

連携記事

データセンターに適用される 主な建築・設備技術

Major Technologies of Building and Facilities Applied to Data Centers

大谷淳一

Junichi Otani

(株) 大谷技術士事務所
代表取締役

1 はじめに

様々な企業活動や種々の社会的サービスから個々人の私生活まで、世の中のあらゆる活動のほとんどがITに支えられていると言っても過言ではなくなっており、その途切れない稼働を前提として社会が成り立っている。特に2020年に入ってから世界的なCOVID-19感染症の拡がりにより、テレワークやネット会議を余儀なくされた方々も多数いる中で、その前提としてのネットワークの接続性や各種のシステムサービスのアクセス性・使い勝手など、種々の恩恵や制約を如実に実感された方も多いのではないだろうか。

それを支えるITシステムの稼働要件として最も基本的なものは、「いつでも必要なサービスが使えること」すなわち可用性が挙げられる。接続できなかったり突然画面の反応がなくなったりしたときの困惑は皆多かれ少なかれ経験されていることと思う。その原因は様々ではあるものの、根底には「何があっても停まらないITシステムの安定稼働」があることは論を俟たない。それを実現する物理的な建物と設備が、データセンターである。グラフ記事にあるように、この重要性和需要は急激に伸びており、世間的な存在感が高まり、昨今では種々のメディアやSNSなどを賑わしている。しかしながら、セキュリティ上の要件なども絡むことから、一般的にはその建物や内容はあまり知られておらず一般公開されることもあまりない。そのため、存在は知られながら中身を知る機会はなかなかない、というのが多くの方々の状況ではないだろうか。

そこで、データセンターとは何かを紹介しているグラフ記事を受けて、本稿では、データセンターに関連する主要な建築および設備技術の中から、電源構成、建築構造、雷害対策の3点に絞ってその概要を紹介する。

2 データセンターの電源設備

2.1 電源設備の重要性

ITは電気で動いている。当たり前の事実ではあるものの、では「なぜ電気で動いているのか」と問われた際に上手く答えられるだろうか。難しい話ではなく、どんな情報もすべて1と0に置き換えただけで(=デジタル化)、これを電気のONまたはOFFで表現し(=ビット)、これらどうしの関係を半導体素子で処理しているのが今の情報処理の原理である。すなわち、電気が失われた途端にすべてのビットはOFFつまり0になってしまい、情報が失われる。一瞬たりとも電気を途切れさせてはいけないのがITシステム安定稼働の最も基本的で重要な要件となる所以である。単に停電しないだけではもちろん済まされず、IT機器の安定稼働のためにはそれが要求する電圧や周波数の変動許容範囲なども満たさなければならぬ。

一方で、電源設備は定期的に点検しなければならない。日本では法律で定められているため「法定点検」と呼ばれることが多い。読者の皆様のオフィスなどでも年に一度どこかの週末あたりで実施されているはずだが、まさにそのことである。また電源設備を構成する各種機器類も、故障しないようにメーカーの推奨に従って予防的な保守つまり正常な稼働状態を保つための保守を定期的に行うことが求められる。電気は活きている状態で触れると死に至るので、保守・点検することとは停電を意味する。電気設備管理側からは、「何かをする=停電」が大前提である。

データセンターなのだから一瞬たりとも止められないITへの給電要件と、点検するなら停電が大前提の電気設備管理要件との、両方を実現しなければならない。これがデータセンターの電気設備における根源的な課題であり、その構成と運用を如何に実現するかがデータセンターのキーである。

2.2 データセンターにおける電源設備の全体像

前項で述べた電気設備要件を満たすために構成される、電源設備の典型的な例を図1に示す。

基本的な構成は「二重化と冗長化」である。前項で述べた通り、稼働を止めずに保守点検しなければならない。もちろん万一のどこかの故障などでもITシステムへの給電は止まらないようにしなければならない。それら様々なケースを想定して設計し構築し試験を行い、それを活かすための各種運用手順と体制を確立し訓練を行い、無停電を実現する。図1をご覧いただければ、左右で切り分けて片方のみで運用できることがイメージいただけるかと思う。ということから、データセンターの法定点検は、最低でも2回に分けて実施する。

発電機母線がループ状になっているのは、この母線やそれに連なる発電機のどの一部分が点検中でも、停電時にはN台(Need: 必要台数)が稼働して給電できるようにする工夫の一例である。この接続形態は様々ある。

2.3 受電

日本の電力会社の供給メニューでは、2,000kW以上の契約電力の場合は22kVや66kVといった特別高圧での給電が基本となる。詳細は省くが、従来型のハウジングサービスのデータセンターとしては、おおよそ300ラック程度、建物床面積にして約2000m²以上が、特別高圧受電となる目安である。

近年急増しているメガクラウド向け大型データセンターでは、データセンター1棟で数十MWを要するため、引き込みには事前の電力会社との入念な協議が必須であり、時間もか

かる。規模としては製鉄所や石油化学プラントに匹敵する電力を、1棟で消費するわけである。

2.4 無停電のための設備

停電に備えての電源は、2種類を組み合わせる用いる。

電力会社の停電に備えるためには、大電力を長時間にわたり安定的に供給でき、その運転やエネルギー源の補給も比較的容易であることが求められる。典型的な解としては、現在の技術では内燃機関の発電機が相応しい。世界的にはディーゼルエンジンの一択だが、日本は幸いなことに優秀なガスタービンエンジンを製造するメーカーが国内に複数あり、コンパクトで大出力なガスタービンエンジンが選ばれることが多い。騒音が高音域で消音が容易というのも、狭い土地柄には相応しい。起動渋滞も少ない。

ただし、停電検知してから起動するため、電圧確立と同期投入までに1~2分程度かかってしまう。それを待っている間は、ITシステムはとうにダウンしてしまうので、その間は無瞬断で給電可能な、電池を内蔵したUPS (Uninterruptible Power System: 無停電電源装置) を備え、発電機給電開始までを支える。なおかつこの内部構成としては、一度整流器で交流を直流にしてから制御されたインバータで再度交流に変換されるので、一定の電圧と一定の周波数に制御された安定的な電源の供給が可能となる。この面に着目すれば、CVCF (Constant Voltage Constant Frequency) という呼称になる。途中で一度直流になるので、そこに電池を繋いでおくことで、通常は充電され、停電時は無瞬断で放電されて結果的に

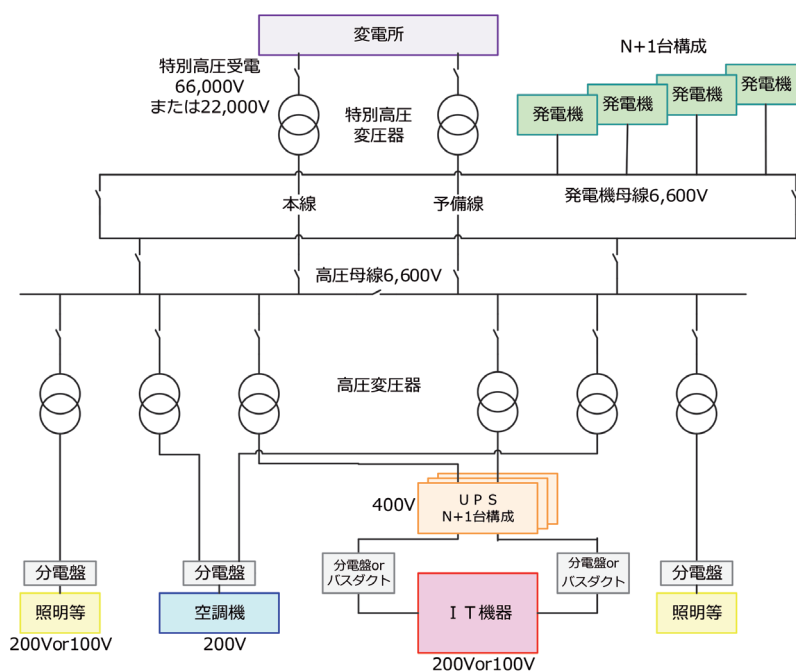


図1 データセンターの電源設備構成の例 (Online version in color.)

無停電になる。こちらの機能を言えばUPSとなるのである。

電池は即応性が高く構成もシンプルではあるものの、充放電可能な容量に比して価格やサイズ・重量が大きく、また一度放電すると再充電には時間がかかるため、長時間停電への主要な電源とはなり得ない。あくまで発電機給電までのつなぎ役として使われる。

空調への給電は、従来は停電時には一度停止し、発電機給電が開始されて再稼働するのが一般的である。熱は、ある程度はサーバ室内の空気でするからである。しかし最近の一部のIT機器が大型化・高密度化しており、その発熱も大きい。そのため、停電時のほんの数分間の空調停止でも大きな温度上昇を招いてしまうことがある。これに備えて、該当するエリアの空調設備をUPSで無停電とする実装が増えてきている。

3 データセンター建物における構造上の特徴

3.1 構造上の要件

データセンターを建物構造から見たときに特徴的なのは、重耐荷重と免震構造である。サーバラックに搭載されるIT機器類は重量の面からも年々高密度化しており、それを設置するサーバラックの床耐荷重への要件は当然大きくなる傾向だが、一方で建築的にはそれは当初の構造設計でほぼ決まってしまう、後からの強化はまず不可能である。すなわち遠い将来を見越して設計しなければならないが、数十年先どころか10年先ですら、IT機器の物理的スペックの動向を見極めることはかなり難しい。余裕を持った設計をする以外に対処はない。

また、日本は地震大国であるため、それへの十全な備えも求められる。建築基準法で要求される耐震基準は当然であるが、それでは地震の揺れをそのまま被ってしまうので、揺れの加速度をある程度軽減する免震の仕組みが重要となってくる。これも基本的には建物全体に施すためには、建物の計画・設計時点で組み込んでおく必要がある。

3.2 重耐荷重

建築基準法によれば、事務室すなわちオフィス仕様では、床耐荷重の下限を $2,900\text{N/m}^2 \approx 300\text{kg/m}^2$ と定められているが、これではサーバラックを複数並べて設置するには不十分である。近年の平均的な設計では、サーバラック1ラックあたり、ラック自体と搭載するIT機器を合わせて1トン(=1,000kg)を上限と仮定し、底面のサイズとしてはやや小さめの幅600mm、奥行き1,100mmとすると、約 1.5トン/m^2 となる。これを、床構造に配慮することなく運用上の都合で配置することを可能とするべく、床耐荷重を 1.5トン/m^2 で設計する。

最近のメガクラウド向けなどの大型データセンターでは、

機器の物理的な収容効率をさらに高めるケースが多くなってきているため、 $2.0 \sim 2.5\text{トン/m}^2$ といった設計も行われている。いずれにしても、通常のオフィスのそれとは大きく異なっている。これに類する床耐荷重構造としては、むしろ倉庫建物がある。実際に倉庫を改装したデータセンターや、倉庫と併設のデータセンターもある。

また、フリーアクセスフロアと呼ばれる二重床構造を床スラブ上に構築することも多いが、サーバラックをこの上に設置固定する場合は、この二重床自体も大きな耐荷重が求められる。 $20,000\text{N/m}^2 (\approx 2\text{トン/m}^2)$ といった製品まである。

さらには、各種配線を二重床下に配置するにはあまりに大量になり作業性も悪く、床下を冷気供給とする場合はこれを妨げてしまうため、主にLANケーブルと光ファイバーから成る通信配線は天井から吊るケーブルラック等に搭載するケースが増えてきている。それに耐えうる吊下耐荷重も求められる。 200kg/m^2 程度は欲しいところである。

サーバラック以外でも、重耐荷重が求められるエリアは多数あり、数10トンある特高変圧器などが設置される受変電設備、同じく1基10数トン～数10トンにもなり得る非常用発電機、UPSの蓄電池など、いずれも同様に重耐荷重の設計が求められる。また、意外に思われるかもしれないが、大量の印刷業務を伴うデータセンターでは、その用紙を保管するエリアの耐荷重も大きくする必要がある。印刷用紙をぎっしり詰め込んだ段ボール箱を2m程度積むだけで、約 2トン/m^2 の耐荷重が必要となる。皆様のお手元に郵送される個人情報満載の各種郵便物は、情報セキュリティが高度に管理されたデータセンターで印刷発送されていることも多いのである。

なお、サーバラックの構造として特徴的なのは、重耐荷重の他に、大径間が求められる。サーバラックの中に立っている柱は極力なくしたい。これが1本あるか否かで、サーバラックの効率的な配置やそれに伴う冷気・暖気の流路整理に大きく影響する。

構造材としては、鉄骨造が基本となるが、鉄筋コンクリート造や、両者の組み合わせになることもある。

3.3 免震構造

一般的なIT機器における加速度の上限は、250galと言われている。元々は、振動に最も弱いハードディスクドライブ(HDD)の加速度上限から設定されている。近年はHDDからSSD(半導体メモリ)に置き換わりつつあるが、今でもHDDは多数使われている。また、HDDがない場合でも、IT機器の一般的上限としてこの値が通用している。そのため、データセンターの建物を設計する場合には、サーバラックのあるフロアの最大加速度が250gal以下になるように免震構造を設計することが基本となる。図2に、その応答特性の計算例を示す。

データセンター以外の用途を含む複合施設の場合は、建物の中間層で免震を装備することもあるが、一般的には建物全体を免震化する基礎免震とすることが多い。したがって、基礎杭の上に地下免震ピットを構築し、各杭上に免震装置を配置し、それに建物の柱を乗せていく、すなわち杭と柱の間に免震装置を挟むことで、地震時の揺れを軽減する構造とする。あわせて、地震の揺れのエネルギーを吸収するオイルダンパーや滑り支承などの各種装置を組み合わせることもある。

杭と柱の間に挿入し建物荷重を受ける主たる免震装置としては、日本では積層ゴムが多く用いられている。ゴムシートと鉄板を交互に重ねたもので、これにて地震時の大きな加速度を低減すなわち激しい揺れをゆっくりの揺れに変えることができる。図3に積層ゴム免震装置を示す。なお、積層ゴムが免震性能を発揮するためには、ある程度の荷重が必要となる。そのため、鉄骨造の柱をCFTすなわち内部をコンクリートで満たす鉄柱で構築することもある。

これとは別に、最近採用されるようになってきたものがある。球面滑り支承である。図4に示す。鉄製のスライダを2つの鉄製の球面で挟んだもので、滑る面に特殊な滑り材を貼り付けてあり、地震発生時にはここが滑ることで揺れを軽減する。これの最大の特徴は、揺れの応答がその上に搭載される荷重に左右されないという点にある。高校の物理で習うが、振り子の等時性の原理である。振り子の周期は重量に無関係

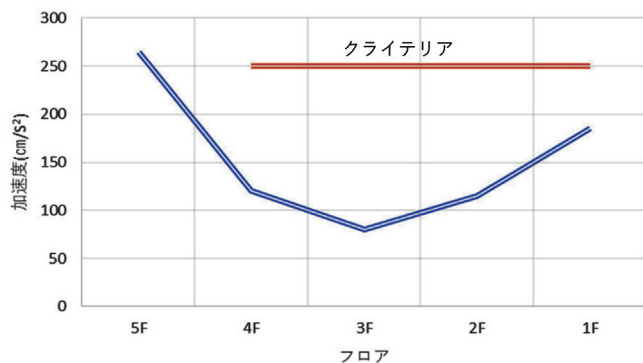


図2 免震応答特性の計算例 (Online version in color.)

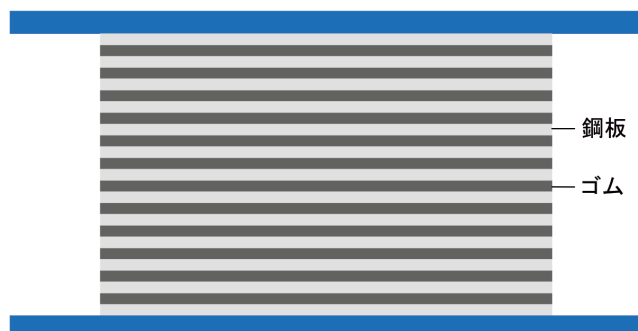


図3 積層ゴム免震装置 (Online version in color.)

にその長さで決まる。すなわちこの場合は、球面の半径のみで決まる。建物高さがあまり高くなく柱にかかる荷重が十分でない場合や、運用上の様々な都合でサーバラックなどの重量物が偏在する場合などは、積層ゴムでは十分な応答特性が得られ難いことがあり、この球面式すべり支承が解となる。積層ゴムに比して高さが抑えられるため、免震ピットを構築するための地下工事の掘削量を減らせるという側面もある。

なお、この免震を含む日本の地震対策技術やノウハウは非常に高度かつ普遍的であり、当然ながら世界に通用する。筆者が日本代表の一員として参画しているISOとIECの合同委員会 JTC1の中のSC39という、データセンター関連の各種規格を決める国際委員会において、データセンターの建物・設備の規格を検討するWorking Groupが発足した際に、日本のデータセンターの地震対策を紹介してほしいと依頼され、その場で日本データセンター協会 (JDCC) のファシリティスタンダード¹⁾をベースに一連の対策を紹介した。その際に、2011年3月11日に発生した東日本大震災でも停止したデータセンターは一つもなかったことを話したところ、ほとんどの委員が驚き、その結果として上記ファシリティスタンダードの地震に関する記述をベースに、TS (Technical Specification: 技術仕様書) が作成発行されることとなった。TS22237-30として発行準備が進んでいる。

3.4 その他の留意事情

データセンター建物として留意すべきその他の事項としては、十分な階高や、大型設備機器の追加と更新を可能とするルートの確保が挙げられる。

前述のように近年では大量の通信配線を収容するため、サーバラック上部にケーブルラックを複数段設置することが増えてきている。また、温湿度等の各種センサーや監視カメラ、高感度煙感知のサンプリング管やガス消火配管などが上部に種々配置される。さらにはサーバからの排熱を空調室内

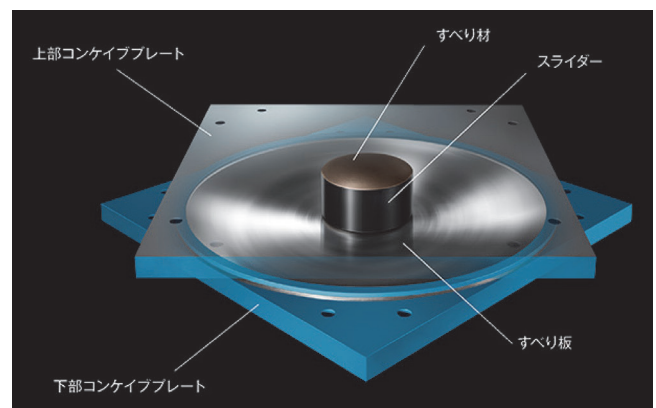


図4 球面式すべり支承 (「NS-SSB®」日鉄エンジニアリングホームページより) (Online version in color.)

機まで運ぶ暖気の通路も確保しなければならない。二重床構造も一般的である。これらを総合的に勘案すると、階高は最低でも5m以上、できれば6m程度は欲しいところである。

また、数十年の長期にわたる運用においては、大型設備機器の追加や更新などが発生するため、その搬出入のルートを確認しておくことも重要である。当然ながら当初の設計時点で考慮しておかなければならない。低地などで水害の恐れがある場合には、その際にも運用を継続するために重要設備は2階以上に設置することになる。これらを搬出入するにはエレベータは使えず、外壁に専用の扉を設けることが多い。搬出入に伴う構台やクレーン等の配置とそのため外構舗装の耐荷重も考慮しておく必要がある。

4 データセンターにおける雷害対策

4.1 雷害対策の重要性とサーバルーム

データセンターに限らず、雷害対策は建物設計の基本の一つではあるが、データセンターにおいてはさらにIT機器を雷害から保護するという、よりクリティカルな要件が発生する。したがって、雷害対策に関する各種規格を守ることが当然ながら、それ以上の施策を実装することが必要となる。

サーバルームにおいて多く実装されるのは、SRG (Signal Reference Grid：通信信号の等電位を保証する接地) と呼ばれる、二重床構造の柱脚どうしをメッシュ状に接続する専用のアースである。図5にその例を示す。これは雷害対策のみを目的に構築されるわけではなく、二重床およびそれに搭載



図5 SRGの例 (Online version in color.)

設置するサーバラックを通じて各IT機器のフレームを等電位化して通信を安定化させ、また各種ノイズや静電気を逃がすのが主たる目的である。そのため、この接地系統は他の各種接地系統とは独立したものとして構築する必要がある。なお、建物の最下部で他の接地系統と接続して等電位化する統合接地は行う。一方で、建物構造体の鉄骨や鉄筋とこのSRG系統とを、各階ごとにSPD (Surge Protective Device：避雷器) で接続しておき、万一の落雷時には建物とSRGが電氣的に一体化して等電位化し、雷電流の流入を防ぐようにする。

また、直撃雷ではなく、雷電流近傍に発生する電磁界の強く急激な変化によって誘発される、つまり雷電流から発生する電磁波を拾って発生する、誘導雷によるサージ電圧を逃がす必要がある。このため、分電盤内などにSPDを装着する。

屋外の架空線での配線は各種リスクがあるため可能な限り避けたいが、どうしても実装が必要な場合は、その屋内への引き込み箇所にSPDを装着し、雷サージの侵入を防ぐ。

4.2 データセンター建物としての雷害対策

前項で述べたように、当然ながら各種規格を遵守しての対策が必要となる。建物構造と関連する話題としては、回転球体法が挙げられる。以前は、落雷は上から来るという前提で、屋上に避雷針を立て、その頂点から60度(厳しい保護要件の場合は45度)の範囲が保護されるという設計であった。近年落雷に関する知見が進み、雷電流のギザギザ(前駆放電：ステップト・リーダとも言う)の最後の1ストロークはどの方向からも飛ぶことがわかってきている。これを、想定する保護レベルにも依るが、一般的には30mと仮定する。すなわち建物に接する半径30mの球面を描けば、それが接する箇所はすべて落雷を受ける可能性があるということになる。このようにして建物の側面などにも避雷措置を施す必要が出てきた。これを回転球体法と呼ぶ。図6にそのイメージを示す。一定間隔で壁面から避雷突針を突き出しておく方法や、壁面

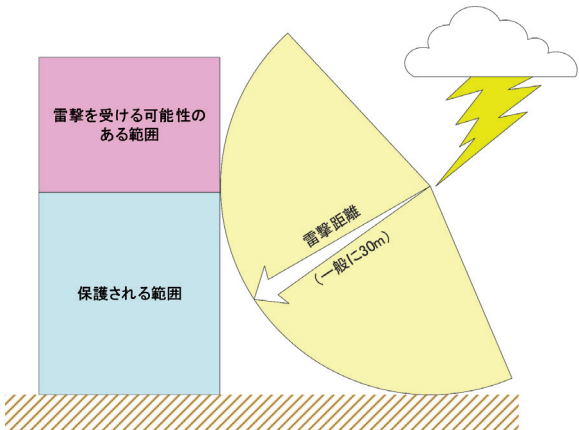


図6 回転球体法のイメージ (Online version in color.)

のどの場所でも落雷を受けられるようにしたプレキャスト構造などが用いられている。

なお、前章で紹介した免震装置は絶縁体であるため、建物の柱と地中の杭とを別途電氣的に接続する必要がある。地中に構築した現場打ちの杭はコンクリートに含まれる水分と鉄筋とでできた「良いアース」でもあるため、生かさなない手はない。そのため、免震装置が働いて下の大地側と上の建物側の揺れが異なっても切れることのないように、免震装置を大きく迂回する形で、杭の鉄筋と柱の鉄骨または鉄筋とをアース線で接続する。免震装置の実装をご覧になる機会があれば、これもあわせて確認されたい。

5 その他の主要な設備

グラフ記事で紹介されているとおり、空調設備も重要な設備の一つであり、本稿でご紹介した電源設備に並び称されることも多い。電気のON・OFFで情報処理する際に受け取ってしまう電力＝消費電力はすべて熱に変わるので、これを外部に排出しなければならない。一般的には冷却または空調と呼んでいるが、本質は排熱である。これにも多大な電力を消費するため、この冷却システムの高効率化とそのための技術開発および運用の最適化は、データセンター設備における最重要課題の一つである。また、IT機器自体も高密度・高発熱化の傾向にあるため、その対応も急務である。

データセンター内部で万一火災が発生した際には、強力な空調のエアフローで薄まる煙を感知する高感度の感知設備や、水や消火剤で汚損せずに消火するガス消火設備も重要である。

利用者からの通信アクセスができなければ存在価値がないITシステムには、それを実現する通信配線・外部回線も主要な設備である。これが大量に張り巡らされ、また頻繁な追加や更新が行われるため、その空間すなわち配線ルートの潤沢な確保が鍵となる。また、その配線経路の冗長化も求められる。

照明設備、設備監視制御システム、入退館・入退室の制御を行うセキュリティ設備や監視カメラ・赤外線センサーなどの侵入検知設備、といった各種設備も各々欠かせない重要な機能を実現している。

常態化するIT機器の搬出入や、各種設備機器の保守や更新、追加工事等において、エレベータは重要であり、その運用要件をよく勘案したエレベータ設備を設ける必要がある。ある意味では運用を大きく左右する。

これら多くの設備とそれを収容し支える建物・構造から成り立っているのが、データセンターである。

6 おわりに

電源設備と建物構造および雷害対策を中心に、データセンターの建物・設備を概観したが、もちろん本稿のみでは紹介しきれない多くのモノ・仕組み・運用で成り立っている。総合技術とも言われるが、筆者はその表現でも一面的でしかないと感じ、独自に「データセンターは総合力」と表現している。技術面だけではなく運用手順や財務や組織運営や営業や法務など、世の中の様々がぎゅっと詰まった、いわば「何でもあり」だと思っているし、実際にこれまで多くの経験をすることができた。携わっていて興味が尽きない。本稿でその一端をご理解いただければ幸いである。

皆様がお使いのスマートフォンにある様々なアプリアイコンの先に、それぞれのシステムが収められたデータセンターがあり、それらがすべてこのようなファシリティに守られて稼働し続けることで、いつでもどこでも誰でもが気軽に使える社会インフラとしてのITサービスが実現されている。もし機会があれば、ぜひ一度データセンターをご見学されることをお勧めしたい。やはり百聞は一見に如かずである。そしてそれを動かしている人たちの声をお聞きいただきたい。データセンターの何たるかを直に理解いただける最良の機会となるはずである。

参考文献

- 1) 日本データセンター協会, データセンター・ファシリティ・スタンダード (JDCC/FS-001) Ver.2.3, (2016).

(2021年12月6日受付)