツソン	デンマーク	教会	1976	照射
39	フィルミニの教会	ル・コルビュジェ	フランス	教会	2006	奥行
40	ラ・トゥーレットの修道院	ル・コルビュジェ	フランス	教会	1959	奥行
41	ロンシャンの教会	ル・コルビュジェ	フランス	教会	1955	奥行
42	キンペル美術館	ルイス・カーン	アメリカ	美術館	1972	照射
43	ファース・ユニタリアン教会	ルイス・カーン	アメリカ	教会	1969	照射
44	フィリップスエクスターアカデミー図書館	ルイス・カーン	アメリカ	公共施設	1972	照射
45	プリンモア大学ホール	ルイス・カーン	アメリカ	公共施設	1965	照射
46	ジラルティ邸	ルイス・バラガン	メキシコ	住宅	1978	素材
47	トラルパンの礼拝堂	ルイス・バラガン	メキシコ	教会	1960	素材
48	アスロップ・ファナリ現代美術館	レンゾ・ピアノ	ノルウェー	美術館	2012	素材
49	バイエラ財団美術館	レンゾ・ピアノ	スイス	美術館	2000	反射
50	ズニルコレクション美術館	レンゾ・ピアノ	アメリカ	美術館	1986	反射

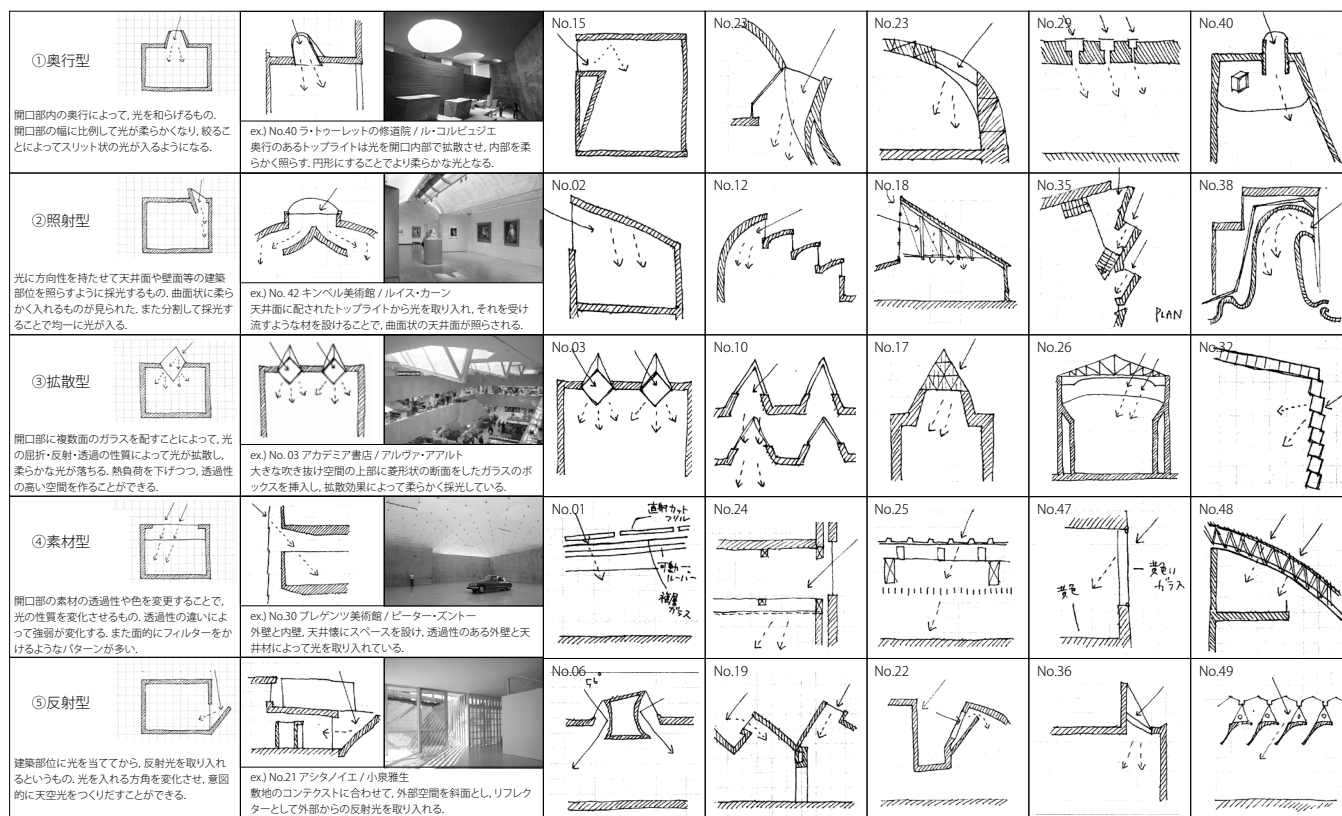


図 4. 事例分類パターン

3. 事例の定量分析

3-1. 建築事例写真分析 間接採光手法によって得られる効果を建築写真から分析を行った。異なる条件の下で撮影された写真を同時に比較するために、実空間上の輝度と、カメラがjpgデータとして現像する際の信号値の対応関係を、図5の装置を用いて検証し^[6]、下記の係数が得られた(図6)。

$y = 2.16 x^3 - 11.07 x^2 + 19.96 x - 11.56 \quad (R^2 = 0.99)$

測定のために用いたカメラは、分析に用いる写真の撮影に使用したものと同様のOLYMPUS製のE-P1とし、実験の際の撮影条件をF4.5、ISO320、ホワイトバランスを曇天モードとした。相関係数0.99以上の条件の回帰曲線を描くことができたため、これを元に表2に示す写真から輝度分布画像を作成し、1章で有効性が示されたFeu値を算出した(図7)。ここで示すFeu値は本来の条件である誘導視野(左右100度×上下85度)を満たしていないため、参考値として分析に用いることとした。

本来明るさはどれくらい明るいという感覚的で定性的な評価しかされ得なかったが、Feu理論を用いて数値化することで明るさ感の違いを一覧することができた。それらの輝度分布画像を分類別に見ると、奥行型の空間はFeu値が低く、照射型の空間は高い傾向にあることがわかる。それはFeu値による評価が、水平面照度による評価と異なって、視野内の壁面や天井面といった広い範囲を照らしている場合に明るさ感が強くなるということが言える。同様に面的に空間を照らす素材型も比較的高い明るさ感を得られる場合が多いということがわかった。加えて白く塗られた建築空間の方がFeu値が高いという結果が得られた。それにより空間の明るさ感は輝度の影響によるところが大きいということが見て取れる。また空間の体積に対する開口部の割合は大きく影響し、天井面が高い空間においては壁面から、低い空間においては天井面からの採光が有効に働くということが言える。

一方、本分析では時間帯別の評価をすることが難しい、撮影範囲や視野が一定でないなどの理由から、各開口部の性質を厳密に比較するには至らなかった。次項よりこれらの考察を元に、更なる分析を行った。

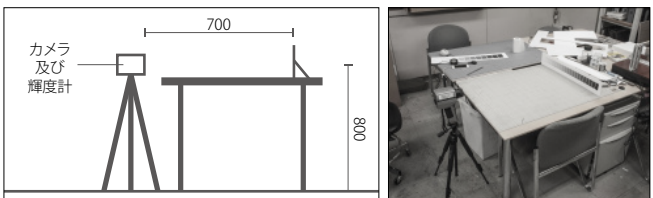


図5. 実験装置

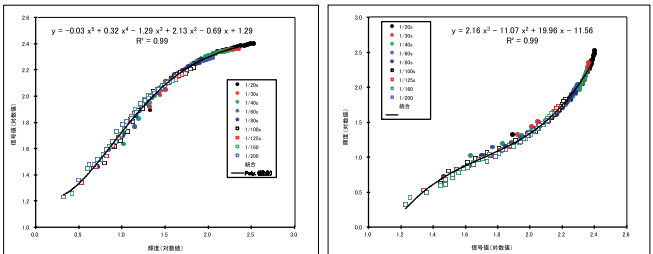


図6. 輝度と信号値の関係

表2. 写真分析データ

事例No.	建築名称	F値	SS	ISO	Feu値
01	ループランス	4	80	200	32.3
02	アアルトのアトリエ	4.5	100	200	47.4
03	ロンシャンの教会	2.8	60	250	2.3
05	ヴォクセンニスカの教会	2	80	250	10.3
11	ユヴァスキュラ教育大学	2.8	100	200	11.4
19	リナー美術館	5.6	100	200	63.0
20	マルメアートギャラリー	2.8	200	100	58.1
20	マルメアートギャラリー	2.8	200	100	94.4
23	キアズマ現代美術館	2	100	200	16.1
28	聖ベネディクト教会	4	125	200	26.1
30	ブレゲンツ美術館	3.2	160	200	47.8
30	ブレゲンツ美術館	2.8	125	200	24.0
31	ローマンシェルター	2.2	80	250	4.9
32	ハルバ・コンサートホール	8	80	200	42.5
34	ヴァッキラの図書館	4.5	100	200	41.8
35	パッキラの教会	4.5	100	250	43.8
35	パッキラの教会	3.2	100	250	28.0
36	マンニスト教会	6.3	100	200	62.5
36	マンニスト教会	8	125	200	67.8
37	ミュールマキの教会	3.5	125	125	64.5
38	バウスベア教会	2.8	125	160	21.3
39	フィルミニの教会	2.8	200	100	58.1
40	ラ・トゥーレットの修道院	2.5	60	250	4.2
48	アストルupp・ファーンリ現代美術館	3.5	100	160	53.0

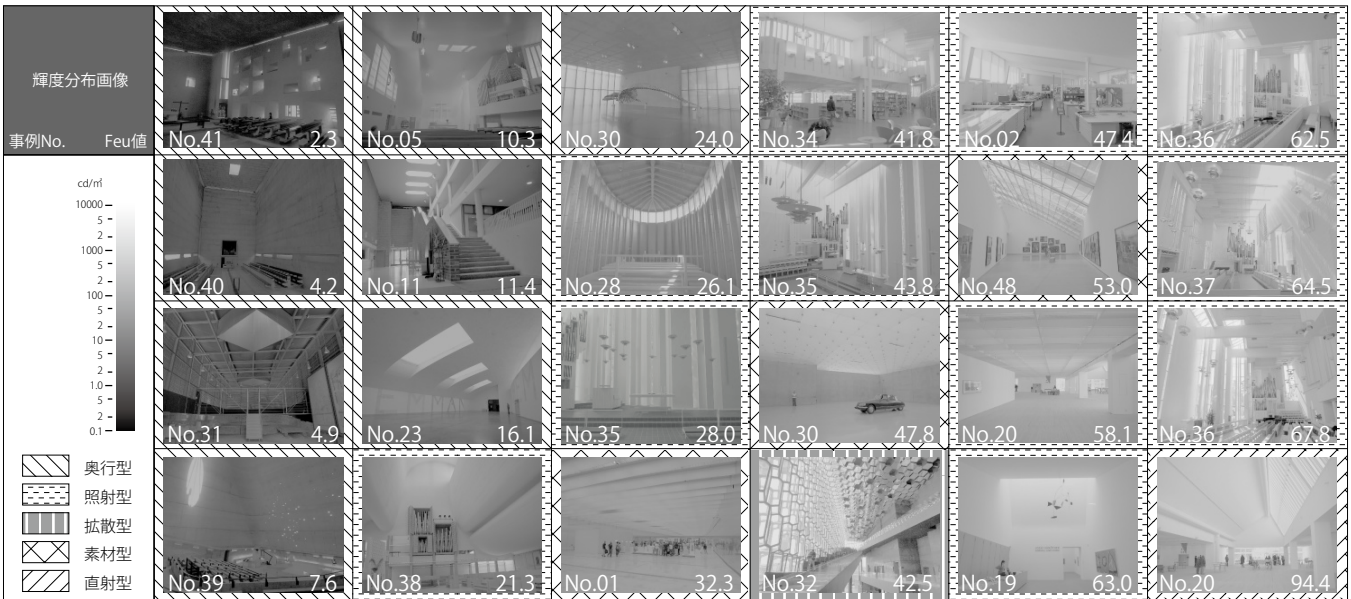


図7. 建築写真分析

3-2 建築事例3D分析 本項では写真分析で得られた考察を詳細に検証する為、3Dモデリングを用いた分析を行った。シミュレーションモデルとして一般的なサイズの居室、約8畳の居室（W3200mm×D4000mm×H2400mm）を仮定した。またこうした居室には1800mm×1800mm程度の開口部が設けられることが多いことから、その開口部面積3.24㎡を固定し、異なるパターン・形状の開口部によるシミュレーションを行う。信頼性が高いとされるradiance^[1]を用いて図8の条件でレンダリングを行った。

また前章と同様にFeu値による分析を試みた。以下の計算値を用いてレンダリング画像から各ピクセルに対応する信号値RGBを輝度値へと変換し、求められた輝度分布からFeu値の算出を行った。

$$\text{luminance} = (0.298912 \times R + 0.586611 \times G + 0.114478 \times B)$$

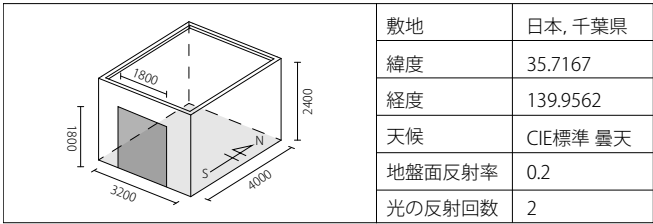


図 8. レンダリング基本データ

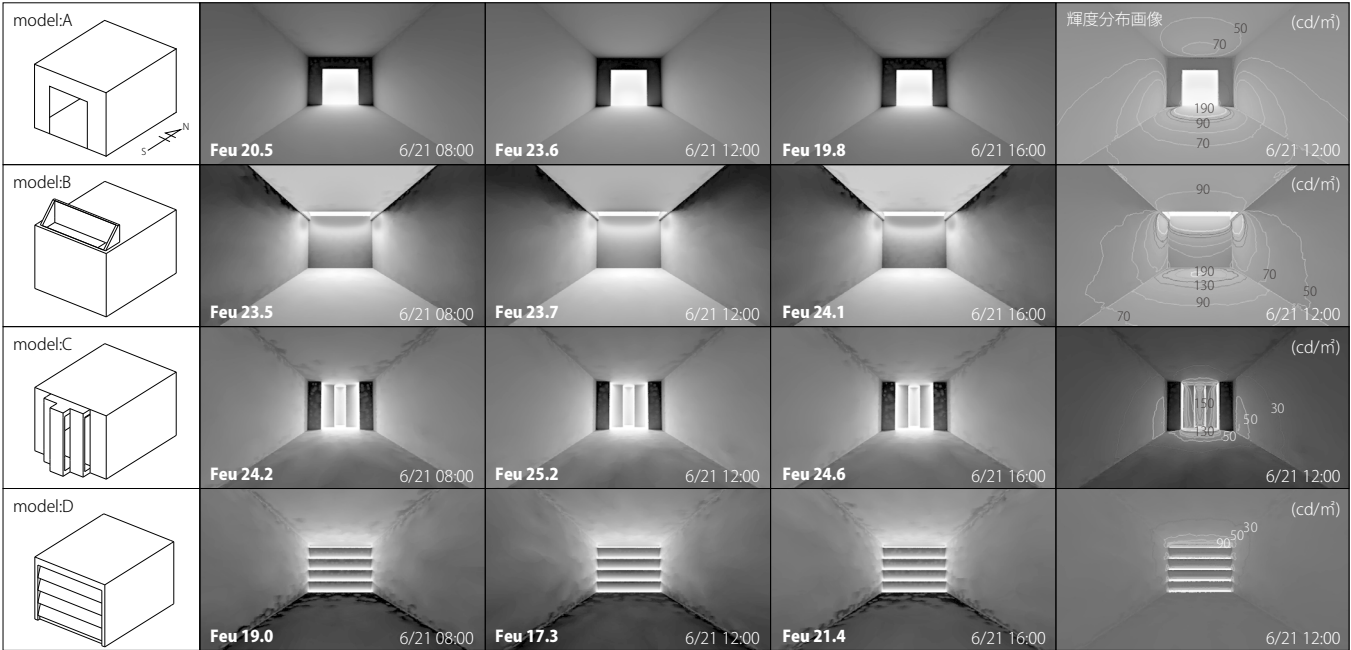


図 9. 時間帯別シミュレーションモデル

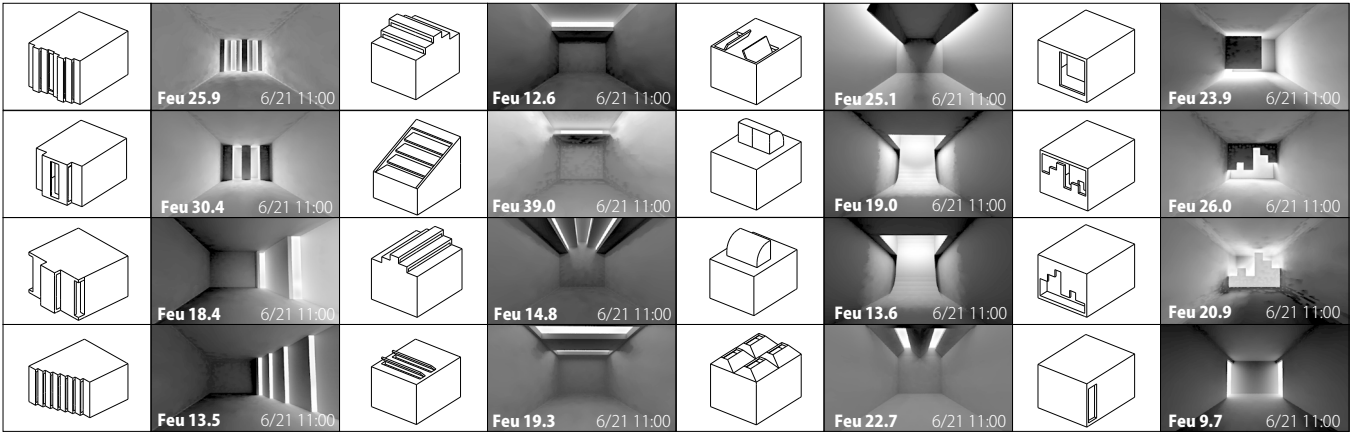


図 10. パターン別シミュレーションモデル

時間帯による光の状態の違いを検証したモデルの一例を図9に示した。直接光が入るAのモデルに対し、他の間接採光手法では1日の中でのFeu値の変動が小さいことがわかる。輝度分布図を見てみるとAのモデルでは輝度値が非常に高いことがわかるが、人間の視覚は空間に順応するため、明るさのコントラストは小さい方が明るく感じやすい。それにより他の間接採光手法よりもFeuの値が小さくなることがわかる。また各採光手法により明るくなる面が異なる為、それぞれの採光手法に対して異なった用途が考えられた。

図10はそれぞれの間接採光手法パターンを変化させながら検証したものである。例えばユハ・レイヴィスカの建築によく見られた壁面を雁行させることで隙間から光を取り入れ、壁面を照らすパターンを様々な方角に配置して検証した。分割数を変化させたり、幅を変化させることで違いを考察した。空間を天井面から均一に照らすモデルは輝度分布も均一になるが、壁面を照らすモデルでは輝度分布に差が生まれるため、視界のどの位置に開口部が入るかによって明るさ感も異なる。そうした行為の向きを考慮した開口デザインが求められる。こうした考察を基にこれらのパターンを設計のツールとして利用することとした。

4. 設計提案

4-1. 計画概要 これまでの分析の有効性を示す試みとして、第3章によって効果が検証された採光手法を応用し、光をテーマにした戸建住宅の設計を行った。敷地は図11に示す首都圏近郊の一般的な住宅地とし、夫婦と子どものための住宅とする。3Dシミュレーションを用いて、3人の生活パターン等を基に光の状態を設計する。

4-2. 空間モデルスタディ 1章で述べたように建築空間の光環境評価は行為に対する視作業性を重視するために水平面照度にて行われる(タスク)。また空間の光環境指標として水平面照度だけでなく、心理的な光量を考慮したFeu理論の有効性を示した(アンビエント)。それらは推奨値が設けられているが、別々のものとして扱われている。本項において、そのタスク&アンビエントの関係性により、光の状態(形容詞)と行為(動詞)の関係性の目安を定義した(図12)。更にそれらの関係性を基に、住宅ボリュームに対する間接採光モデルを作成し、シミュレーションを重ねながらその空間に対するアクティビティをデザインした(図13)。

4-3. 設計提案 4-2で作成した空間モデルから住宅を設計した。一般的な住宅計画モデルであるnLDK型は室名(名詞)が空間を規定し、その室名に合わせた行為が展開される。光の状態(形容詞)によって行為が当てはめられた本住宅は、住民が光の状態に対して場所を選びながら生活する、プリミティブな居住スタイルをつくりだした(図14)。また間接採光を用いることで、第1章で示した光環境デザインの三つの側面における(3)グレアの軽減をすることができ、シミュレーションと物理的光量、心理的光量の両側面からの評価によって(2)用途に応じた視覚的效果の創出を行い、本論文の有効性を示した。

結 総括と展望

環境配慮型住宅の設計プロセスでは一般的な平面構成に対して環境装置を付加することが多いのに対し、空間の明るさ感を定量的に評価し、採光計画から建築設計を始めるというプロセスを用いることによって、建築と一体化した採光手法と、豊かな光環境を実現することができた。以上より、間接採光手法を用いることによる空間への影響を定量的に評価し、採用することの可能性を示した。

【主要参考文献】

[1] 人と自然光, 中村芳樹, 東京工業大学 [2] 昼光と人工光を併用した窓面を有する室内の明るさ感の定量的予測法の検討, 原直也他, 電気関係学会 2009 [3] 空間の明るさ感評価指標「Feu」の開発と照明設計への適用, 岩井彌, 照明学会誌 2009 年 12 月号 [4] 視覚特性に基づく照明応用の考え方とその実践, 篠田博之 [5] デジタルカメラを利用した輝度分布測定システムに関する研究, 林洋一 [6] デジタルデータの分布分析 - デジタル画像からの輝度分布分析, 鎌田信也

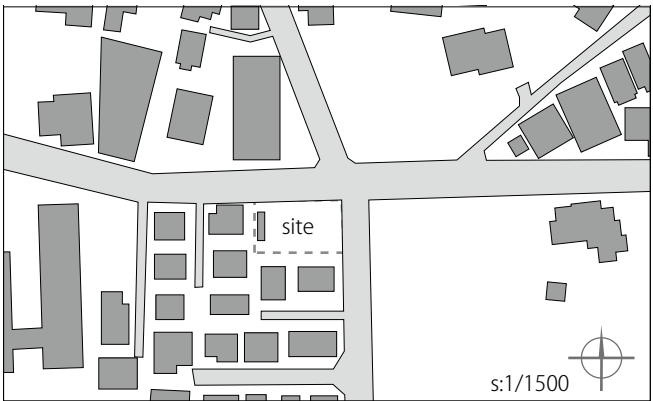


図 11. 敷地図

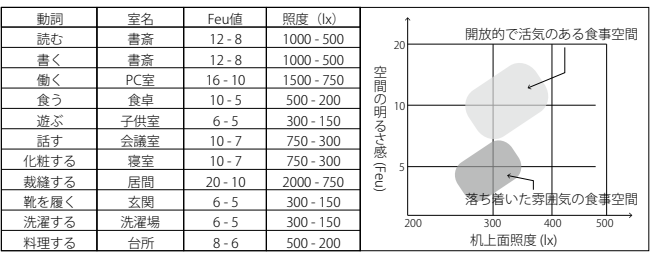


図 12. アクティビティに対する Feu 値と照度の目安

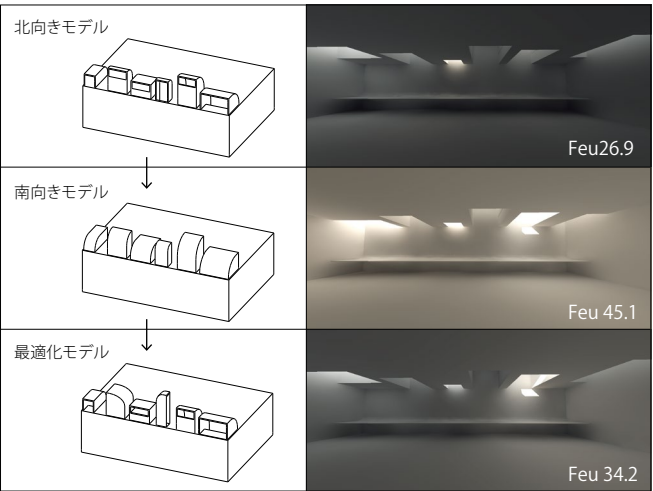


図 13. シミュレーションモデルによるアクティビティの決定

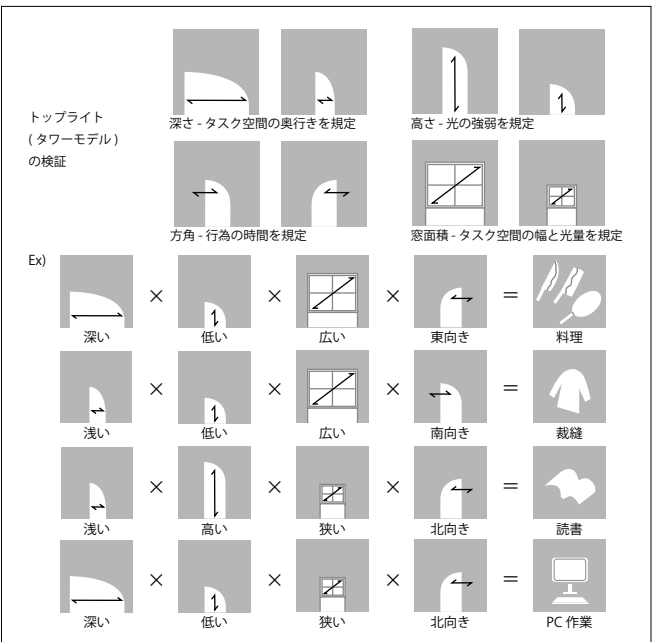


図 14. 間接採光によるアクティビティデザイン

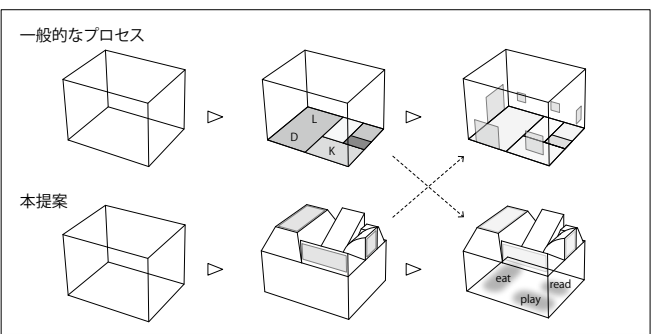
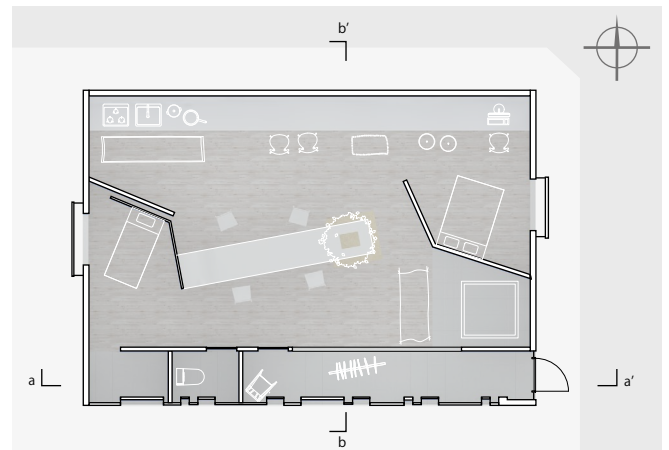
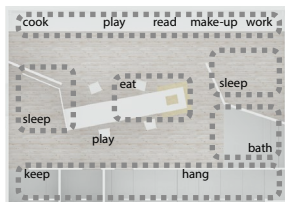


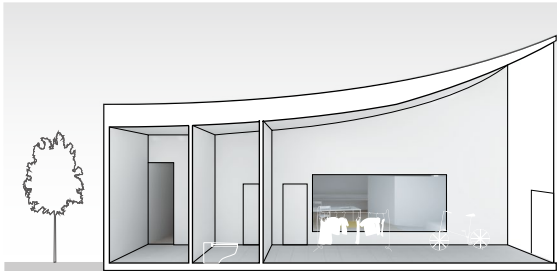
図 15. 設計プロセスの違い



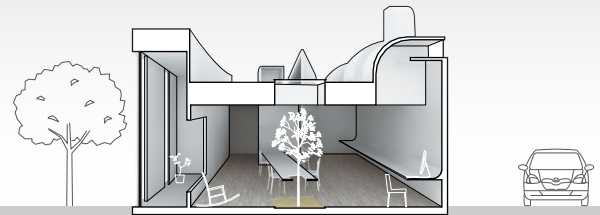
- plan s=1/200

- lighting note / activity note

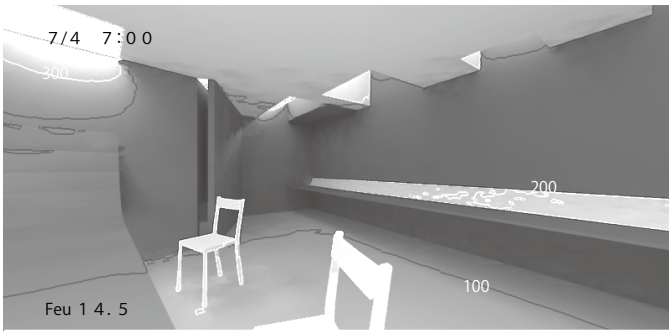
光の状態を設計することで、その状態に合わせて、住民が自由にアクティビティを展開する。それは室名に規定された行為が行われるという現代の生活を乗り越えるプリミティブな生活スタイルである。採光デザインを行いながら設計された本住宅は、ヒカリドマ、北側のヒカリデスク、ヒカリテーブルという3つのメインストラクチャによって空間が構成される。光を貯めるヒカリドマは干渉領域に、デスク、テーブルでは時間によって異なる光が降り注ぎ、好きな場所を選んで好きなことが行われる。



- a-a' section s=1/200



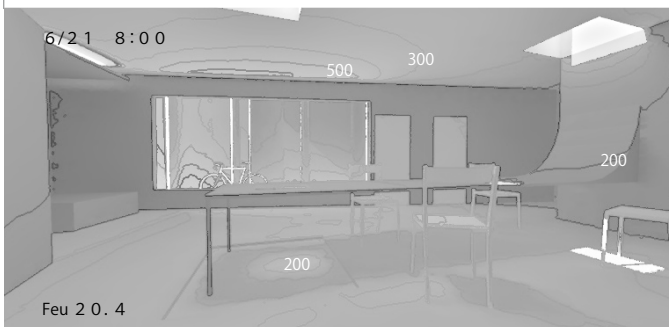
- b-b' section s=1/200



Feu 1 4. 5



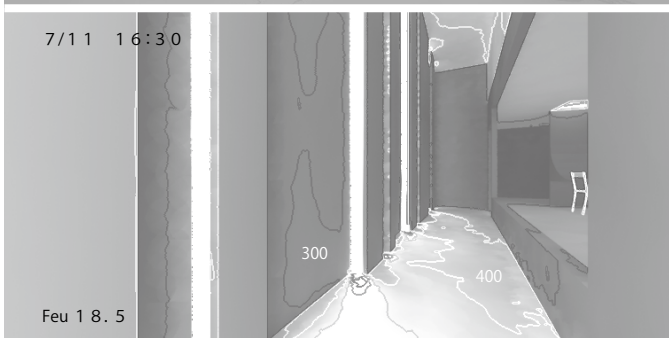
料理をする / ヒカリデスク



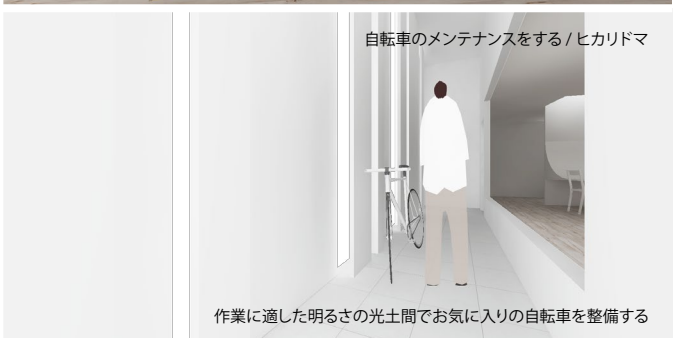
Feu 2 0. 4



本を読む / ヒカリテーブル



Feu 1 8. 5



自転車のメンテナンスをする / ヒカリドマ

作業に適した明るさの光土間でお気に入りの自転車を整備する

図 16. 設計提案

プレゼンテーションシート
presentation sheets