

環境・設備分野と意匠・計画分野の融合による 建築デザイン教育プログラムの提案

Proposal of architectural design educational method
together environment / equipment field and design / planning field

脇坂 圭一*、鍋島 佑基*

Keiichi WAKISAKA and Yuki NABESHIMA

In this paper, we examined and proposed a building environment design method based on simulation, actual measurement, psychological experiments, and commissioning as performance verification, in collaboration with environment / equipment field and design / planning field.

1. 背景と目的

SDGs に配慮した教育研究が求められる中、建築学の領域における取り組みが果たす役割は大きい。とりわけ、全産業の中でも突出して大きいエネルギー消費量の削減に関して、建築学領域は大きな責務を負っている。

建築設計の領域においては、従来、とかくデザイン面に目が向きがちで、建築設備・環境分野と建築意匠・計画の教育・研究は専門分化し、融合が図られてこなかった。結果的に、実際の設計においては、意匠が先行し、プロジェクトの後半で設備・環境面での対応が求められることになり、エネルギー消費量の削減に対して非効率な側面が強かった。

しかし、3.11 以降の地球環境問題への意識の変化から、エネルギー消費量を最小化する手法を積極的に導入した建築作品が発表されると共に、エネルギー消費量を最小化する意匠、つまり融合的な建築デザイン手法への関心が高まっている。

近年、コンピュータ技術の進化、機器の廉価といった変化により、大企業の研究所レベルでのみ可能だったシミュレーションが個人レベルで可能な状況になってきている。同時に、種々のソフトウェアが開発されており、そうしたソフトの教育への導入が待たれる状況である。しかし、これらのソフトは、光、気流、熱と個別の環境要素を扱っているため、それらを統合したトータルな環境デザイン手法が待たれている。

本稿は、2019-2020 年度にかけて、意匠計画系教員と環境設備系教員の協働により実施した「課題解決型教育プロジェクト：シミュレーション・実測・心理実験を通したコミ

ッションング（性能検証）による建築環境デザイン教育の開発」について報告するものである。同プロジェクトでは、学部教育プログラムの中で、シミュレーション・実測・実験を通して、意匠と環境を統合した建築デザイン手法を修得させることを目的とするものである。

2. 構成と方法

本稿の構成を示す（図 1）。具体的には、1）光環境／気流環境ソフトを用いたシミュレーション、2）光環境／気流環境／熱環境要素の IoT 機器を用いた実測、3）一次エネルギー消費量の実測と OPR（Owner's Project Requirement、企画・設計要件書）の比較検証から見た環境改善、4）内部・外部空間の居心地に関する心理実験、5）シミュレーション・実測・心理実験を通したコミッションング（性能検証）による建築環境デザイン教育の開発、以上の各章について検証を行いながら実施した。これらの各検討を「建築セミナー（1 年生）」「設計演習（1・3 年生）」「建築設備計画 3」「建築環境実践研究 2」に教育プログラムとして組み込みながら、「ゼミ」「卒業研究」「卒業設計」において研究テーマとして盛り込んでいった。

なお、本稿では具体的な対象施設として本学建築学科棟

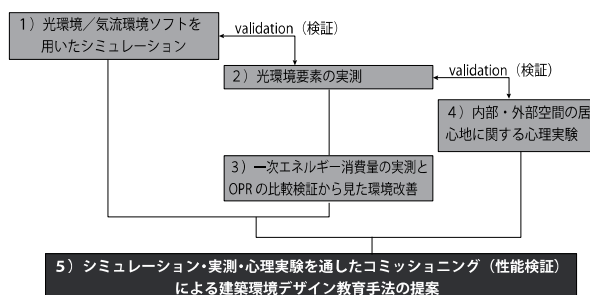


図 1. プロジェクトの構成

2021 年 6 月 1 日受理

* 理工学部 建築学科

えんつりーを選定した。実測が容易であることの他、性能検証を行う上で建築学生が日常的に過ごす空間を対象とすることで具体的な改善手法を提案しやすいことを期待した。

3. 気流環境／光環境ソフトを用いたシミュレーション

3.1 気流解析ソフトを用いた気流シミュレーション

1) 風配図の確認

シミュレーションにあたって、えんつりーの立地環境を把握する必要がある。関東から東海までの気象台における風配図から、えんつりーの近傍の浜松に着目すると、春期・冬期は西北西から、夏期・秋期は東からの卓越風が吹くものに対して、静岡県内各都市の風配図は大きく異なると共に、名古屋、横浜では夏期はほぼ南から、冬期はほぼ北から吹くことを把握した(図2)。名古屋と浜松を抽出して、各月の風配図を用いて、卓越風のみでは無く、卓越風と異なる方向から吹く月も少なくないこと、その具体的な風向について、月毎の変化を確認した(図3)。

2) 卓越風による外部気流シミュレーション

まず周辺環境を含めた気流シミュレーションを行った(図4)。春分は西北西から、夏至は東から、秋分も東からの卓越風が吹く。よって、春期は西面の開口部と反対側の開口部、夏期、秋期は東面の開口部と反対側の開口部が入力、出力部として重要である事がわかる。

春分は西北西からの卓越風が吹くことにより、西面からの流入が期待できることがわかる。南側に立地する教育棟の影響は少ないと思われるが、南面からの流入もある程度は期待できると思われる。

夏至および秋分は東からの卓越風が北東部のL字型入り隅に吹くことから、2~4階の出入口の扉の開閉が流入量に強く影響を与えることがわかる。また、真北に対して建物が振れているため、北面の開口部からの流入が期待できることがわかる。

3) 内部気流シミュレーション

内部の気流について、1階、4階の各季節におけるシミュレーションを示す(図5)。居室であるデザインスタジオに着目すると、全ての季節において、1階では運用上、閉めている西側の扉を閉めた場合、ほとんど流入が期待できないが、開けた場合、春分に南側のデザインスタジオ1で1.4m/sとなった他、無風か0.5m/s以下であった。

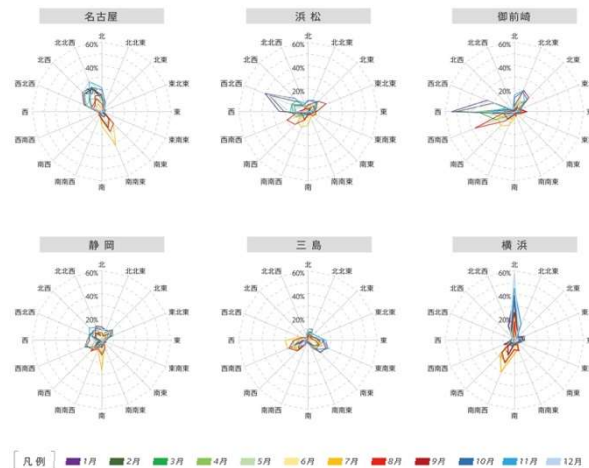


図2. 都市別の風配図

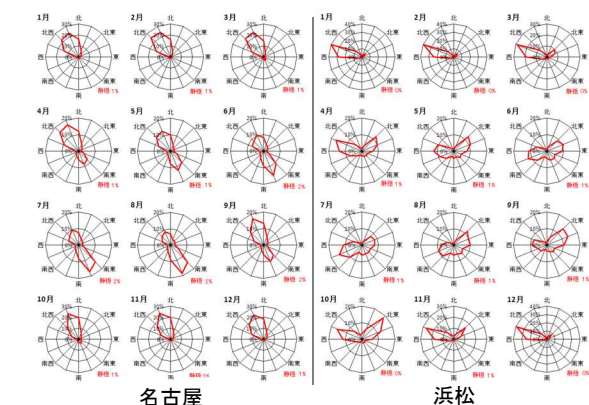


図3. 月別の風配図

また、春分には、西側出入口から流入した気流は南側エントランス出入口から流出するのに対して、夏至、秋分には東面開口部から流入した気流が西側出入口から流出する状況が見られた。

一方、4階では、春分に西面の開口部から流入し、北面、南面の開口部から流出する結果となった。しかし、南東の意匠計画系エリアは無風に近い値であった。夏至および秋分では、北側出入口から流入した気流が意匠計画系エリアの南側開口部から流出する現象が見られた。同時に、東面出入口から流入した気流が西面開口部から流出する現象が見られた。これらの流れから外れた南西の構造系エリア、北西の環境系エリアでは、0.3m/s以下と小さな値であった。

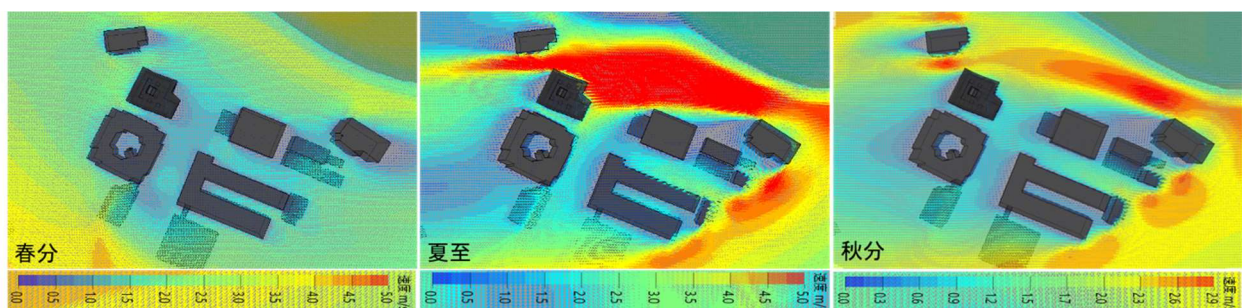


図4. 季節毎の外部気流シミュレーション

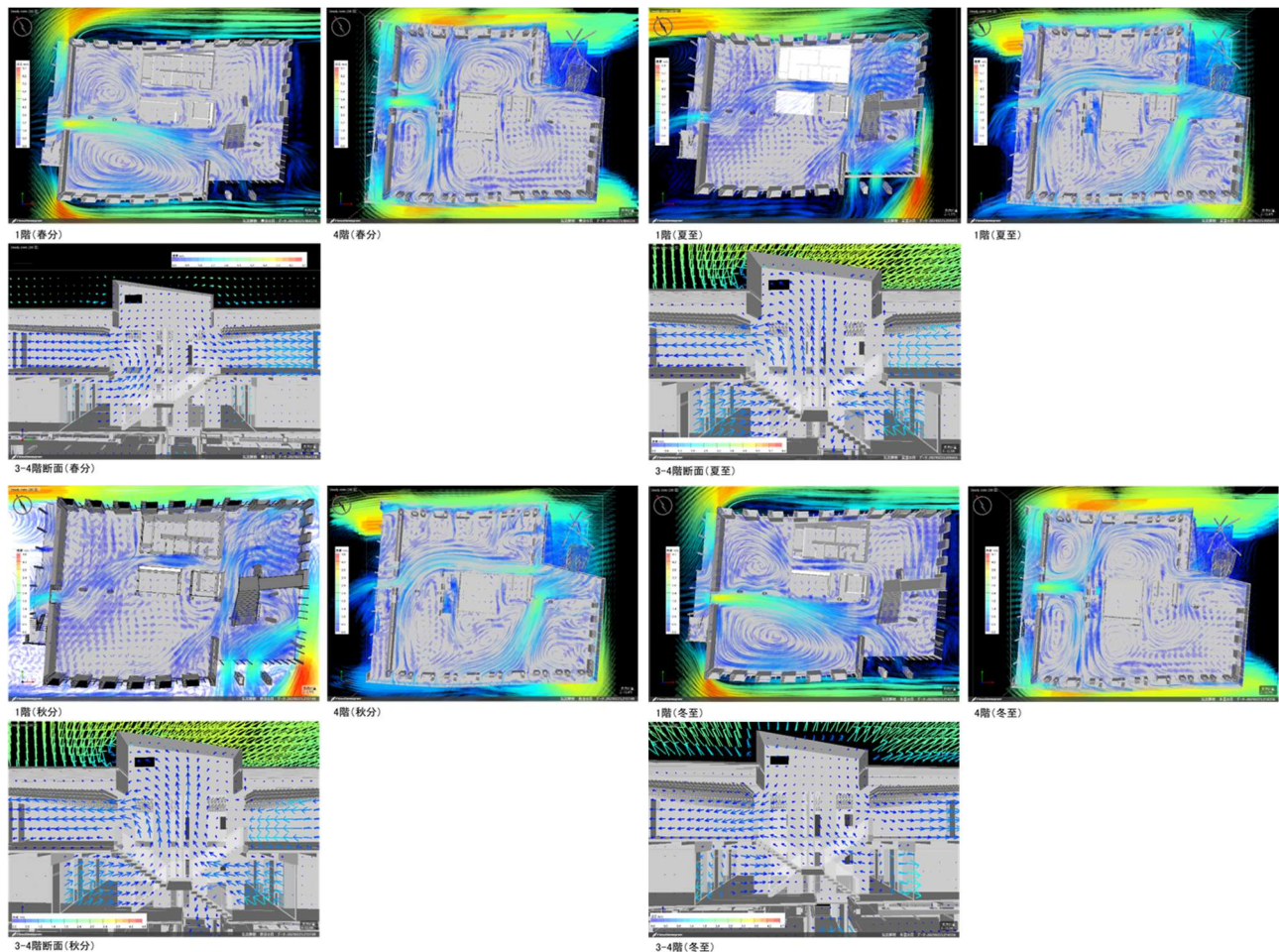


図 5. 季節毎、階別内部気流シミュレーション

3. 2 光環境ソフトを用いた照度シミュレーション

1) サンプス

照度シミュレーションにあたって、季節によって、時間によって異なる太陽の位置、動きを一年間にわたって把握

し、日射を遮るべき時期、日射を取り入れるべき時期を検討するため、サンプスを作成した（図 6）。

2) 照度シミュレーションの条件設定

解析ソフトにはClimate Studioを用いた。同ソフトは、

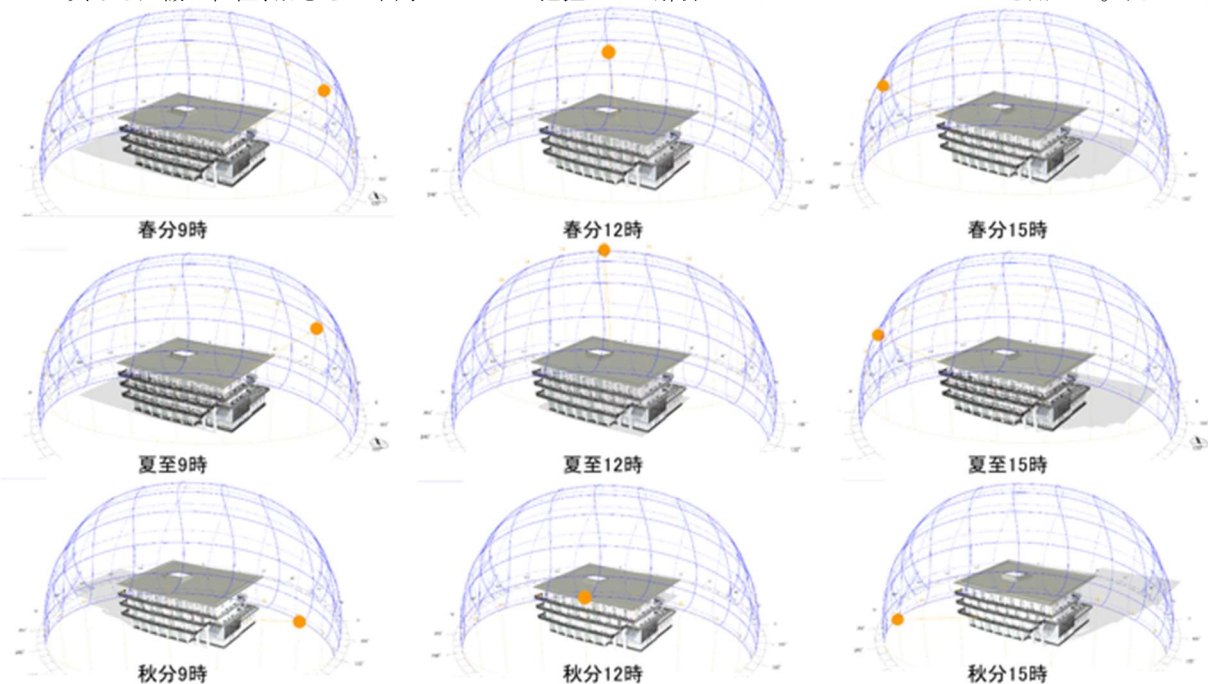
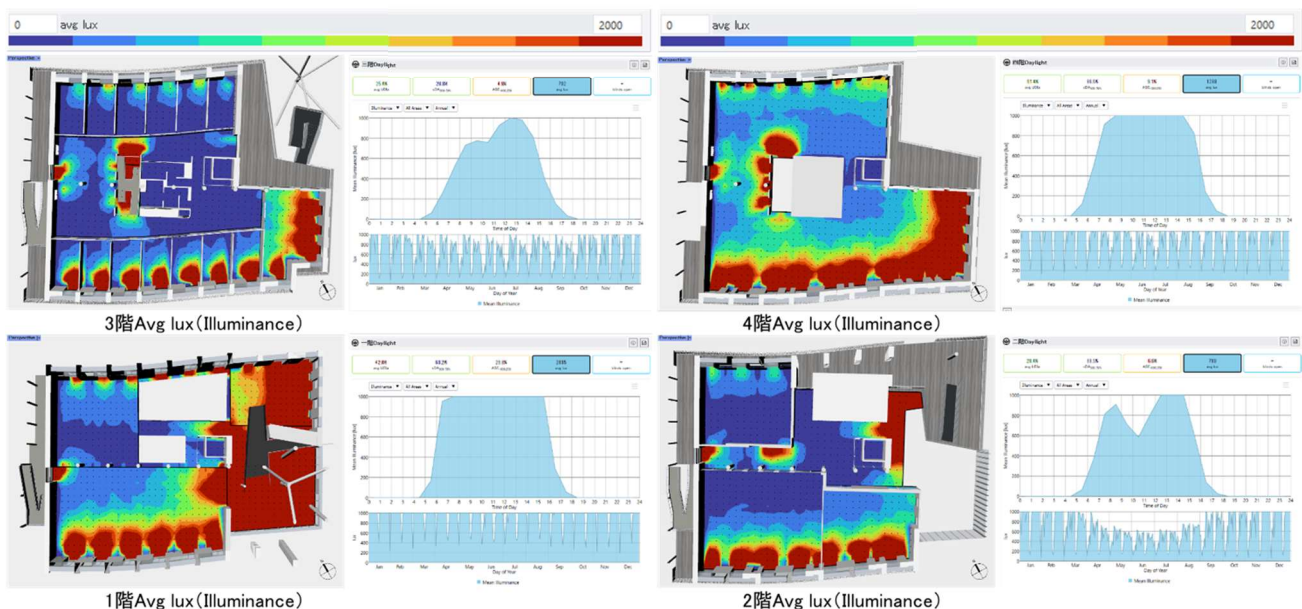
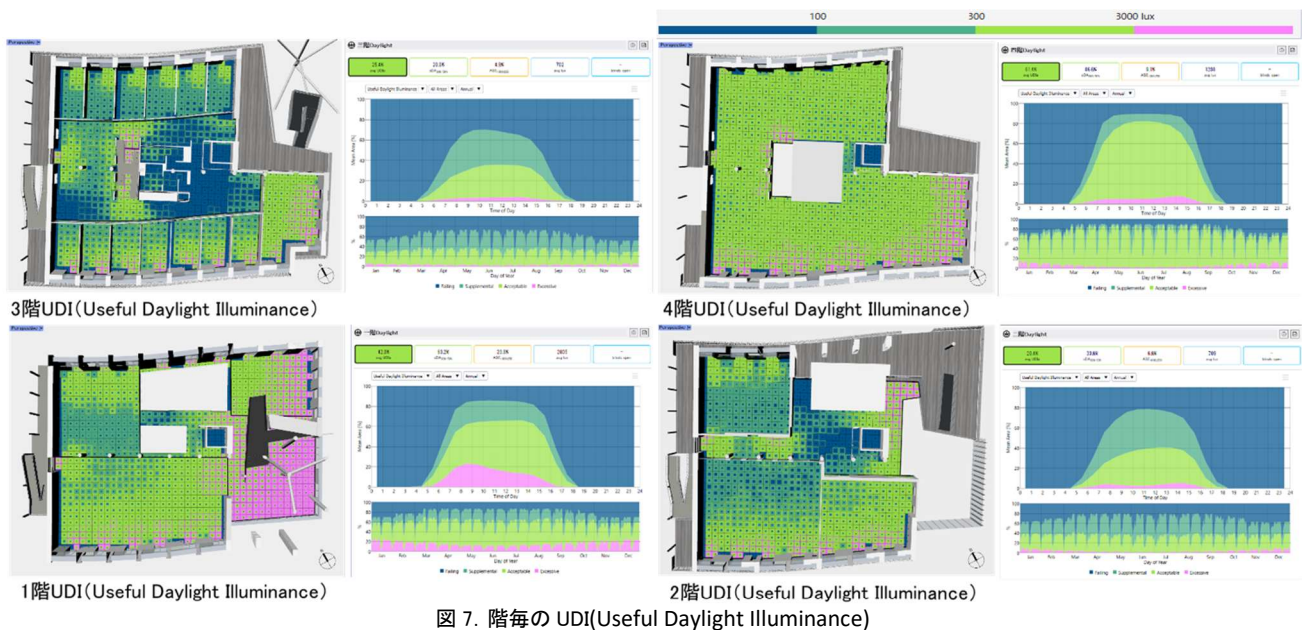


図 6. 季節毎、時間毎のサンプス



米国 Solemma 社によって DIVA の後継ソフトとして開発され、モデリングソフトのライノセロスのプラグインソフトとして用いることになる。解析にあたって、<http://climate.onebuilding.org> サイトよりダウンロードした浜松の EPW ファイルを読み込んだ。解析面は FL+700 とした。

照度シミュレーションは、春分、夏至、秋分、冬至において、9 時、12 時、15 時の時間毎、各階毎に行った。解析結果は、UDI (Useful Daylight Illuminance)、sDA (Daylight Autonomy)、Avg lux (Illuminance) として書きだしたが、本稿では UDI (Useful Daylight Illuminance) について (図 7)、Avg lux (Illuminance) について (図 8)、結果を示す。

3) UDI (Useful Daylight Illuminance)

UDI とは、Useful Daylight Illuminance の略号で、解

析面が受ける一年間の照度を照度毎に色分けして表示したシミュレーションである。解析においては、0-100 lux (濃青)、100-300 lux (緑青)、300-3000 lux (黄緑)、3000 lux 以上 (桃色) で区分した。100-3000lux を有用な昼光照度として、その割合を見ると、1 階は 42%、2 階は 28.4%、3 階は 25.4%、4 階は 61.4% となった。

1 階では、エントランスホールの桃色が顕著で、遮光の検討を行う必要がある。デザインスタジオ 2 の南側は製図を行うには照度が不足している。

2 階では、講義室 (北側) の南側半分が 300lux 以下となり、昼光のみでは不足している。

3 階では、キッチン廻りが 100lux 以下となっている一方、ラウンジ廻り、階段室廻りはフトコロの深い位置にあっても十分な昼光が得られ、トップライトの効果が認められた。

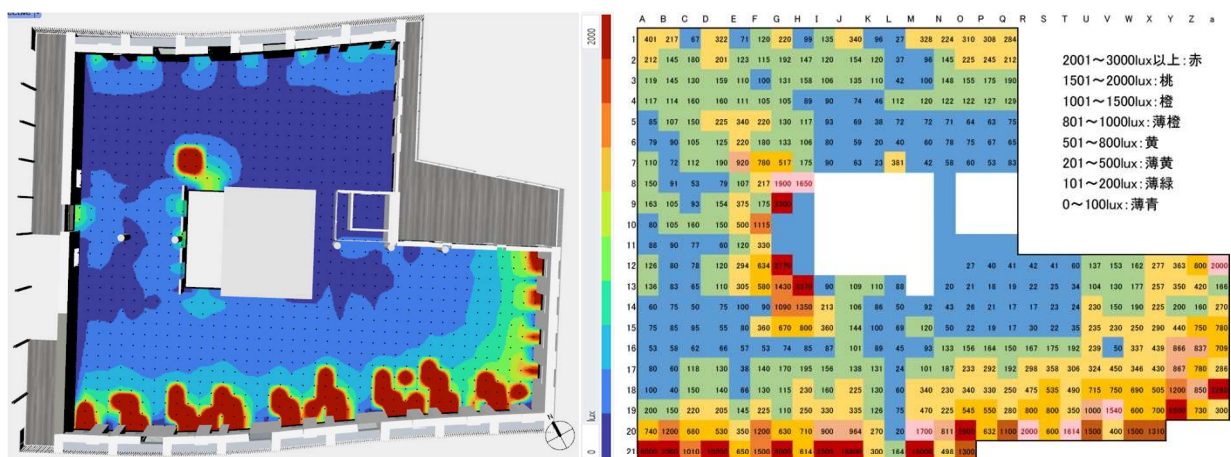


図 9. 照度シミュレーション(左図)と照度実測(11月18日、右図)の比較

4階では、ほとんどが 300lux 以上となり、明るい空間が広がっているが東側、南側に 3000lux 以上のエリアがあり、遮光の検討が必要となる。

4) Avg lux (Illuminance)

Avg lux は、解析面が年間に受ける照度を平均値で算出し、照度毎に色で表現したものである。解析においては、0 lux から 2000 lux までを 10 段階、10 色で区分した。

1階では、デザインスタジオ 1 (南側) の南側ペリメーターゾーンが 2000lux 超となり、遮光の検討が必要である。同様に、エントランスホール、講評室 (北東側) の東半分が 2000lux 超となり、遮光の検討が必要である。また、デザインスタジオ 2 (北側) では、ペリメーターゾーンと廊下付近の照度の差が大きいことがわかる。

2階では、CAD 室 (南西側) のペリメーターゾーンと廊下側の照度の差が大きく、一方で、講義室 (北側) の南側半分以上が 200lux 以下となった。

3階では、南側の教員室のペリメーターゾーンと廊下側の照度の差が大きく、北側の教員室と大きく異なっていた。

4階では、意匠計画系エリア (南東側)、構造系エリア (南西側) のペリメーターゾーンの照度が高く、遮光の検討が必要となる。

平均照度で見ると、1階が 2835lux、2階が 789lux、3階が 702lux、4階が 1238lux であり、1階、4階に改善の必要があるエリアが多く含まれることが数値としても表れている。

4. 光環境要素の実測

えんつりーの 4 階において、11 月 18 日の 12:00 前後に照度の実測を行い、プロット図を作成した (図 9、右図)。その上で、Climate Studio で作成したシミュレーション図との比較を行った。南側ペリメーターゾーンの開口部付近、および東側ペリメーターゾーンの開口部付近で見られる高照度の位置はシミュレーション、実測で比較的近い位置となった。北西側の環境系エリアは、濃青色となっているが、シミュレーションで 0~200lux に対して、実測では 100lux 台が多くを占

めながら、部分的に 200lux を超える値を示した。

また、実測ではトップライト近傍で 1000lux 前後の値が複数、測定できたが、シミュレーションでは低めの値となった。

平均値で見ると、シミュレーションで 502 lux、実測で 477.85 lux となり、比較的近い数値となった。

5. 一次エネルギー消費量の実測と OPR の比較検証から見た環境改善

5. 1 電力使用動向

2017 年度から、えんつりーの運用が開始されたが、2020 年度で運用 4 年目を迎えることから、本建築物の本格的な運用が始まった。4 学年が揃ったことで運用となる。建築物のエネルギー消費量については、省エネ+創エネによるゼロエナジー化 (ZEB) が進んでおり、本学科棟においても、設計段階において一次エネルギー消費の削減を前提とした設計がなされている。基準値では一次エネルギー消費量は $1097.15 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{年}$ であるが、設計段階では $742.66 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{年}$ と 32.3% の省エネ設計がなされており、ZEB Oriented の格付けを受けている。

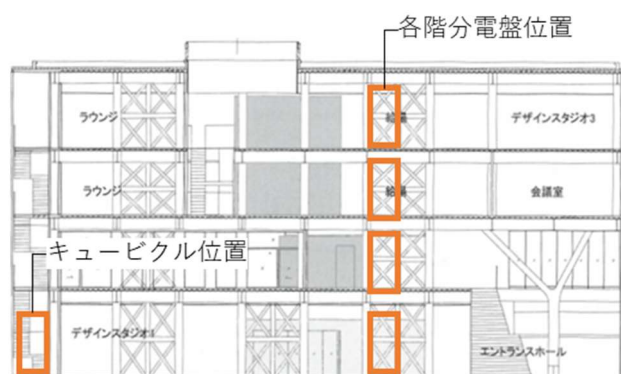


図 10. 電力測定位置と項目

表 1. 測定項目

測定箇所	電力計	測定項目	測定間隔
分電盤	多回路エネルギーモニタ クランプ型	各階照明電力 FAN・全熱交換器電力 コンセント・一般電力 PAC 屋内機 雑電灯	1 時間毎
キュービクル		各階 PAC 室外機(動力) EV動力	

5. 2 建築学科棟における電力消費量計測

えんつりーは建築学科所属の学生が使用する建物であり、1Fは製図室、講評室、2Fは主に講義、3Fは教員の個室、4Fは各研究室の学生が使用している。延べ床面積約 3,411 m² (1 階 827 m², 2 階 858 m², 3 階 853 m², 4 階 873 m²) である。

測定は、各階分電盤(4 点)及びキュービクル(3 点)に設置された電力ロガーを用いて行った。データ収録は SD カードで行った。図に測定位置を示す(図 10)。また、表に測定項目を示す(表 1)。分電盤は、照明、コンセント、換気、空調、雑電灯の 5 項目、キュービクルでは、1、2 階及び 3、4 階の電灯、空調室外機、EV の 3 項目が計測される。計測時の測定間隔は 1 時間ごとである。実測は 2018 年 1 月～2020 年 12 月に行った。2018 年 1 月～5 月、2019 年 6 月～9 月、2020 年 7 月はデータ欠損が確認されている。1 次エネルギー消費量 E(MJ/m²・年)は消費電力 W から Eq. (1) によって算出する。

$$E = \sum W \times 9.96 / 3411(\text{m}^2) \cdot \dots (1)$$

5. 3 電力消費量計測結果の分析

各年の月積算 1 次エネルギー消費量を示す(図 11)。図中には、年間の合計値を示す。ただし、2018 年と 2019 年はデータ欠損のため、12 ヶ月換算値を示す。各年の年間 1 次エネルギー使用量は 362~430 MJ/m²・年の範囲であり、大きな差はない。完成年度である 2020 年はエネルギー使用量の増加が予測されたが、明らかな使用増は見られなかった。また、各年の中間期のエネルギー使用量は 167~426 MJ/m²・年であったが、暖房期(11~2 月)は 382~741 MJ/m²・年、冷房期(7~9 月)は 293~683 MJ/m²・年であることから空調機器の利用によるエネルギー使用量の増加はおおよそ 200~300 MJ/m²・年であることが明らかになった。2020 年の 3~6 月は特にエネルギー消費量が低い、これは中間期であることに加えて、新型コロナウイルスに対応するためリモート授業が行われており、学科棟の運用が殆ど行われていなかったためである。休日と平日のエネルギー消費量が示されているが、休日のエネルギー消費量は平日の

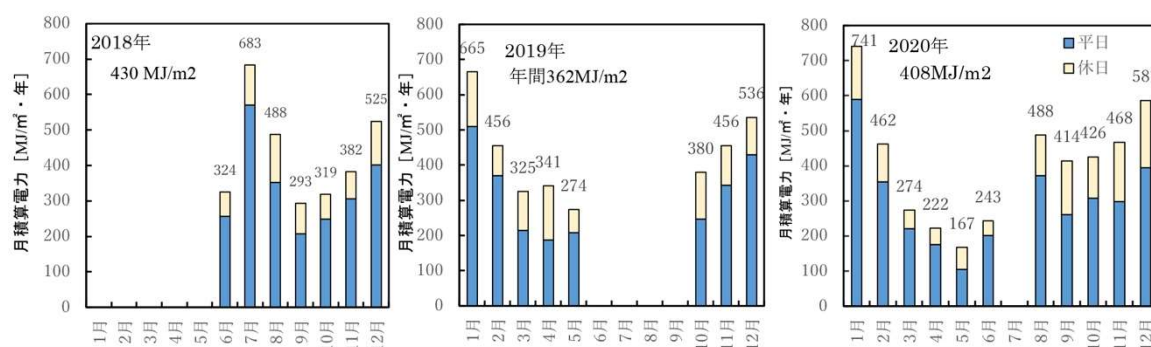


図 11. 各年の月積算電力データ

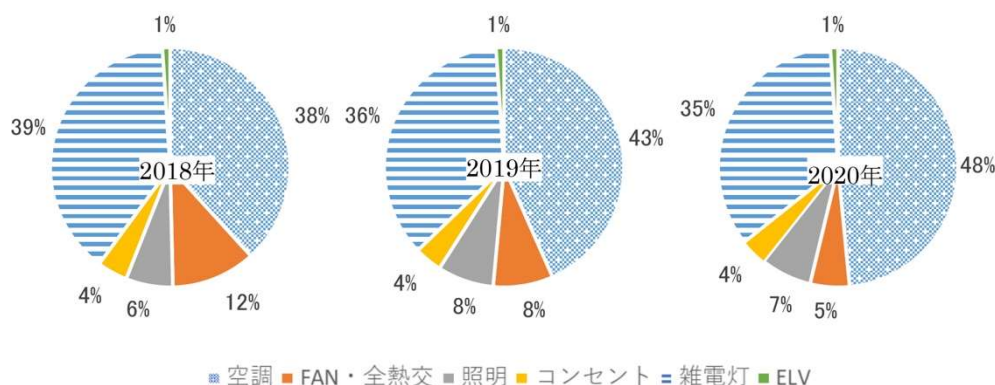


図 12. 各エネルギー消費の年間内訳

30%程度であったことから、休日にも学科棟でエネルギー消費行動が行われていると考えられる。

図 12 内に各電力の年間の内訳を示す。本図から、どの年でも空調消費電力に 38-48%と、最も多くのエネルギーが投入されており、削減の必要性があることが確認できた。次に、毎年 35%以上のエネルギーが雑電灯・その他の項目に投入されている。この用途については割合として大きく、無視できない。例えば、学科棟外側に取り付けられているスポットライトによる直接・間接照明などに多くの電力が投入されていると考えられる。FAN 動力の割合が経年で 12%から 5%まで低下しているが、これもコロナ禍における窓開放による通風の影響が大きい。

5. 4 外気温とエネルギー消費動向

図 13 に 2020 年の外気温と空調電力の消費動向を示す。アメダスデータより各年の平均外気温を取得し、空調消費電力と外気温の関係を比較した。図 13 左図に 2020 年の平日の空調消費電力を、図 13 右図に 2020 年の休日の空調消費電力を示す。本図から、日平均外気温が 25 度以上になると冷房が稼働しており、冬期は 15℃以下になったら暖房が稼働している。しかし、15℃~25℃の範囲においても冷暖房が 200kWh まで上昇している時間帯があることから、平日における空調電力の削減余地があることがわかる。

休日に関しては、最大で約 800kWh を示した。これは、大学見学会、オープンキャンパス、などのイベント等の休日出勤が考えられる。2020 年の休日の空調電力消費量は、300 GJ となっており、これら休日の利用を 0 になると、空調全体の 30%近い電力消費量削減が可能となる。

図 14 に年間積算エネルギー使用量の設計値からの比較を示す。まず、基準値である 1097MJ に対して、設計段階で約 743 MJ/m²・年 (ZEB Oriented) である。実績値としては設計値を大きく下回っており、既に ZEB Ready に位置付けることができる。しかし、ZEB に近づけるためにはさらなる省エネルギー化が求められる。例えば、空調電力 3 割削減を達成する案を提案する。先ほどの分析のように、休日の空調電力使用を完全に 0 にすることで、エネルギー使用量は 339 MJ/m²・年まで低減可能となる。

図 15. に設計値からの ZEB 格付けの変化を図示する。前述の通り、設計値は ZEB Oriented であり、ZEB とはなり得ないことが示されている。しかし、2020 年の実績値では ZEB Ready に格付けできることがわかる。このことから、創エネを消費エネルギー量の 15%(61MJ/m²・年)確保できれば Nearly ZEB に格上げ可能であることが明らかとなった。さらに ZEB に到達するためには 40% (162MJ/m²・年)の創エネが必要となる。図中には改善案として、休日の空調電力使用を完全に停止した時の過程値を 2021 年度の目標値として示している。改善案では、エネルギー供給量を 7%(23MJ/m²・年)とすれば Nearly

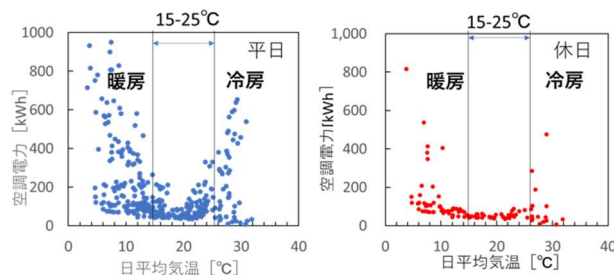


図 13. 空調消費電力と外気温の関係(2020 年)

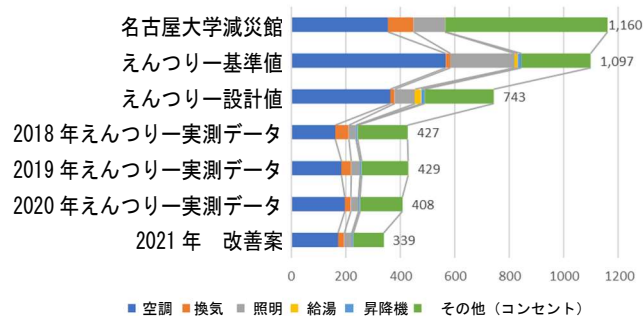


図 14. 年間電力比較

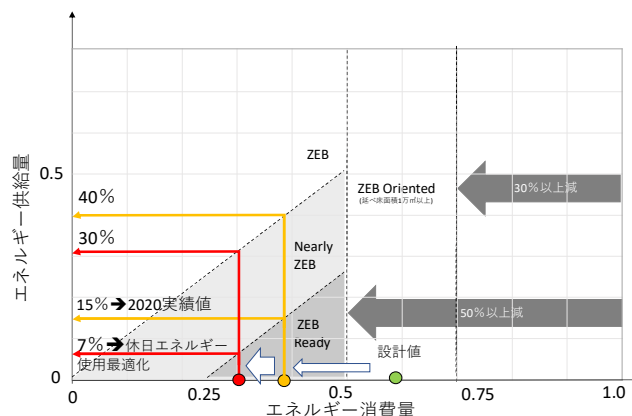


図 15. 設計値に対する実績値の ZEB 格付けの現状と目標値

ZEB、30% (99MJ/m²・年)とすれば ZEB が達成可能となる。

以上のことから、現状のエネルギー使用量から、ZEB の達成に必要なエネルギー供給量が示された。ただし、エネルギー使用量はコロナ禍の解消や大学院生の活動などによって今後大きく変化することが予測されるため、継続的な測定が必要である。

6. まとめ

本稿では、環境・設備系分野と意匠・計画系分野の連携によって、シミュレーション・実測・心理実験とそれらのコミッショニング (性能検証) を元にした建築環境デザイン手法について、検討を行ってきた。

本プロジェクトでは、一連のシミュレーション、実測、実証を教育プログラムとして、教育に導入することで、初学年の段階から、環境要素を活かした建築デザインの意識

付けを行う試みを行ってきた。そうした教育とともに、一部の学生は、卒業研究のテーマとして解析を深めたり、あるいは卒業設計の提案において建物の設計根拠として解析を行う状況も見られた。とかく、感覚的、直感的になりがちなデザイン行為を、エネルギー消費や気流の流れ方、あるいは昼光の入り方についてビジュアルに把握しながら検討を行う可能性やその教育効果について実感したところである。一方で、建築空間として成立させるためには、気流と照度、さらにはエネルギー消費を統合的に扱い、それらを一つの空間に昇華させる必要がある。そうした統合的デザイン手法とその教育についてはさらに検討が必要となる。今後の展望として試みを継続するつもりである。

参考文献

- 1) 脇坂圭一・丸田 誠・杉下浩平・李東勲「地域に開かれたえんがわ～静岡理工科大学建築学科棟えんつりープロジェクトブック」、建築資料研究社、2019