

業務用施設の BEMS データから読み解く社会情勢の変化と建築設備における対応について

Analysis for the Social Condition Changes and the HVAC Facility Management Based on the BEMS Data of Commercial Buildings

東京電機大学 未来科学部 建築学科
Tokyo Denki University
School of Science and Technology for Future Life, Department of Architecture
百田 真史
Masashi MOMOTA

キーワード：業務用施設 (Commercial Buildings)、エネルギー消費 (Energy Consumption)
BEMS(Building and Energy Management System)
運用実態 (Operation Result)、新型コロナウイルス (COVID-19)

1. はじめに

2000年以降のビルでは BEMS が実装されることが多くなり、社会情勢の変化を BEMS データから読み解くことが可能となってきた。本稿では、商業施設・オフィスビル・大学施設を対象に、新型コロナウイルス感染症対策に加えて東日本大震災などの影響が建築設備に与える影響を様々な角度から可視化し、長期間運用される建築設備に求められる柔軟性（≠余裕率）の担保に資する情報を共有する。

具体的には、「2. オフィスビルの長期運用データ解析」において17年分のデータ解析¹⁾²⁾を行い、東日本大震災や新型コロナウイルス感染症対策の影響について、一次エネルギーや空調負荷の解析に加え、トイレの使用回数も含めた検討を行った。また「3. 商業施設における COVID-19 の影響³⁾」では、新型コロナウイルス感染症対策が商業施設の熱需要に与える影響を分析した。さらに「4. 大学施設の長期運用データ解析⁴⁾」では、10年分の消費電力量の推移およびベース電力量把握を行い、削減すべき電力需要の抽出と整理を行った。なお本稿の紙面の関係上、例えば3.における負荷変動に伴う熱源システムの効率の変動や運用実態の把握結果など、多くの解析結果を割愛せざるを得なかったため、必要に応じて参考文献を参照頂きたい。

2. オフィスビルの長期運用データ解析

研究対象の建物概要・設備概要を表-1に建物外観を図-1に示す。2003年に竣工、地下1階、地上14階、延床面積約20,000m²の事務所ビルであり、全館を建築設計事務所の本社ビルとして利用している。3階から13階までの11フロアが事務スペースである。図-2のように基準階の床面積1,500m²のうち1,000m²が事務室である。空調設備は中央熱源方式であり、外ブラインド+発熱複層ガラスによる窓システムでペリメータレス化し、インテリアをVAV+AHU(4管式)とし、2台の空調機でゾーニングしている。

表-1 建物・設備概要

建物概要		設備概要	
建物用途	事務所	窓まわり	外ブラインド + 発熱複層ガラス
竣工年月	2003年3月	空調設備	AHU + VAV
規模	地上14階, 地下1階, 塔屋1階	熱源設備	内外融氷蓄熱システム 空冷HP + 吸収式冷温水機
延べ床面積	20,580m ²		



図-1 建物外観

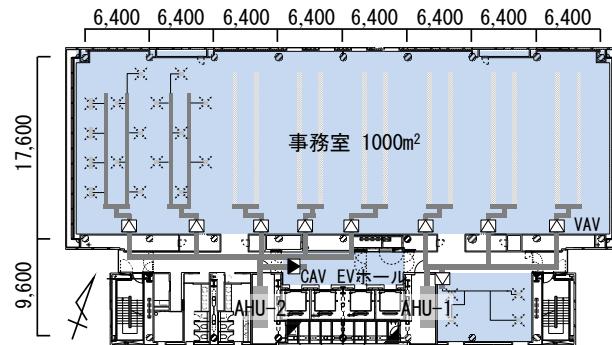


図-2 基準階平面図

対象建物では、2020年3月から出社率50%を目標とする新型コロナウイルス感染対策が開始され、緊急事態宣言発令がされた2020年4月7日から5月25日の緊急事態宣言解除までの期間は、オフィスへの出社禁止・原則在宅勤務の建物閉鎖が実施された。緊急事態宣言解除後は出社率30%を上限とした。図-3に建物全体の延べ床面積当たりの一次エネルギーの年次推移を示す。竣工翌年の2004年から2010年までは、平均1,580MJ/m²・年程度であったが、2011年の東日本大震災をきっかけに約20%削減を実現し、2011～19年は平均1,270MJ/m²・年を維持してきた。20%削減は主として照明の照度変更による。2020年は新型コロナの出社制限をおこなった影響で14%減少し、1,090MJ/m²・年となった。竣工当初に比較すると約30%削減となっている。

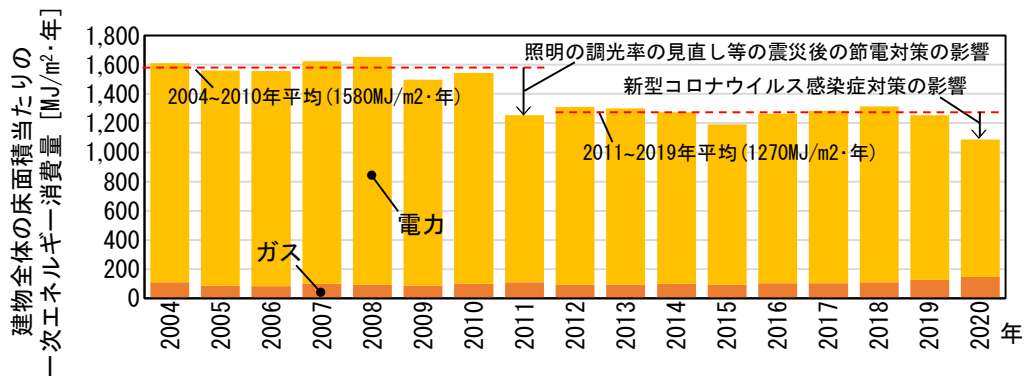


図-3 建物全体の延べ床面積当たりの一次エネルギー消費量の年次推移

図-4に建物全体の冷・温水熱量を2004～2020年の年次推移で示す。冷水熱量の年次推移の傾向は、前述の一次エネルギーとほぼ一致している。2011年以降の東日本大震災による照明負荷の減少や2020年の4、5月の建物閉鎖による照明・コンセント電力の減少の影響を受けて削減していることがわかる。温熱については、冷熱とは逆に内部発熱の減少に伴い、2011年以降は増加している。

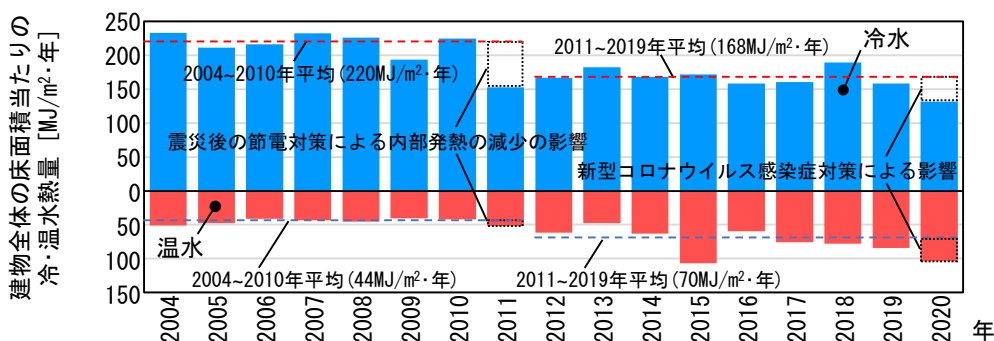


図-4 建物全体の床面積あたりの冷温水熱量の年次推移

図-5 に冷水及び温水熱量と外気比エンタルピを 2017～20 年の各日ごとにプロットしたものを示す。2020 年 5 月は建物閉鎖で空調設備を停止していたため、エンタルピが増大しても冷熱は増加していないことがわかる。温熱については、2020 年 11, 12 月が例年よりも高い傾向にあり、後述のように外気量増加と内部発熱減少が原因と考えられる。

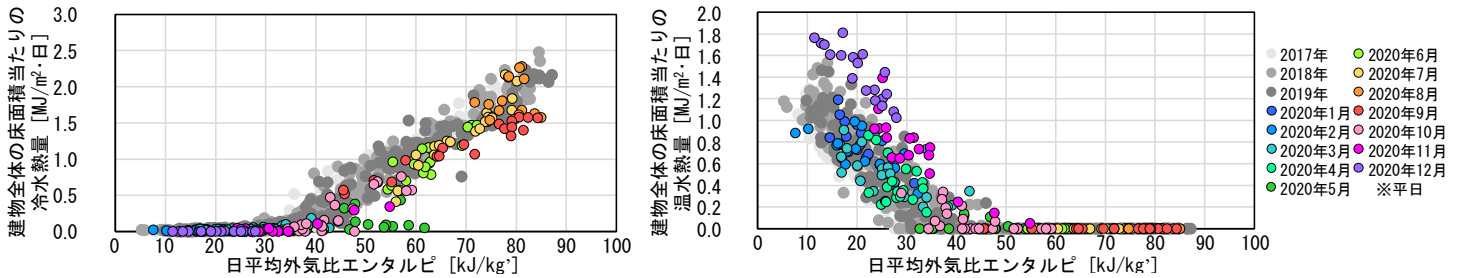


図-5 建物全体の冷水(左)・温水(右)熱量と日平均外気エンタルピの相関(年度推移)

基準階空調機を対象に図-5 同様の相関図を作成し得られた回帰直線を用いて、2020 年の外気温度と外気比エンタルピから、2017～19 年を基準とした空調機の冷水・温水コイルの室内負荷と外気負荷を算出し、2020 年の室内負荷と外気負荷の実績を比較したものを図-6 に示す。2017～19 年の過去基準と比べて、年間では、冷水コイルの室内負荷は 61%減少、外気負荷は 82%増加、合計では 17%減少した。温水コイルの室内負荷は 36%増加、外気負荷も 37%増加、合計で 63%の増加となった。

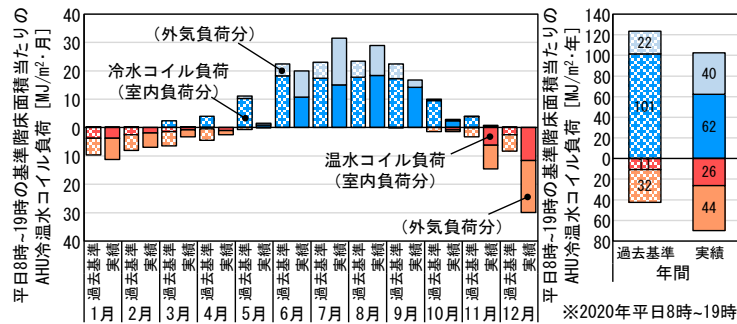


図-6 基準階空調機冷温水コイル負荷の推移(エンタルピ補正済)

便器の使用水量・回数と手洗い回数は、男子・女子トイレの便器種別ごとに計測されており、この使用回数(電動フラッシュバルブの吐出回数)を用いた検討を行った。図-7 に 2017～2020 年のトイレの各用途での 1 日の使用回数を月次推移で示す。2020 年 4 月以降は建物閉鎖や出社制限によって激減していることが分かる。

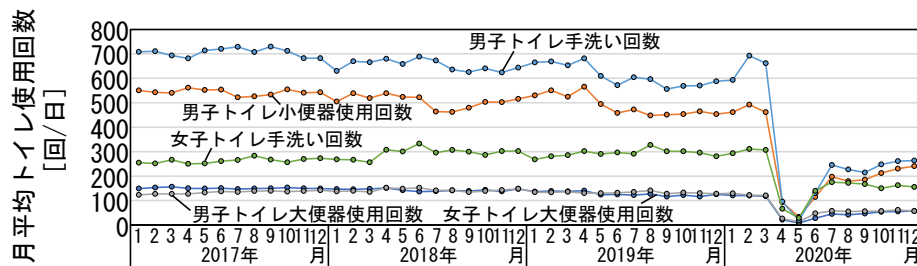


図-7 トイレ使用回数の月次推移

3. 商業施設における COVID-19 の影響

表-2 に物件ごとの建物概要・熱源機器概要・換気対策についてまとめたものを示す。対象物件は関東にある商業施設 14 件である。ほぼ全ての物件で蓄熱方式を採用しており、物件 10 のみ非蓄熱方式でコジェネレーションシステムを導入している。物件 1,2,9,10,11 では冷熱と温熱の供給を行っており、その他の物件は冷熱のみ供給を行っている。換気対策の有無が判明しているのは物件 1,2,3,4,11 の 5 つである。分析に利用した BEMS データは 1 時間値である。対象物件では 2020 年 4 月の緊急事態宣言を受けて臨時休業しており、いずれの物件も 5 月中に営業を再開している。2021 年 1 月以降の緊急事態宣言後は時間短縮営業を行っている。分析対象期間は、冷熱供給量については 5 月の営業再開後～11 月、温熱供給量については 12～3 月とし、原則として過去 3 年（2017～2019 年度）と比較して分析を行った。なお物件 1,2 の温熱供給量はデータの計測状況上、それぞれ 2018～2019 年度、2017～2018 年度を過去の実績とした。

表-2 検討対象建物・設備概要・換気対策状況(合計 14 件)

物件番号	物件1	物件2	物件3	物件4	物件5	物件6	物件7	物件8	物件9	物件10	物件11	物件12	物件13	物件14	
所在地	東京都	東京都	埼玉県	埼玉県	千葉県	千葉県	千葉県	千葉県	千葉県	千葉県	神奈川県	神奈川県	茨城県	茨城県	
延床面積 (m ²)	136,400	107,400	134,000	146,000	55,000	90,000	144,000	72,669	不明	65,000	137,600	不明	178,000	88,000	
階数	地上3階	地上4階	地上3階	地上2階	地上2階	地上3階	地上4階	地上4階	地上3階 ×2棟	地上3階	地上3階	地上4階	地上2階	地上3階	
熱源機器	氷蓄熱槽 BTR ^{※1} ×3台 BR ^{※2} ×3台	氷蓄熱槽 BTR×2台 BR×3台	氷蓄熱槽 BTR×2台	氷蓄熱槽 BTR×2台	氷蓄熱槽 BTR×2台	氷蓄熱槽 BTR×2台	氷蓄熱槽 BTR×2台	氷蓄熱槽 BTR×2台	氷蓄熱槽 BTR×3台 BR×3台	ETR ^{※3} ×3台 GAR ^{※4} ×2台 GAR (ジェネ リンク)×1台	氷蓄熱槽 BTR×3台 温水器×4台	氷蓄熱槽 IR ^{※5} ×2台 BTR×2台	氷蓄熱槽 BTR×2台	氷蓄熱槽 BTR×2台	
換気対策 (夏期以前)	OA ダンパ 開度100% 空調機の INV制御 OFF	7月半ば まで 自動ドア 全開	外調機の 風量 大幅増	6月頃以降外 調機の 風量大幅増 ・ 空調機の INV制御OFF	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	特に行って いない	不明	不明	不明

図-8 の左に代表として物件 3,14 の 2020 年 5 月の営業再開後～11 月の期間平均冷熱供給量の時刻推移を示す。5～11 月を通して、営業開始時と終了時の冷熱供給量が過去に比べて減少傾向である。この傾向は多くの物件でみられ、営業時間短縮の影響と考えられる。同図右の物件 1,10 の 12～3 月の期間平均温熱供給量の時刻推移では、両物件とも、2021 年 1 月の緊急事態宣言を受けて 2020 年度の温熱供給量が 21 時から減少している。

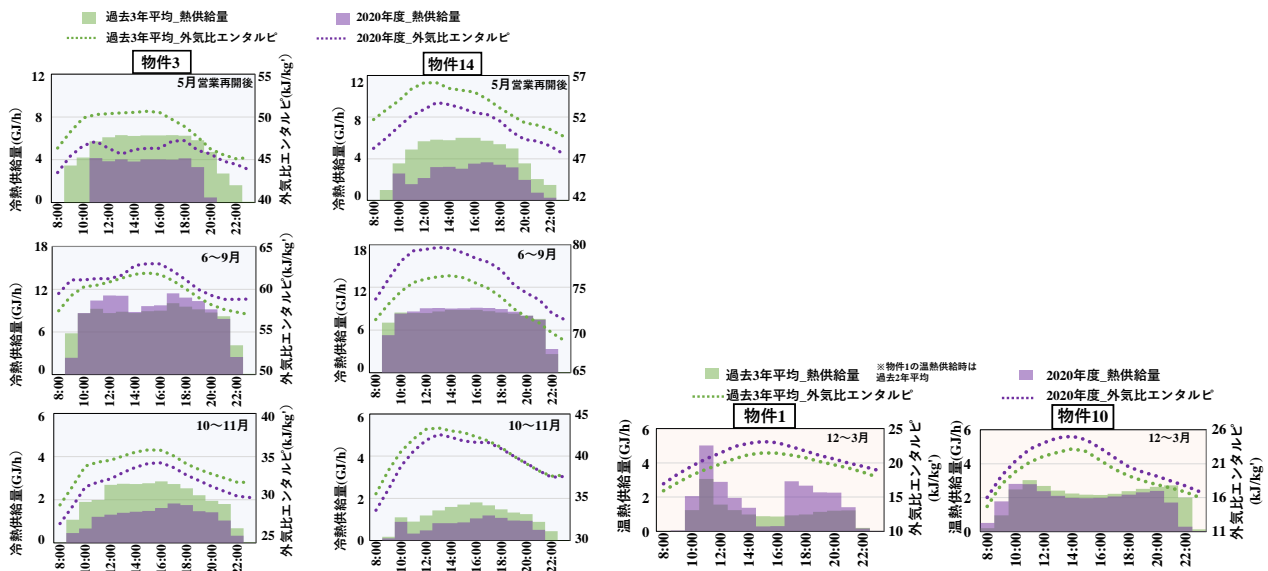


図-8 過年度との冷熱(左:物件 3・14)および温熱(右:物件 1・10)の供給量時刻推移の比較

図-9 に季節毎の外気比エンタルピーと熱供給量の相関図を示す。熱供給量は 11～20 時の日積算を季節毎に平均したものをプロットした。図-10 に補正前後の季節毎の 1 日あたりの熱供給量と熱供給量変化率を示す。なお熱供給量変化率とは、2020 年度の熱供給量(実績)を、外気条件を考慮した推計値

で割った後に1を引いて、パーセント表示にしたものである。熱供給量変化率は、夏期は+7.5%、中間期は-2.7%、冬期は+8.6%となった。

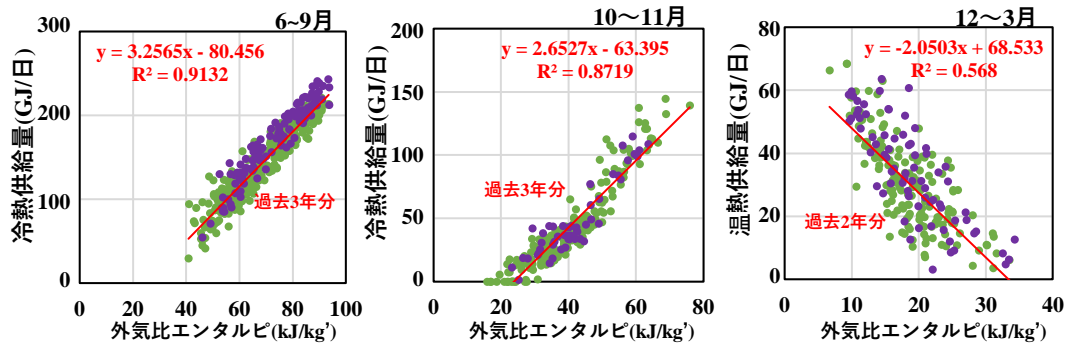


図-9 季節別の外気比エンタルピと冷熱供給量の相関(物件1)

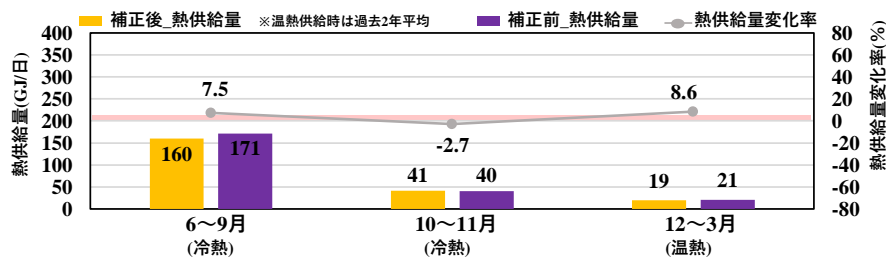


図-10 補正前後の季節ごとの1日あたりの熱供給量と熱供給変化率(物件1)

4. 大学施設の長期運用データ解析

図-11に対象キャンパス概要を示す。主な建物用途は1号館が研究室、実験室、教室、及びホール等、2号館が教室及び事務室、3号館が食堂及び部室、4号館が研究室、実験室及び教員室、5号館が教室及び実験室である。設置熱源は1号館が空冷ヒートポンプチラー(ブライン仕様)(以下BHP)、2号館が空冷ヒートポンプチラー(以下AHP)、ブライントーボ冷凍機(以下BTR)、インバーターターボ冷凍機(以下ITR)、4号館がAHP、5号館がAHP、BHPである。熱源システムは中央熱源方式に蓄熱槽(氷蓄熱+温水槽+連結式縦型蓄熱槽(冷温水+氷))を導入している。

図-12に対象キャンパス運用開始後の2012年度から2021年度までのキャンパス全体の用途別消費電力量推移を示す。上のグラフは月ごとの用途別消費電力量の推移と月平均外気温、下のグラフは年度ごとの用途別消費電力量の推移を示している。5号館が2017年度に運用開始されたことによってキャンパス全体の消費電力量が増加した。また、2020年度は新型コロナウイルスの影響によってキャンパスの利用頻度が変わり、5号館運用前ほどの消費電力量となった。

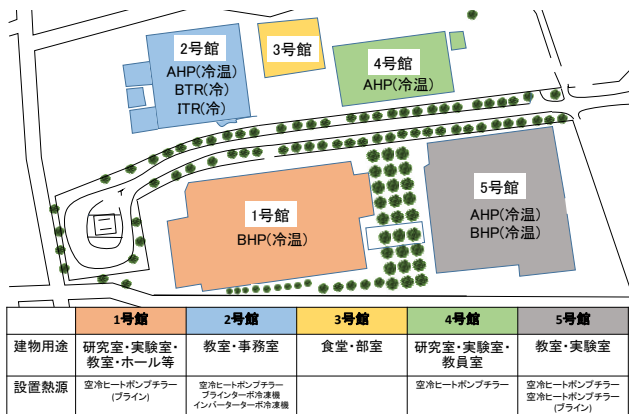


図-11 対象キャンパス概要

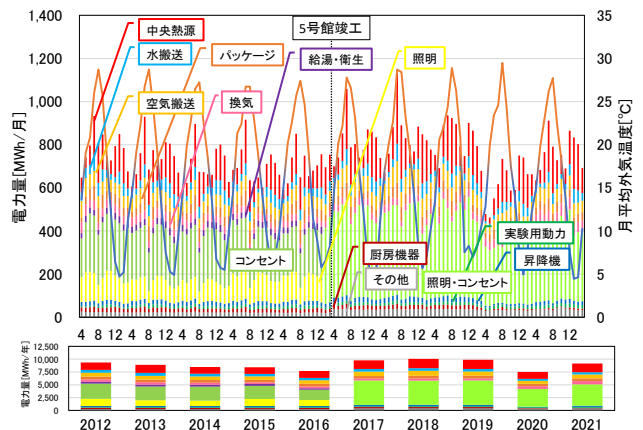


図-12 用途別消費電力量推移

図-13 にベース電力の定義を示す。照明・コンセントに関しては、図-14 に示す正月三が日の消費電力量の平均値を、年間を通して消費されているベース電力であると定義した。なお正月三が日にはキャンパスは完全閉鎖で、最低限の建物管理者以外は不在であることを確認している。熱源機に関しては、熱源機停止時の待機電力を年平均で算出し、熱源機稼働中も待機電力分はベースとして存在するとして、照明・コンセントと同様に年間消費分を算出した。そのうえで、これらを総じてキャンパス全体のベース電力(常時消費される電力)と定義した。

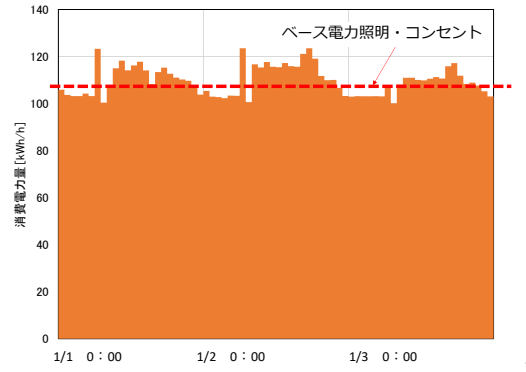
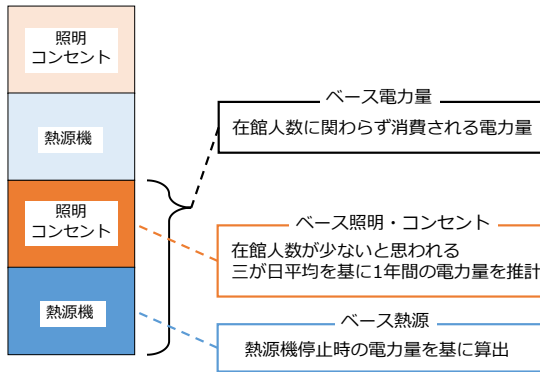


図-13 ベース電力の定義

図-14 照明・コンセントのベース電力(正月三が日)

図-15 に 2015 年度、2019 年度、2020 年度の熱源機器運転時の消費電力量とその内訳、各熱源機の運転時間、モジュール数を示す。5 号館竣工前後の 2015 年度と 2019 年度の 1~4 号館の熱源機運転時の消費電力量については約 1,120MWh/年から約 1,380MWh/年へと増加した。また中でも 1 号館 BHP の消費電力量の増加が顕著であり、これらは 2 号館の BTR と ITR がさほど変化していないことを考慮すると、各号館 AHP/BHP による温熱生産が増加したためと考えられる。2019 年度と 2020 年度のキャンパス全体の熱源機運転時消費電力量については、約 1,800MWh/年から約 1,360MWh/年へと大きく減少した。またキャンパスにおける大半の冷熱を作る 2 号館の BTR と ITR の消費電力量は、合計で約 700MWh/年から約 400MWh/年と、約 300MWh/年減少した。これは運転時間からもわかるように、コロナウイルス流行が大きく影響し、熱源の運用時間が減少したためである。

図-16 に 2015 年度、2019 年度、2020 年度の熱源機停止時の消費電力量とその内訳を示す。空冷ヒートポンプ 1 モジュール 1 時間あたりの熱源停止時間消費電力量は、1 号館 BHP で約 0.50kWh、2 号館 AHP で約 0.88kWh、4 号館 AHP で約 0.65kWh、5 号館 AHP で約 0.85kWh、5 号館 BHP で約 1.56kWh であった。5 号館竣工前後の 2015 年度と 2019 年度の 1~4 号館の熱源機停止時の消費電力量については約 25MWh/年から約 32MWh/年へと増加した。キャンパス全体の熱源機器停止時の消費電力量については、2019 年度では約 59MWh/年、2020 年度は約 64MWh/年と新型コロナウイルスの影響を受けており、熱源機器の停止時間が増えているためそれに比例するように全体の消費電力量も増加した。

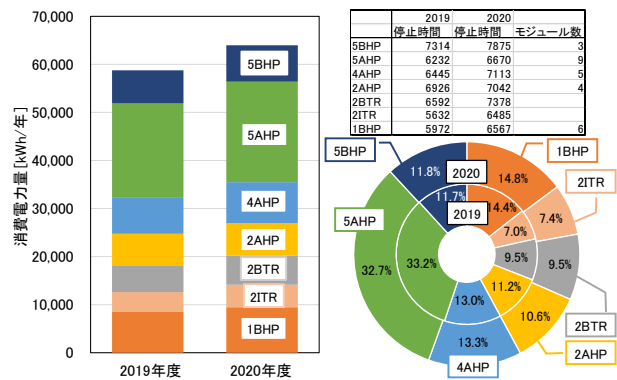
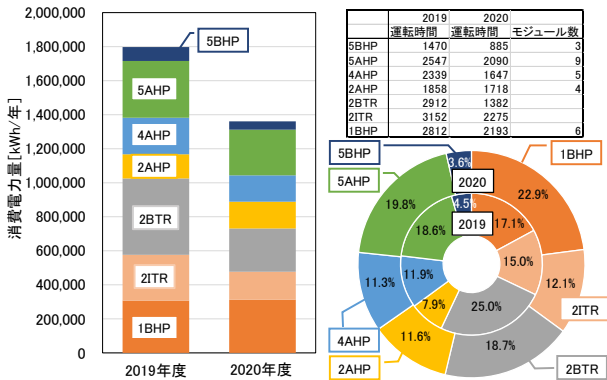


図-15 熱源機運転時消費電力量・内訳(2019/2020)

図-16 熱源機停止時消費電力量・内訳(2019/2020)

図-17 に各号館の階別照明・コンセント年間ベース電力量を示す。1号館は防災上重要な機能が集まる1、2階の消費電力量が多く、約1,160MWh/年となった。1号館は研究室用途が主のため他号館の教室利用などと比べると消費電力量が大きい。2号館の4階は電力需要の高いPC教室と総合メディアセンターがあるため教室用途としてのベース電力が発生しているが、他の号館も含めて教室用途のベース電力はこの階以外は顕在化していない。4号館は1号館と同様に研究室や実験室用途が多く床面積が同等の2号館よりも消費電力量が大きくなった。

図-18 に1号館照明・コンセントベース電力量室用途別内訳を示す。主に学生が使用する研究室や実習室等の室用途が1号館全体の約36%を占めており、学生以外が主に使用する教員室、事務室等が約15%を占める結果となった。また、他号館に比べて共用部照明の割合が10%と最も大きくなった。一方で、EPS・その他の割合が大きく、今後詳細な調査が必要であると考えられる。なお2号館・4号館については、紙面の関係上割愛する。

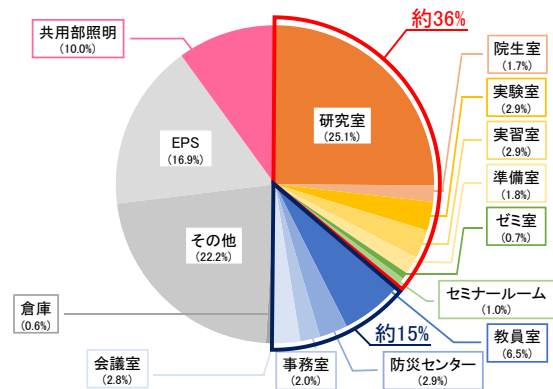
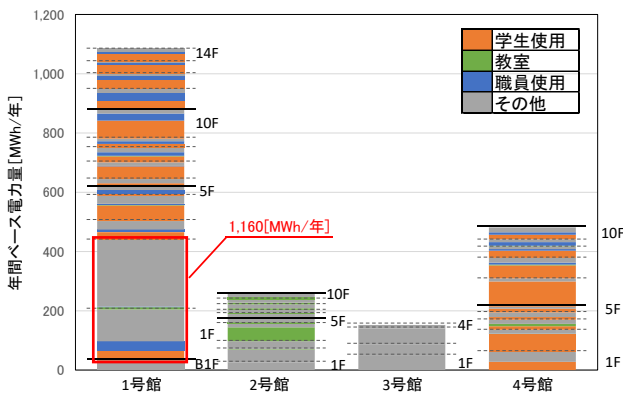


図-17 階別照明・コンセント年間ベース電力量 図-18 1号館照明・コンセントベース電力量室用途別内訳

図-19 に2019年度1号館研究室・教員室用途の内訳ベース電力量を示す。上のグラフは研究室用途である全85室のベース電力量内訳と教員室用途である全82のベース電力量内訳、下の表はそれぞれ対象室用途のベース電力量上位約10%にあたる9室の学科名等を示す。研究室は該当9室が全体の電力量の約35%を占め、年間のベース電力量は約97MWh/年であった。また、内6室がロボット・メカトロニクス学科の研究室が占めていた。教員室は上位約10%である9室の年間ベース電力量が約32MWh/年で教員室全体の約46%を占め、内4室がロボット・メカトロニクス学科であり約23%(約17MWh/年)を占めていた。

図-20 に熱源、照明・コンセント消費電力量を示す。なお、熱源のベース電力量については熱源機停止時の消費電力量を平均し、年積算分を推計した。キャンパス全体の熱源、照明・コンセントの消費電力量については、2015年度の約5,000MWh/年から2019年度には約5,380MWh/年に増加したが、2020年度には約3,840MWh/年に減少した。また、2015年度から2019年度にかけては全体の照明・コンセントの電力は減少した一方で、熱源の消費電力量は約680MWh/年増加した。2020年度はコロナ禍のため最大在館者数が大幅に減少したこともあり、2019年度に比べて全体で約25%消費電力量が減少した。照明・コンセント用途におけるベース電力量は、各年度とも同用途全体の消費電力量の半分以上を占める結果となった。また、熱源のベース電力が占める割合は各年度全体の0.69%、1.50%、2.12%であり、全体への影響は小さいことが分かった。

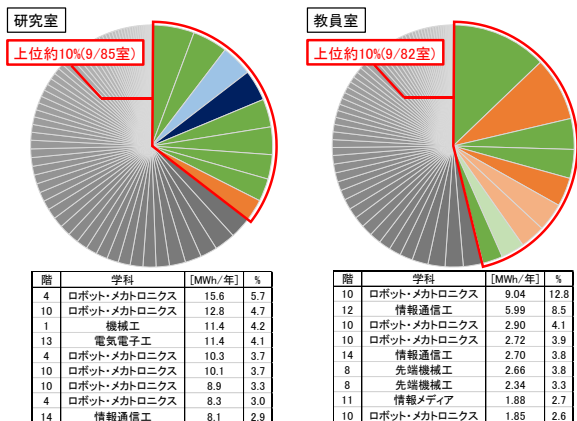


図-19 1号館研究室・教員室用途ベース電力量

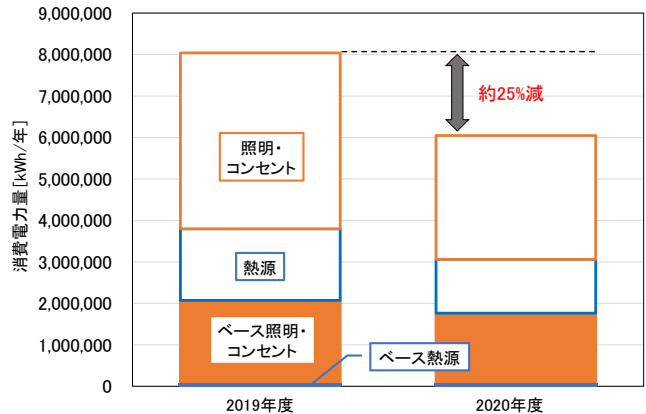


図-20 熱源、照明・コンセントベース電力量

5. まとめ

本稿では主に新型コロナウイルス感染症対策と東日本大震災といった社会情勢の変化を取り上げて、主にエネルギーや空調負荷の観点からその変動を BEMS データにより可視化した。一方で、社会情勢の変化は感染症や震災だけではなく、図-21 に示すように働き方改革による運用時間短縮や、テレワーク定着によるテナント数変動など、設計時の意図を逸脱した建物運用が建物のライフサイクルの中で発生する。設計時に想定した建物運用方法が変化し、建築設備側にその「ツケ」が回ってきたときにどのように対応すべきか、またどのような対策を設計・計画時に講じておくべきかについてはおろそかにしてはならない事項であり、設備設計者と施設運用・管理者の情報交換を密にすることを前提として、建物のライフサイクルを勘案した設備が構築されることが望まれる。

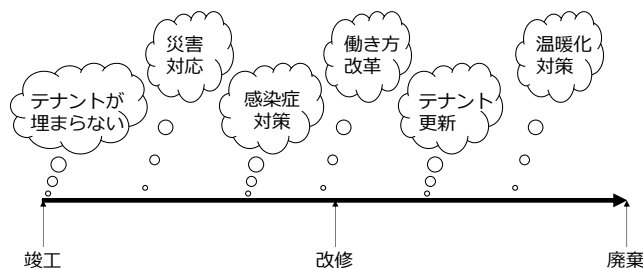


図-21 ライフサイクルの中で建築設備に求められる対応例

<参考文献>

- 1) 佐々木・横田・百田ら：新型コロナウイルス禍におけるオフィスビルのエネルギー消費実態に関する研究（第1報）空調機の運用変更が冷暖房負荷と室内環境に及ぼす影響 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集 2021年9月
- 2) 横田・佐々木・百田ら：新型コロナウイルス禍におけるオフィスビルのエネルギー消費実態に関する研究（第2報）執務者の行動変化がエネルギー・水消費量に及ぼす影響 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集 2021年9月
- 3) 三崎・高瀬・百田ら：新型コロナウイルス感染症対策が商業施設の熱需要と熱源システム効率に与える影響に関する 2020年度の年間評価 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集 2021年9月
- 4) 大川・百田ら：東京電機大学東京千住キャンパスの省 CO2 実現に向けた取組み その 35 キャンパス全体の消費電力量の推移およびベース電力の実態把握 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集 2022年9月（発表予定）