

# 設備設計の関連知識のストーリー化による 建築設備の導入授業の試み

飯野 秋成<sup>\*1</sup>

## 1. はじめに

大学の建築系のカリキュラムには、空気調和設備、給排水衛生設備、電気設備等のしくみと設備設計の基本を学ぶ「建築設備」という科目がある。卒業後直ちに一級および二級建築士受験をめざす学生諸君の必須科目で、一般に学部3年に位置づけられる<sup>注1)</sup>。

建築設備の授業を通じて学生諸君が記憶すべき内容は、建物の用途や規模によって設備設計に求められる知識や勘所が大きく異なるなどのことにより、必然的に広範囲である。また、学生がイメージする「建築学」の内容からはやや遠い、冷凍機やボイラーのしくみやモーターのしくみなどの機械工学のパート、さらには、地球環境問題やエネルギー問題を掘り下げるパートも含まれている。全15回をテキストの1ページ目から解説していく形式の座学講義が一般的だが、この方法では建築意匠を志向する学生などには初回授業からとつきにくさの極みにもなる。

筆者はこれまで、①初回授業から空調、給排水、電気設備の全範囲の基本事項を網羅しながらフレームワークを意識させる、②記述演習を繰り返しながら設備設計の方針を説明できるようにする、③「建築計画学」や「建築環境工学」などの既修得科目の内容も積極的に取り込む、という方針のもと、設備設計の知識をストーリー化した演習方法を継続してきた<sup>注2)</sup>。本稿では、その教育効果の一端を紹介しながら、当授業をさらに発展させるべき方向性を議論してみたいと思う。

## 2. 建築計画の知識を活用した設備設計のための建物のボリュームの推算

多様な建物に対応できる設備を構想できるようにするための基礎力を涵養する観点から、設備を学ぶ初期段階において、一般的と考えられるオフィスビルの設備構想の演習は欠かせない。私は、全15回の授業の前半3～4回目までは、次のような演習問題に時間を区切って取り組ませている(表1)。

【例題】「敷地40m×40mの敷地に、延床面積3,000m<sup>2</sup>程

表1 「建築設備」の初回授業に提示する設問の例

敷地40m×40mの敷地に、延床面積3,000m <sup>2</sup> 程度の自社ビルを建てるプロジェクトがあるとす。あなたは、意匠設計と設備設計を担当することとなった。	
建物のボリューム算定	電気設備
①執務室の面積を推算せよ ②従業員数を推算せよ ③建築面積を推算せよ ④建物の階数を推算せよ	⑦変圧器容量と契約電力を推算せよ ⑧エレベーターの台数を推算せよ ⑨執務室の照明器具の台数を推算せよ
給排水衛生設備	空調設備
⑤飲料水受水槽の貯水量を推算せよ ⑥各階の便所の便器数を推算せよ	⑩空調設備の設計方針を述べよ ⑪蓄熱空調システムとコージェネレーションシステムのどちらを採用するのが望ましいと考えられるか

度の自社ビルを建てるプロジェクトがあるとす。あなたは、意匠設計と設備設計を担当することとなった。次の①～⑪の各設問に解答しながら、建物および設備を具体化せよ。」

授業開始時に、A3判の裏表に各設問と解答欄を印刷した演習用紙を配布する。テキストやWebなどを自由に参照させながら図や文章で埋めさせていくことによって、意匠設計の基礎資料かつ設備設計の方針が授業時間内におおよそ定まる。一定時間(概ね60分程度)の演習ののち、模範解答を解説するスタイルで授業を進めている。

設備設計に入る前に、まず建物のボリュームをざっくりつかんでしまう必要がある。オフィスビルの建築設備は、各階の床面積や室容積、従業員数などで規定されるものが多いからである。そして、学生諸君が学部2年次に履修済みの「建築計画学」の知識を動員することにより、解答導出の方向性がおおよそ見えてくる。

### ①「執務室の面積を推算せよ」

オフィスビルのレンタル比に注目することが出発点である。延床面積に対する執務室面積の割合を示す値であり、全国統計では概ね70%程度となる<sup>1)</sup>。この場合、30%は廊下、階段、エレベーターホール、トイレなど。自社ビルのレンタル比は70%よりやや低めの場合もあり、テナントビルではむしろやや高めとするなどの違いもみられる。標準的な設備規模を見積もる観点からは70%を採用し、執務室は $3,000 \times 0.7 = 2,100\text{m}^2$ でよいだろう。

### ②「従業員数(執務室の在室人数)を推算せよ」

これも全国統計によれば、従業員一人当たりの占有面積は8～12m<sup>2</sup>/人。もちろん会議室やコピー室などの共有スペースを全て均した値である。10m<sup>2</sup>/人とすれば、

\*1 いいの あきなる 新潟工科大学工学部工学科 教授  
〒945-1195 新潟県柏崎市藤橋1719

2,100÷10=210人。男女比は業種業態によって異なるが、ここでは各々105人として先に進める。

### ③「建築面積（基準階の面積）を推算せよ」

これも学生諸君がすでに学んでいるはずの「建築構造」の基礎知識から発展させて、鉄筋コンクリート造の7mスパンの柱割を想定してみる。40m×40mの敷地であれば、最大5スパン（35m）までが可能。ただし、敷地いっぱいには建設せずに、駐車場や憩いのスペースなどを設けることを意識するなら、3～4スパン程度に抑えておくことになるだろう。例えば4スパン（28m）四方なら、建築面積（＝基準階面積）は28×28=784m<sup>2</sup>。このとき建ぺい率は50%弱となる。

### ④「建物の階数を推算せよ」

延床面積と基準階面積から、3,000÷784=3.8。地上4階建ての建物が想定される。さらに階高（かいだか）3.5m程度とおけば、建物の高さは4×3.5=14m。

この段階で、20m超の建築物に必要とされる避雷（ひらい）設備や、31m超の建物に必要とされる非常用エレベーターなどは必要ないことなど、外観に影響する設備のヒントが見えてくる。予想される建物のボリューム推算にはバリエーションもあるが、このような平均的な建物のボリューム推算の感覚を持つことは、建築設備技術者には必要なことと思う。

設計製図のスケッチ演習を思い起こさせる意味で、「以上の検討に基づき、建物の外観スケッチを描け」という設問に取り組みさせるのも面白い。図1は「階数」までを求めさせたときの外観スケッチの例であるが、意外にも、建物のファサード<sup>注3)</sup>の間口と高さの比率がきちんと描けない学生もいる。「高さ」の算出まで丁寧に誘導しないと「ビルディングは縦長」という思い込みが先行する。一方で、基準階の室内レイアウトや執務室のインテリアをイメージさせたときに「2方向避難」、「偏心（へんしん）コア」<sup>注4)</sup>、「片側採光」などのキーワードに気づくなら上等であろう。

## 3. オフィスビルの設備設計のストーリーの概観

### 3-1 給排水衛生設備

給排水衛生設備の設備設計の要素のうち、建物の規模等に直結する「飲料水受水槽の貯水量」と「トイレの便器の数」に注目してみる。

### ⑤「飲料水受水槽の貯水量を推算せよ」

事務所ビルの一日の使用水量は、全国統計によれば概ね100L/(人・日)<sup>2)</sup>。すなわち、210×100=21,000L/日(=21m<sup>3</sup>/日=21t/日)使用することになる。受水槽には0.5日分の貯水が基本であり、約10.5t程度が常時貯水される<sup>注5)</sup>。

なお、受水槽からポンプを経由して直接蛇口に給水する「ポンプ直送方式」以外にも、一度屋上の「高置水槽

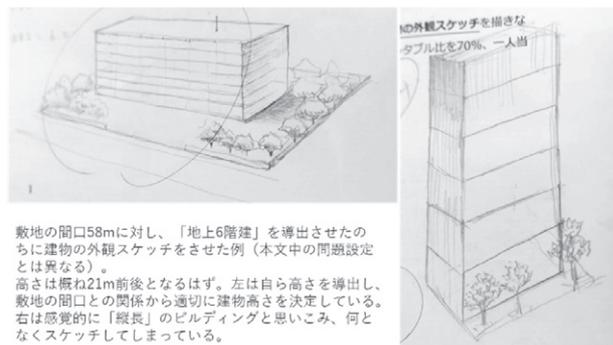


図1 学生による建物の外観スケッチの解答例

（こうちすいそう）」に受水槽の水を一部送って貯水しておき、重力で蛇口まで落とす「高置水槽方式」もポピュラーである。このときは、高置水槽には0.1日分（すなわち2.1t）の貯水がなされる。

なお、計算問題の後に、「高置水槽方式を採用する場合に留意すべき点を簡潔に述べよ」と入れておくのもよい。正答はいくつか考えられるが、「2か所貯水」することで「水が傷みやすい（＝頻繁なメンテナンスが必要）」という模範解答を、建築士の学科試験受験を標ぼうする学生諸君にはぜひ期待したいところである。

### ⑥「各階の便所の便器数を推算せよ」

オフィスビルの便器数は、男子大便器は60人に1個、男子小便器は30人に1個、女子便器は20人に1個あれば、重大な待ち行列は発生しないとされる。この推算方法によれば、男大：105人÷60人/個≒2個、男小：105人÷30人/個≒4個、女：105人÷20人/個≒6個となる。

ただし、4階建の各階に執務室があるなら、男子大便器なら各階1個、全館に4個は欲しい。計算結果をあくまで目安と考え、適宜増やす方向で考えるとよい。いずれにせよ、かなり雑ばくな問題設定にもかかわらず、トイレの基準階平面図が描けそうなほどの情報を芋づる式に引き出せる、という事実は、なかなか興味深い。

## 3-2 電気設備

昇降機、照明、避雷、OA機器やコンピューター、ネットワーク機器、非常用電源などの広範な設備機器を含む。初学者向けには、建物規模に密接する変圧器容量、エレベーターの台数、照明器具の台数あたりに着目させるのがよいだろう。

### ⑦「変圧器容量と契約電力を推算せよ」

ビルディングの電力供給の系統には、「照明・コンセント系統」（100Vまたは200V）と「動力系統」（210～415V）の2つの系統がある。前者は在館者が直接利用する系統で、後者は空調用のファンや送水用のポンプへの電力供給する系統である。全国平均では、延床面積1m<sup>2</sup>あたり、それぞれ最大約50W程度と約80W程度である<sup>2)</sup>。これらの原単位の知識を用いれば、照明・コンセント系統50×3,000=150kW、動力系統80×3,000=240kWと推算が可能とな

る。トータル390kWが変圧器容量と見積もられる<sup>注6)</sup>。

電力会社との契約電力については、設備容量の概ね2分の1程度とすることが多い。390kW×0.5=195kW。これにより基本料金が決定されることになる。

#### ⑧ 「エレベーターの台数を推算せよ」

エレベーターの計画は、最も込み合う時間帯である出勤時のピーク5分間をスムーズにさばける台数を見積もることが原則。個々の建物の事情によるところもあるが、目安の台数の推算には**執務室2,500~3,500m<sup>2</sup>に1台**という経験則もしばしば用いられる。例題は執務室2,100m<sup>2</sup>であるから、1台設ければ十分。また当然のことながら、高層階用、低層階用などに分ける方式（コンベンショナルゾーニング方式）である必要もない<sup>注7)</sup>。

なお、既に述べた通り、火災時に消防隊が使用する非常用エレベーターは、高さ31m超の建物に必要である。はしご車が届かない部分をサポートするという意味であるが、この例題の建物には必要ではない。

#### ⑨ 「執務室の照明器具の台数を推算せよ」

一般的な蛍光灯を用いるとすれば、概ね2~3m<sup>2</sup>に1本程度で十分な光量（机上面照度）が得られる<sup>注8)</sup>。執務室2,100÷2.5=840本。2本一組の照明器具であれば、全館で420台が、空調吹き出し口などの取り合いを考慮しながら天井に整列配置される。「オフィスビル」を題材とした設計製図の授業などでは、執務室のインテリアパースに感覚的に照明配置を描きこむ学生も多いが、適切な照明器具数を意識すれば、天井の設えに、よりリアリティが生まれる。

さらに、「照明による消費電力の削減を徹底したい。考えられる照明制御の手法をいくつか挙げよ」という問いを加えれば、学生諸君はWeb検索などによりすぐに「初期照度補正制御」（しょきしょうどほせいせいぎょ）や「昼光連動制御」（ちゅうこうれんどうせいぎょ）<sup>注9)</sup>などのキーワードにたどり着けるだろう。

### 3-3 空気調和設備

#### ⑩ 「この建物の空気調和設備の設計方針を述べよ」

空気調和設備は、中央熱源方式（以下、中央式）か、個別熱源方式（同、個別式）のどちらを選択するかを考えるとところからスタートする。

中央式では、冷温水をつくる冷凍機とボイラーを熱源機械室（ねつげんきかいしつ）に置き、冷温水配管を通じて全館に冷温水を届ける。冷温水を受け取った空調機（AHU）は、その熱を空気に受け渡し、その空気を天井裏のダクトを通じて吹出口から吹く。あわせて、窓際ややシビリアな温熱環境を制御するため、窓際に設置したファンコイルユニット（FCU）の中に直接冷温水配管を引き込み、冷風や温風を吹く方法（**ダクト併用ファンコイルユニット方式**）もポピュラーである。

個別式では、室機1台に対して複数台の室内機をフロンガス配管する方式（**ビルマルチ方式**）が候補となる。テナントビルに用いられることが多いのは、熱源機械室が不要で、テナントごとにエアコンの冷暖房モードや運転時間が自由、かつ、テナントごとに電気料金を負担してもらえばよい、など管理上のメリットが大きいことによる。

例題は「自社ビル」とあるので、中央式を採用して、熱源機械室を常時モニタリングする専門技術者を置き、全館の省エネを徹底する、というのが模範解答だろう。もともと、近年は自社ビルでもビルマルチの採用例は多い。施工が容易で、技術革新によるエアコンの成績係数（COP<sup>注10)</sup>）の向上も著しく、また地震などの大規模災害時にも電気の復旧は早い、などのことによる。よほどの大空間の空調でない限り「迷ったらビルマルチ」で正解という考え方もある。ただ、近年の我が国の電力需要を意識すれば、全ての建物の空調を電気で賄おうとすることがはたして正解か、は議論の余地もある。このようなやや大局的な視点は、授業でぜひ補足コメントしておきたいところと思う。

ここまでの解答には、建物規模の算定結果と直結する要素はない。しかし、例えば会議室などの特定の室に注目させて、室容積や在室人数、熱負荷等を与条件として「空調機の送風量」、「必要換気量」、「必要加湿量・除湿量」などを計算させる、といった発展問題に昇華させることもできる。このような「建築環境工学」の既習内容と密接にリンクさせた問いを、あくまで学生諸君の様子をみながらであるが、投げかけることもある。

### 4. 省エネ技術の導入メリットにフォーカス

「蓄熱（ちくねつ）空調システム」と「コージェネレーションシステム」の2つの省エネ技術を、設備学習の初期段階から二項対立的にとらえておくのも悪くない。

#### ⑪ 「蓄熱空調システムとコージェネレーションシステムのどちらを採用するのが望ましいと考えられるか」

いずれも環境負荷削減の観点から比較よく用いられる技術である。結果的には、建物用途が決まればどちらがふさわしいかはほぼ決まる<sup>注11)</sup>。

**蓄熱空調システム**は、冷温水を夜間に蓄えておき、翌日朝から全館に循環させることで冷暖房を実現する。夜間電力を活用でき、また夜間は日射の影響も外気温変動も小さいため夜間を通じて安定的かつ効率よく熱源機器を運転できる。必然的に昼間を中心に使用する建物に採用されるので、例題のオフィスビルの他に学校、ショッピングセンター、図書館などの用途にも適している。

**コージェネレーションシステム**は、発電機（主に内燃機関のエンジン）を駆動させて自家発電を行うと同時に、エンジンからの排熱を利用して給湯用の温水や蒸気を生

成する。温水や蒸気の需要が多い総合病院やホテルなどに多用される技術である。

このように、建物用途が与条件で明確であれば「どちらがよいか」については自ずと解答が導かれる。ただし、近年は排熱を取り込んで冷温水を作ることのできる排熱投入型の吸収式冷温水発生器（ジェネリンク）の普及も進む。空調システムとの常時連携が図れるため、給湯の需要が少ない建物にもコージェネレーションシステムの採用例は増えている。この観点からは、どちらを採用しても、あるいは両方採用しても、正解としてよい。

2つの省エネ技術の用語に慣れてきた段階で、「採用した手法の導入にあたり留意すべき点を述べよ」という設問を加えても良い。蓄熱空調システムは、夜間の冷凍機の積極的運転が騒音の問題を生じる場合があるし、コージェネレーションシステムは、四六時中のエンジン音のほか大気汚染への配慮も必要になってくる。これらが必ずしも手放して導入できる技術でもないことへの理解も進む。このような設問を設ける場合には、演習問題の冒頭にあらかじめ「住宅地近郊の敷地」であることを明示しておくことなどにより、解答をより適切に誘導できるだろう。

## 5. まとめ

本稿では、筆者の勤務する大学建築系のカリキュラムに位置づけられている「建築設備」の初回～4回目に実施している演習授業のエッセンスを紹介した。

例えば、与条件を、「延床面積」ではなく「容積率の上限」としたり「従業員数」としたりしても、計算のロジック自体は変わらない。初回授業から数回目までバリエーションを加えながら演習を繰り返すと、学生諸君の頭の中で専門用語の意味の理解も進み、設備設計の見通しがよくなっていく。スケッチまで描かせれば、意匠を志す学生などから「エスキース<sup>注12)</sup>をやり切った」と感じる学生も出てくる。

演習にある程度慣れてからの中盤以降は、オフィス以外の用途の建物の設備設計の演習を進めている。そこでは、消防・防災関係の問いを盛り込んだり、「建築計画学」や「建築環境工学」の込み入った問いを入れたりしながら、過去に学んだ知識を復習させる機会ともしている。その工夫と効果については、また機会を改めて紹介してみたい。

## 参考文献

- 1) (一社)日本ビルディング協会連合会；ビル実態調査平成28年度全国版, p.26, 2016
- 2) 建築設備技術者協会；建築設備士2019年12月号「建築設備情報年鑑2019」, p.68 (電気) およびp.93 (給水量), 2019.12

- 3) 飯野秋成；図とキーワードで学ぶ建築設備 第2版第2刷, p.112, 学芸出版社 (2019)

## 注

- 1) このほか「建築設備士」の資格試験は、工学部の建築系以外の卒業生（機械系、情報系出身者など）も受験でき、取得後の実務経験によっては一級建築士試験の受験にも道が開かれる。本学では建築系以外の学生も履修しやすいようカリキュラム上配慮している。
- 2) 本稿は参考文献<sup>3)</sup>掲載の内容に基づき、建築学が専門ではない方向けの総説として書き下ろした。
- 3) 建物の正面からみた外観デザインのこと。
- 4) 廊下や階段室などをまとめてコアと称する。コアを北側に寄せるなどにより、重心が中央付近ではないビルの平面計画を偏心コアといい、中規模ビルに採用例が多い。なお大規模ビルは「センターコア」とするなどにより構造的に安定させることが多い。
- 5) 近年の節水の徹底や雨水利用の普及等を背景に、飲料水使用量100L/(人・日)から導かれる0.5日分の貯水量はやや過大という見方もできる(参考文献<sup>2)</sup>)。
- 6) 実際には、照明・コンセント系統用の単相変圧器と動力系統用の三相変圧器がそれぞれ別個に設置される。さらに、異なる容量の変圧器を複数台組み合わせる場合などにも緻密な配慮が必要となる。
- 7) 1つのエレベーターかごが停止できるフロア数(サービスフロア数)は、待ち時間を考慮して15フロア程度までとされている。
- 8) 光束法(こうそくほう)とよばれる理論的計算から導かれる。近年はLED照明の導入が進んでいるが、その必要台数の推算にも光束法は有効である。
- 9) 初期照度補正制御は、新品の蛍光灯の明るすぎる状況を回避するため使用開始後間もない期間の電力を自動抑制する制御。昼光連動制御は、日中の昼光を効率的に取り込んでいる状況で不必要な照明を自動でオフにしたり光量を落としたりする制御。
- 10) 冷房による室内からの除去熱量、あるいは暖房による室内への投入熱量が、消費電力量の何倍であるかを示す。エアコンにより幅はあるが概ね約5.0前後で、冷房時より暖房時の方がやや大きめの値となる。
- 11) 建築設備士の二次試験(設備設計の実技試験)の3か月ほど前に、「○○に建つ図書館」、「○○に建つホテル」のように、出題対象の建物用途が公表される。受験対策団体の講習会資料等によれば、蓄熱空調システムとコージェネレーションシステムのどちらが出題対象となるかを受験者に暗に示し、事前対策をさせようとする意図を含むとされる。
- 12) 元は「素描」の意味であるが、建築分野では、建物の外観や内観等の「初期段階のデザイン作業」をいう。