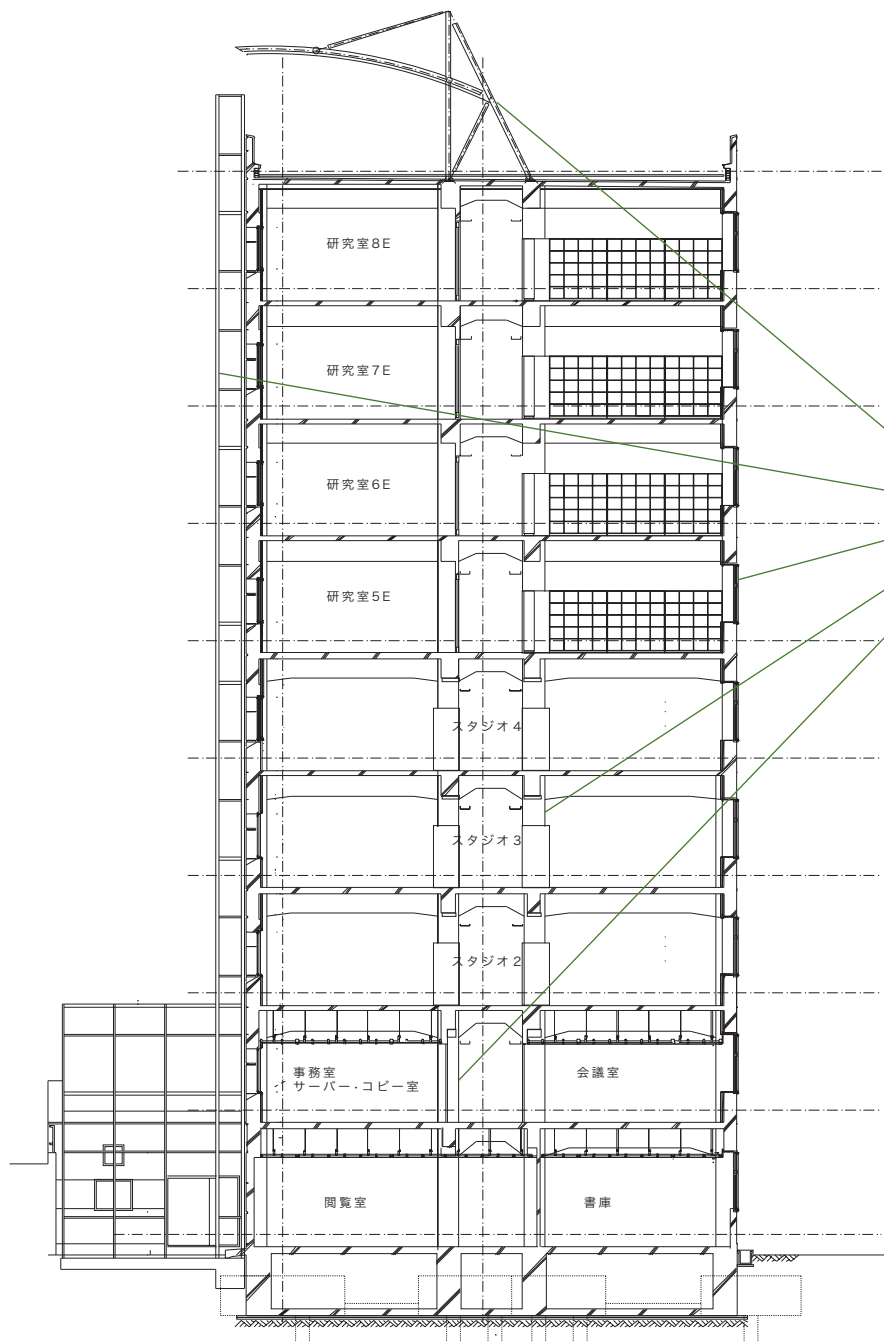




横浜国立大学新建築学棟グリーンビル技術の
効果検証と持続的管理手法の確立を目指して

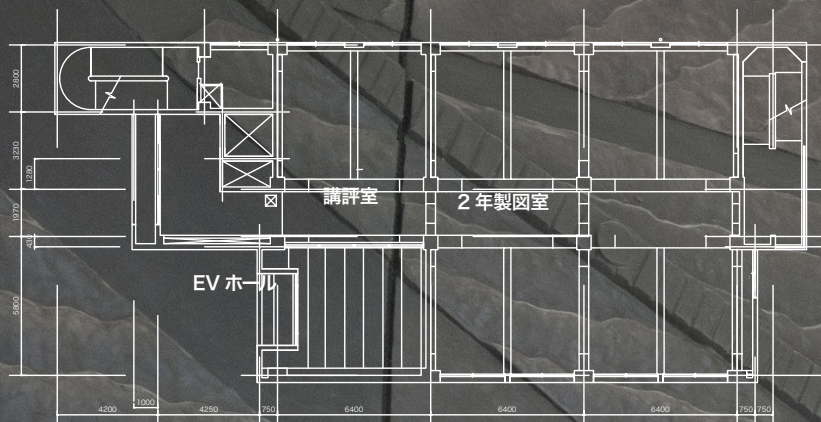
01	グリーンビルとは
02	建築学棟改修の考え方
0304	エネルギー使用実態
0506	膜屋根
0708	壁面緑化
0910	窓断熱
11	振動計測
12	構造・環境統合計測



グリーンビル（Green Building）とは、一般的には地球環境に良い建物をつくり、地球環境に良い住み方をする建物のことをいいます。

私たちの生活空間の環境要素としては、音、光、熱、水、空気があり、安全で快適で便利で健康的な空間とするために、建築物は時にはこれらを遮断し、また時にはこれらをうまく取り入れながら、生活空間の質をコントロールしています。しかし、建築空間内部だけを考えてコントロールしていると、建築の外部に大きな負荷をかけてしまうこともあります。夏の冷房の排熱や太陽のエネルギーを蓄熱し夜間放熱する建築物の壁体は都市のヒートアイランド現象の要因の一つですし、建築物の内部で利用されるエネルギーは限りある化石燃料を消費し、排出される二酸化炭素は地球温暖化を引き起こす要因となっています。建築に関係する私たちは、空間を構成する環境要素の特性や材料・設備の特性を十分に知った上で、構造・環境・計画のバランスのとれた建築空間の作り方を常に考えていくとともに、住まい方（住みこなし方）についても考えていかななくてはなりません。

幸運にも、建築学棟は耐震改修を機にグリーンビルを指向した技術、計画が採用されています。自らが活動する建物を生きた教材として十分に活用し、上手に住みこなし、本当の意味でのグリーンビルになるよう一緒に取り組んでいきましょう。（吉田）



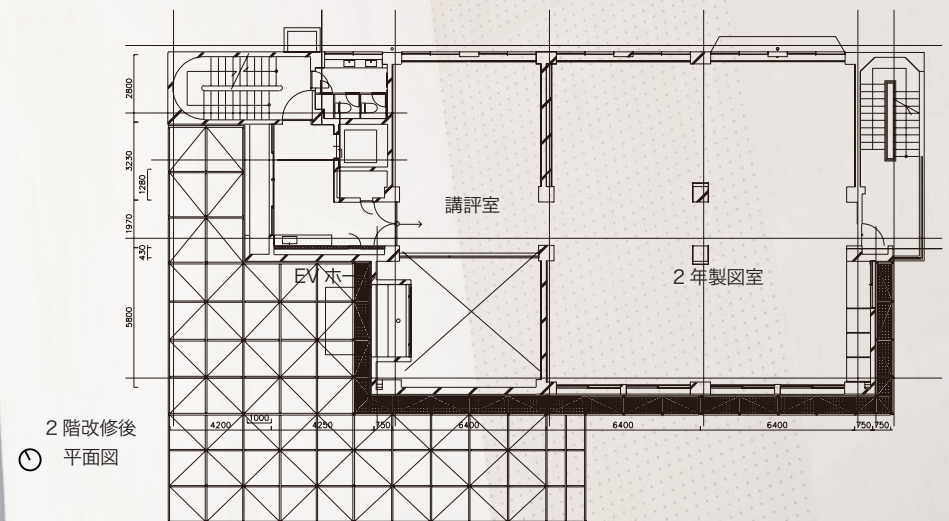
2階改修前
① 平面図



耐震補強を契機に建築学棟の改修が決定した時、教室会議で方針が検討されました。実施設計を担当した私たちは教室会議と連携し様々なアイデアを形にしていきましたが、その大きな筋立ては以下のようにまとめられます。

- 1) 改修自体を全て学生の教材と考える。
- 2) 地階、1階を共用、2、3、4階を学生の製図室、5階以上を講座の新たな編成に見合う研究室階と設定したが、その全てを公的空間と捉える。
- 3) メインストリートや野音に対する位置どりからキャンパスプランニングにおいて重要な拠点と認識、十分に育った緑溢れる環境に呼応しこれからの時代を象徴するシンボルと考える。

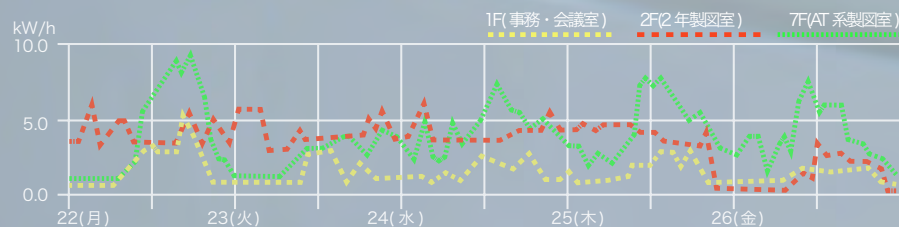
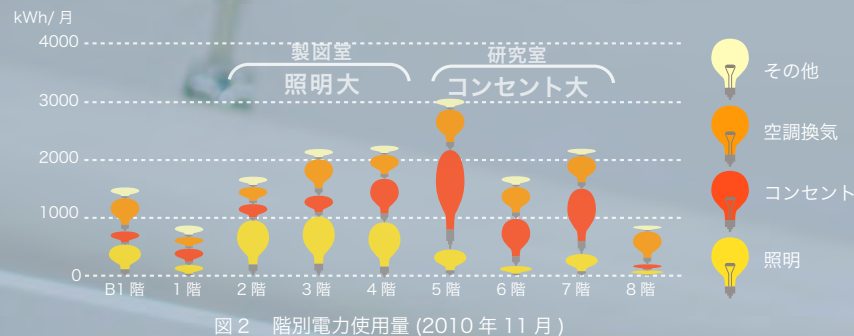
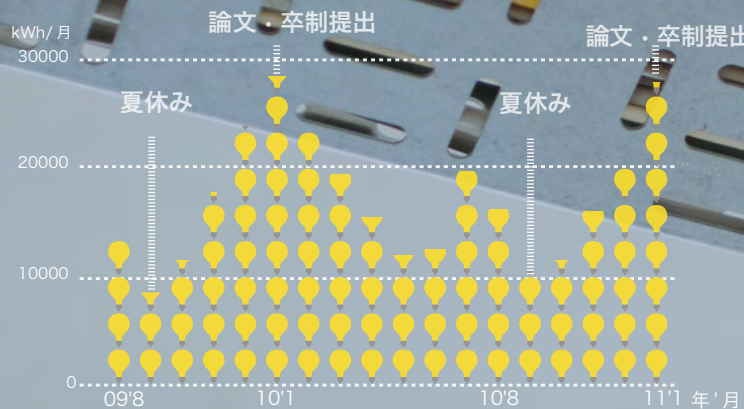
このような基本的な筋道に沿って、タイル貼りなど無駄な出費を抑えることで、環境系講座の協力による緑のダブルスキン、それと一体になったエントランスの藤棚、B1、1階の格子状耐震壁、屋上の共用デッキと膜構造日除け、天井や不必要な間仕切りを撤去した開放的な室内環境、エレベーターホールに纏められた水廻り等が実現しています。（飯田）



2階改修後
① 平面図

建築学棟のエネルギー源はすべて電力です。耐震改修を契機に、建築学棟では分電盤レベルでの詳細な消費電力量を計測しています。省エネルギーを考える際、まずは現状のエネルギー使用の実態を把握することが第一歩となります。

建築学棟で使用される電力は、大まかに照明、コンセント、空調換気、その他に分類されます。各グラフから、季節によって電気の使用量に一定の傾向があること（図1）、階毎に使われる電力の種類に違いがあること（図2）、また、曜日や時間帯によっても階ごとに性格が異なること（図3）がわかります。（吉田・葛西）



3年後期「地域環境計画演習」第4課題

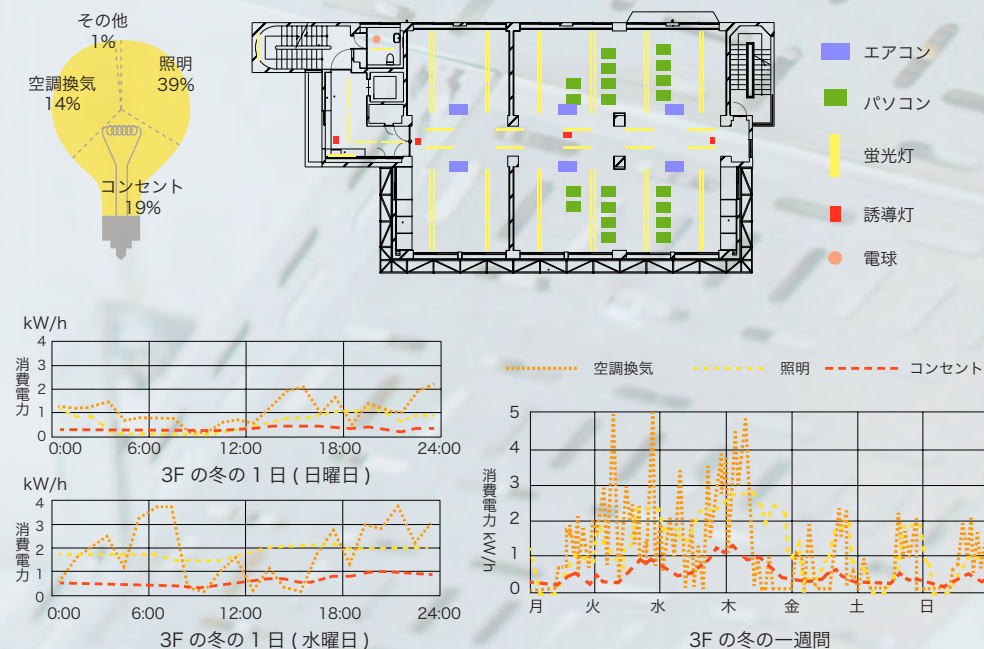
『新建築学棟のエネルギー消費の特性を分析し省エネルギー提案をしよう』

省エネルギーの基本は、まずは何処で何のためにどれだけのエネルギーを使用しているのかを知り、省エネルギーに向けた問題点を分析することにあります。平成21年度から新しくなった建築学棟の各階分電盤に設置された多回路エネルギーモニターで各階、各回路ごとの電力消費量が計測されています。3年生後期の「地域環境計画演習」では、このデータを分析して建築学棟のエネルギー消費の実態、特性を知り、省エネ提案をするという課題に取り組んでいます。以下に、平成22年度の演習の成果の抜粋を掲載します。

【エネルギー消費から見てくる3Fスタジオ階住人の生態】

- ・空調換気、照明の電力消費が多い。
- ・火曜日から電力消費額が大きくなり木曜日の建築デザインスタジオの日がピークとなる。
- ・日中は授業等で在室者が少ないため空調換気の電力消費は少なく、月～木までは夜間の利用がある。
- ・一方で、照明の電力消費は一日を通してほぼ変化がない。授業や食事などで不在になろうが、つけっぱなしにしているようだ。スタジオが大空間のため、在室者が一人でもいれば全体の照明がつけられる（一部を消すことができない）のではないかな。
- ・休日も深夜、午後の利用がみられる。休日も課題に取り組むまじめな学生がいる。

(H22年度第4課題B班；岩浅、柿山、高橋、松尾、緒方)



屋上膜屋根の概要

建築家の内藤廣氏の言葉を借りれば建築のデザインは「技術・場所・時間の翻訳」ですが、構造デザインは技術と芸術の統合による空間と環境の実体化を命題とする建築の重要な領域です。改修にあたり屋上空間の環境整備のため、それまでの研究を具体化し、構造形式の変更と応力解析を重ねて膜屋根の構造デザインの最終案を決定し、モックアップ実験を経て施工に至りました。今回の膜屋根のテーマは以下の3つでした。

1. 膜を透過した自然光の適度な明るさと暖かさ
2. 半屋外的空間の変化：日常的变化（昼夜、季節）、非日常的变化（暴風、積雪、地震等）
3. 日常と非日常のデザイン：非日常に対して備える美しく合理的な架構の技術（構造）と日常の気持ちの良い空間（環境）

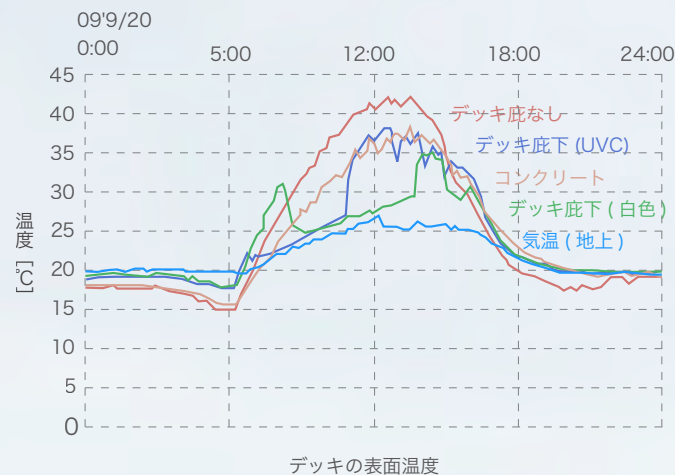
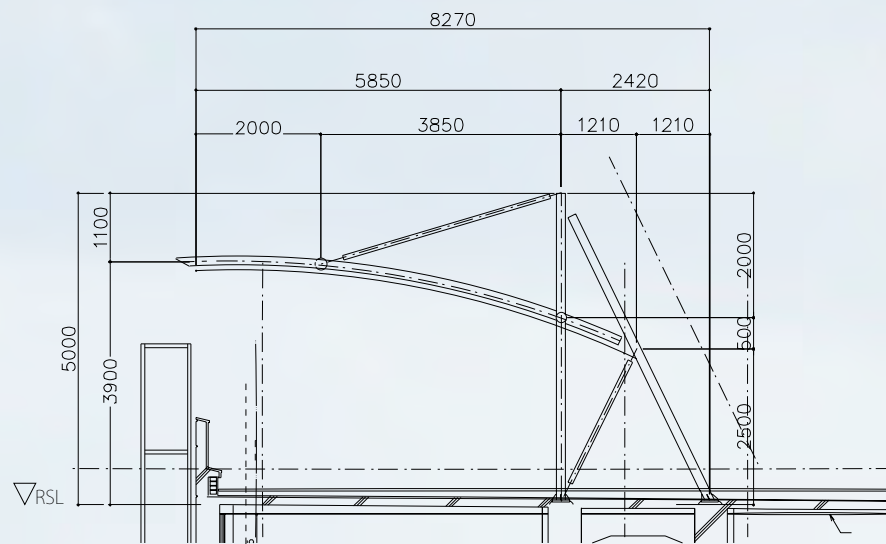
人間はこれまでに様々な材料と建築技術を駆使して、多様な空間を形成してきました。膜構造・空間構造はその一例に過ぎませんが、膜屋根という教材を通して、豊かな建築空間とその技術を是非みなさんに学んで欲しいと願っています。

膜屋根を支える鉄骨は、高さ5mのA字形の前傾したトラス柱と長さ約6mの円弧梁によるキャンチレバー（片持梁）構造になっています。風の強い屋上にあるため、暴風時には屋根のフィルムに大きな吹き上げや吹き下ろしの力が加わります。A字形の柱は、円弧梁の根元を支えると同時に、3つの頂点から7本の腕を伸ばして円弧梁の先端近くを支えています。これにより、各部材ができるだけ軸力で力を伝達し、曲げが生じにくいようにすることで、屋根の下に開放的な空間を確保しつつ、柱や梁、基礎が太くなるのを抑えています。屋根に用いているフィルムは、ETFE（エチレン-テトラフルオロエチレン）というフッ素樹脂で、宇宙服やフライパンなどに使われるテフロンの親戚にあたります。紫外線に対する耐久性に優れ、15年以上の屋外暴露を受けても強度や柔軟性の低下はほとんど生じません。

このフィルムは、北京オリンピックの国家水泳場（Water Cube）のように空気で膨らませたエアクッションがほとんどですが、今回は屋外のひさしで、断熱性も不要なので、施工時にフィルムを引っ張って鉄骨に取付けています。あらかじめ、短辺方向は2%、長辺方向は1%小さく作っておき、フィルムに延伸をかけることで、張力を導入し、同時に強度も上げています。このような2軸延伸は世界的にも新しい試みです。ここでは2種類のフィルムが使われています。白色フィルムは紫外線をほぼ100%、可視光線を40～60%カットします。一方、UVカットフィルムは紫外線をカットし、可視光線を透過する特性を持っています。強度を確保するために、厚さ200 μ mのフィルムを2枚重ねています。2種類の膜屋根の下で温熱感を体感してみてください。夏と冬でも快適な場所が変化します。

下のグラフは2009年9月20日のデッキ表面温度と気温、コンクリート表面温度を示したものです。底下のデッキ表面温度は日射量と同様に变化し、12:00には底なし部の41℃に対して、UVC底下で約4℃、白色底下で約14℃低くなっています。側面からの入射がない場合は、白色底下の表面温度は気温とほぼ同じになります。一方、コンクリートとデッキの表面温度の違いは、色による吸収率の違いで、白色塗装仕上げのコンクリート表面の方が、北側デッキ（茶色）の表面温度よりも低くなっています。

（河端）

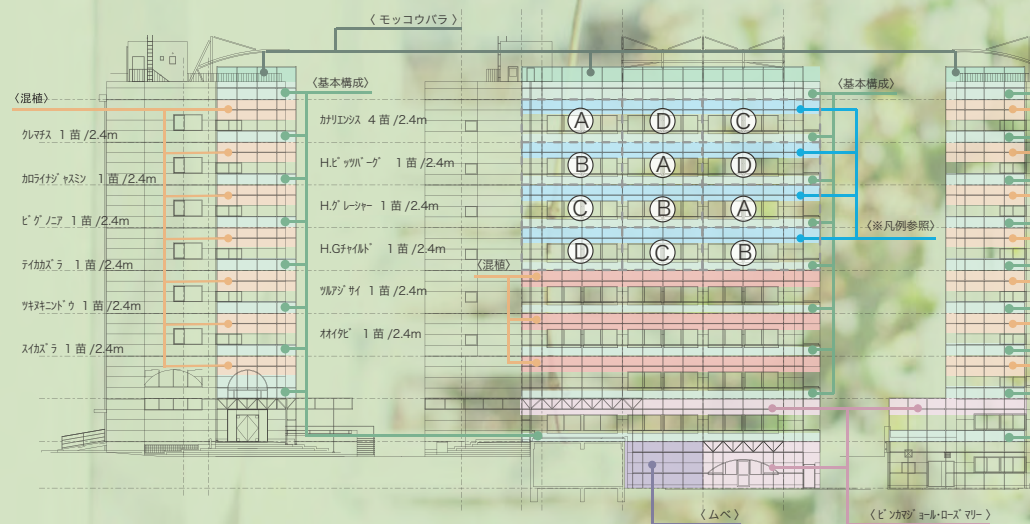


壁面緑化の成長

建築棟の壁面を緑化するにあたって、つる植物が登はん補助材に絡んで登っていく工法を採用し、外周に取り付けた鉄骨フレームにプランターと登はん補助材を設置して、12種類のつる植物を植えました。登はん補助材として、プランターの足元にエキスパンドメタルを取り付け、窓前面にはロープを張り、デザイン的な要素と窓前面を緑化することに配慮して緑化に濃淡をつけることを考えました。また、12種類の植物は、落葉性から常緑性のもの、付着根を出して登はんしていくものから巻きつる性の植物、というように生育特性が各々異なっています。

2年が経過し建築棟の生育環境に馴染んできたのか、ツキヌキニンドウやジャスミンといった巻きつる性の植物がロープに沿って登りはじめ、皆さんの前に顔を出すようになってきました。生育環境が整えばジャスミンは5mほど伸長すると言われており、まだまだ成長途中です。春になって植物がつるを伸ばして花を付けていく様子や夏の木漏れ陽など、生き物によって覆われている楽しさを感じていただければと思います。

(屋脊下・深尾)



凡例

RF部

植付植物: モッコウバラ

目的: 屋上スペースのための生垣

ラウンジ・研究室

植付植物: 常緑・落葉・常緑と落葉の混食・何も植えないの4種類ランダム配置

目的: 温熱環境測定

設計製図室

植付植物: 混食

※ロープのパターン変化

目的: ロープパターンによる生育状況観察

東西面

植付植物: 混食

目的: 方角による生育状況の違いの測定

エントランス・事務室 図書室

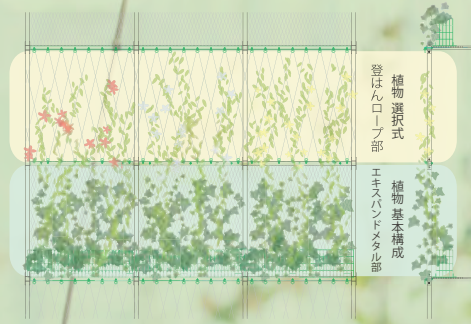
植付植物: ピンカマジョール
ローズマリー

目的: 地上からの景観

エントランス脇

植付植物: ムベ

目的: 地植え植物の伸長計測



日射遮蔽効果

壁面緑化や窓面緑化の日射遮蔽効果により、夏の室内の熱環境が改善することが期待されています。室内に太陽光が入り込むことで、そのエネルギーの一部である熱エネルギーも侵入するため室内の気温や放射温度が上昇します。室内の気温が低いと、それだけ冷房の負荷も低減されるので、特に夏場は建物の日射遮蔽を推進する必要があります。

右図の夏の日射量のグラフから、直接室内に入る日射量が、窓面緑化で減少していることが分かります。この結果、2010年8月に、窓面緑化がある室内と窓面緑化のない室内で温度を測定した結果、窓表面では約1.0℃、室内の気温では0.5℃の温度差があることが分かりました。

注1) この値は2011年8月12日11時(晴天、冷房なし)から1時間の平均値をもとに作成。

(福田・田中・深井・深尾)

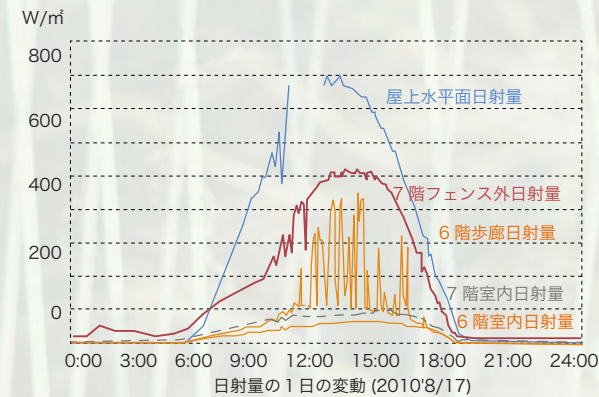
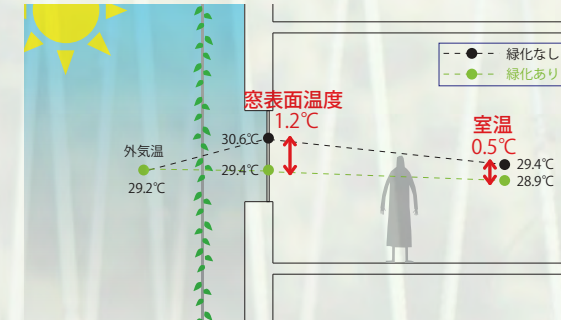
窓面印象評価

窓面を緑化する場合は、熱環境のことだけでなく、自然光の採光量や窓面から受ける印象の変化など、視環境の視点から検証することも重要です。

このため、2009年～2010年にかけて、窓面緑化の植物の成長とともに、研究階の学生室を実験室として窓面の印象評価のための被験者実験を行いました。

実験を通して、窓面が緑化されたことで、開放感などの印象が低下しましたが、照明を点灯し適度に明るさを補えば印象が向上することも分かりました。適切な運用のためには、照明エネルギー増加の検討も合わせて必要でしょう。また、植物の生育状況も印象に影響を与えるので、維持管理も適切に行われることが必須条件になります。

(小倉・田中・福多)



建築学棟の冬の寒さの実態

建築学棟は鉄筋コンクリート（RC）造で、外壁は約 150mm 厚の RC 単層壁で、窓面は約 7mm の単層ガラスです。150mm 厚の RC 単層壁の熱抵抗（熱の通り難さを示す値）は約 15mm の厚さのベニヤ板程度しかなく、非常に熱が逃げやすい構造です。7mm の単層ガラスはさらに熱が逃げやすい部位になります。3 階講評室北面を例として実態を示します。下図の北面部分を冬期にサーモカメラで撮影した熱画像を図 1 に示しますが、窓面が青く非常に低温になっていることがわかります。また壁面は低い位置ほど表面温度が

低くなっています。建築棟は耐震改修に伴って外壁に内装材を張りましたが、熱画像を見るとその内装材を施工する際の下地材の温度がやや高いのがわかります。一般的には外壁と内装材の間には断熱材を施工して断熱性能を高め、下地材部分はヒートブリッジ（熱が逃げやすい部分）になって温度が低くなるのですが、ここでは断熱材が入れられていないために下地材部分の温度が高くなっている（下地材のない部分が青いの比べて下地材部分がやや緑がかった色になっている）のがわかります。（深井）

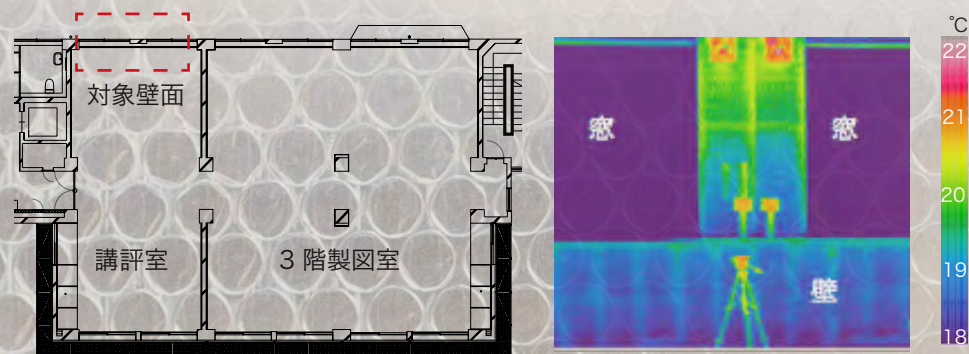


図 1 対象壁面の熱画像

建築学棟の冬の寒さの改善策

前項で説明した 3 階製図室の窓面部分が低温になって非常に寒いので、3 年後期の地域環境計画演習でその改善策を考えました。下の写真に示すように、右半分の窓にはプチプチ（梱包材に使うような透明プラスチックの複層材）を貼って断熱性能を高めました。また、左端の窓面下部に横長のヒーターを設置して窓面の冷気を留め表面温度を高める工夫をしました。ヒーターを設置した窓面の熱画像を図 2 に示します。ヒーター

を設置した左側は、ヒーターの上部の表面温度が高くなっているのが分かります。ヒーターが窓の表面温度を高める効果を、窓面の断熱性能（熱抵抗）の増加で表してみると、今回のヒーター（幅 780mm、85W）ではプチプチよりもやや低い効果が得られていることが分かりました。窓面の表面温度などを計測して分析した結果、プチプチはペアガラスよりもやや高い熱抵抗があることが分かりました。

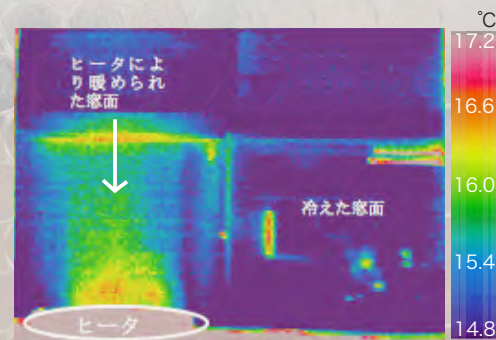
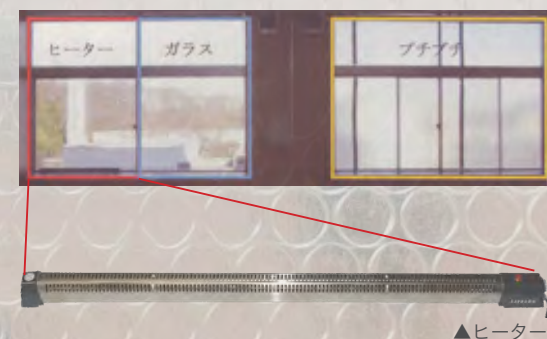
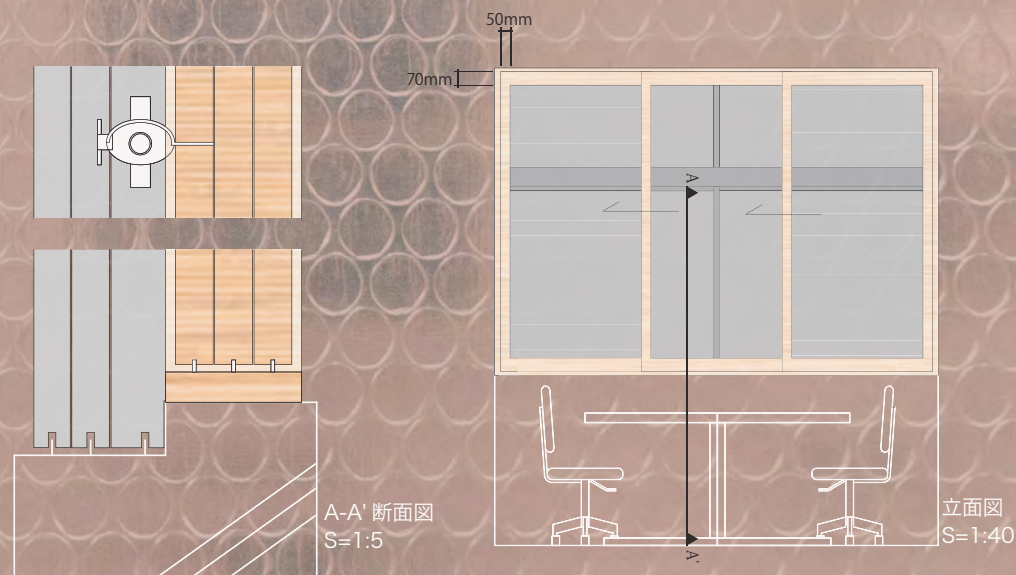


図 2 北側窓面の熱画像（ヒーターとガラスの比較）



透明高反射性フィルムを用いた木製建具のコンセプト

この実験では断熱性の悪い窓の温熱環境改善を目的として、熱線を反射する透明フィルムとヒートブリッジを生じにくい木製建具の組合せによる二重窓を設計、製作している。フィルムは軽量、長尺でひび割れによる危険がないため、大きな窓面でも軽量で開閉の容易な開口部材の製作に適している。建具の設計にあたっては、オフィスの用途の室内空間との調和に配慮して、枠の見付幅を小さくしている。（河端・福原）



巨大地震が発生すると、多くの建物が被災し、その結果、多くの避難民を生む事となります。被災した建物の中には、本震で被った損傷ゆえに余震によって更に損傷が進展し、例えば倒壊や部分崩壊等の、建物内の人に甚大な2次被害を生じる可能性があります。またそれとは逆に、工学的な検証を実施することが出来れば余震に対して十分な耐震性能を依然保有していると判断できる建物の住民でも、地震に対する恐怖心から建物から避難し、その結果避難者数を増加させる場合があります。余震による2次被害を低減するとともに、避難者数を減らすためには、本震後の迅速な建物の安全性評価（応急危険度判定）が必要不可欠です。しかし、現状の応急危険度判定制度では、建築技術者あるいは研究者が目視で1棟ずつ応急危険度判定を実施しているのが現状であり、例えば平成7年兵庫県南部地震の際には、被災地域の建物が39万5千棟⁽¹⁾であったのに対して、判定を行った技術者のべ6000人で、46,000棟を判定するのに3週間が必要でした⁽²⁾。判定に必要とした期間も長く、その間に評価できた建物数も充分とはいえません。また、目視に依るが故に技術者のレベルによって判定が大きくばらつくことが問題です。更に技術者による詳細な調査が必要となる「要注意」という灰色の判定が多く出され、この詳細調査には時間がかかり、その結果、住民の不安を早急に取り除くことができず、避難者数を増やすことになります。つまり本震後の耐震性能評価方法として、

- ①本震直後に判定結果が表示できる
- ②判定結果のばらつきが少ない
- ③「安全」か「危険」かの2値で判断が出来る

ことが望めます。そこでこういった問題を解決するために、本装置では、各建物に数台の安価な加速度センサーを配置し、その加速度センサー計測値から、機械的に建物の地震時の応答を計測し、地震後の残余耐震性能をリアルタイムで判定します。この技術により、本震直後に建物の安全性を住民に表示することが可能となります。図1にシステムのプロット図を示します。建物の常時観測は、その挙動や状態を逐一記録することにより、推測や仮定を出来るだけ排除した本当の姿を表し出すことが出来ます。例えば図1に示したような残余耐震性能判定装置は、建物の地震時の挙動を正確に記録するが故に可能となります。建築学とは建物そのものとその使われ方を対象とする学問であり、その状態を計測し、表示することは耐震構造だけではなく、例えば環境工学上も極めて重要な意味を持ちます。リアルタイムでの計測値をコンピュータ処理して表示することにより、本来目で見えることは出来ない建物の状態を可視化して示すことも可能となり、初学者にとっても理解しやすいものと思います。

(楠)

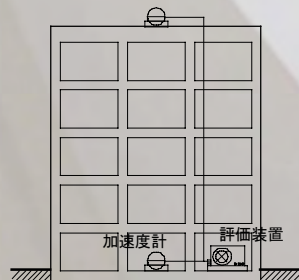


図1 残余耐震性能判定装置の概念図

(1) 日本建築センター：“平成7年阪神・淡路大震災建築震災調査委員会報告書 一集大成—”, 1996.3

(2) (財)日本建築防災協会：“建築防災7月号”, 1995.7

建築学棟は耐震改修を終えて、耐震性能の向上、屋上の膜構造、透明性高い教育空間、壁面緑化を始めとするグリーンビル技術の導入により大きく未来志向の建物へと生まれ変わりました。冒頭でグリーンビルとは「地球環境に良い建物、良い住み方をする建物」とありましたが、これは地球環境にも配慮しながら、人に安全で快適で健康を損なわないような建物を持続的に維持することが大前提であることには変わりありません。現在、建築学棟の振動データと室内外の微気候データ、エネルギー消費量データは自動集録されるようになり、この冊子に掲載された各分野の研究や教育活動へと活かされつつありますが、各データが個別に集録されるに留まっています。本来、これらのデータを再整理・統合し、先に述べたような建物・住み方に繋がるような生きた正確な情報として利用していく必要があります。このような建物の統合モニタリングは、人間で言うと、いわゆる健康診断を決まった間隔で行うのではなくて、24時間、リアルタイムで連続して行っているようなものです。普段のちょっとした変化をいち早く感じ取り、大事に至る前に手立てをする、また、一大事（災害）が起きた時は、現状を素早く判断すると共に、被災後の生活にも反映できるようなシステムである必要があります。まさに、今回の計画停電においては、エネルギー消費量計測は重要な意味を持つといえるでしょう。

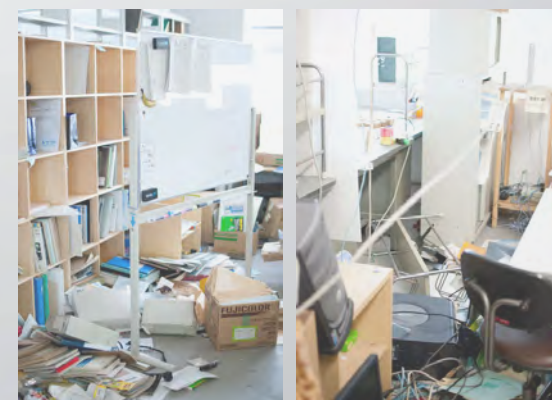
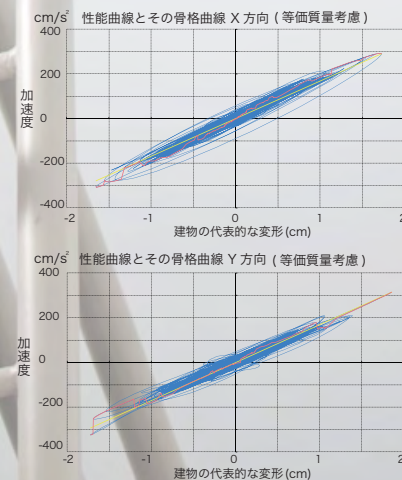
今後は、建築学棟の地震時の応急危険度判定を自動で実施することや、普段の振動や中小地震の際の揺れの記録をモニターで表示し、建物全体を振動学の教材化を図ることも課題の一つです。これらと合わせて、壁面緑化やオープンスペース化した教育・研究空間の光・熱・空気環境やエネルギー消費量の計測、屋上に設置した膜構造の風応答と応力の計測なども24時間365日実施し、節電行動や環境調節行動に活かせるような表示システムを構築することも必要でしょう。これら一連の評価結果やモニタリング結果を建築技術と対応した教育プログラムとなるよう検討することで、計画・構造・環境それぞれの授業や演習での活用のみならず、学生たちが普段の生活の中でいろいろな建築技術に自然と興味を抱く環境が整うことを期待しています。

(田川)

東北地方太平洋沖地震についての報告

2011年3月11日14時46分、宮城県沖を震源とするM9.0の地震が発生し約1分後の47分に建築学棟においても大きな揺れが観測されました。計測深度は4.7でした。下のグラフは、建物の一つの塊と考えたときの力と変形の関係を示しています。弾性内にとどまっていることが分かり、建物被害は殆ど無いと分かります。

写真は7階の地震直後の状態です。建物被害は無い場合も、このように本棚の上部にあったものは全て落下し、机の上のパソコンも一部床に落下するなど被害が見られました。本棚が固定されていないとさらに大きな被害になっていたと考えられます。使い方も被害を防ぐためには重要だということが分かります。



主要 Rank 性能曲線 : 地震前の基準線
 推定周期 0.8 秒 : 地震中の主な変形
 主要 Rank 骨格曲線 : 青色のデータから算出した建物の変形特性