

SR-0076
データセンターの構築・運用課題に関する調査報告書

第1版

2021年8月31日発行

一般社団法人
情報通信技術委員会

THE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY COMMITTEE

本書は、一般社団法人情報通信技術委員会が著作権を保有しています。
内容の一部又は全部を一般社団法人情報通信技術委員会の許諾を得ることなく複製、転載、改変、転用及びネットワーク上での送信、配布を行うことを禁止します。

目次

1. はじめに	5
1.1 スコープ	6
1.2 参照	6
1.3 略語	7
2. 電源	8
2.1 今後も伸び続けるデータセンター需要	8
2.2 北海道全域を襲ったブラックアウト	8
2.3 直流給電を採用しているさくらインターネットの石狩データセンター	9
2.4 直流給電技術による安全技術・安全設計	9
2.5 直流電圧 DC380V について	11
2.6 太陽光を直流のまま無制御でダイレクト接続	12
2.7 ブラックアウト時も動き続けた直流給電システム	12
2.8 自然エネルギーが一番に優先されるシステム	13
2.9 オープン・コンピュータ・プロジェクト (OCP)	13
2.10 データセンターをエネルギー核とした直流マイクログリッド	14
3. 冷却	16
3.1 データセンターは大量の電気を使う	16
3.2 データセンター省エネ指標 PUE	17
3.2.1 新指標 SpUE	21
3.3 電気代	23
3.4 省エネ技術	23
3.5 様々なデータセンター	24
3.6 サーバ寿命に関する排熱 (冷却)	26
3.7 給電による省エネ	28
3.8 様々な仮想化技術	29
3.8.1 サーバの仮想化とコンテナ化	29
3.8.2 仮想化が進むデータセンター	29
4. 配線	32
4.1 データセンター配線に関する課題	32
4.1.1 回線増による配線管理の煩雑化	32
4.1.2 人手による配線作業	33
4.2 配線課題解決の方向性	33
4.2.1 配線管理の効率化	33
4.2.2 配線作業の自動化	34
4.3 スイッチングアーキテクチャ	35
4.4 配線管理のフルオートメーション化に向けて	35
5. L1 保守[15]	37
5.1 手動検査の限界	37
5.2 BIM 情報の適用と課題	38
5.3 DCIM as a Service の適用と課題	39
6. 今後の課題	42
6.1 データセンターのリスク	42
6.2 目に見えるデータセンターのリスク	42
6.2.1 地震、活断層、津波、液状化	42
6.2.2 水害、ゲリラ豪雨	42
6.2.3 原発	43
6.2.4 台風、竜巻、落雷、噴火	43
6.2.5 危険物	44
6.2.6 空からの脅威	44

6.2.7 軍事基地、テロ	44
6.3 目に見えないデータセンターのリスク	44
6.3.1 設備ライフサイクルのリスク	45
6.3.2 大規模データセンター自体のリスク	45
6.3.3 空気品質のリスク	45
6.3.4 電磁波、EMPのリスク	46
6.3.5 設備セキュリティのリスク	47
6.3.6 ESGとサステナブル会計のリスク	47
6.3.7 COP21 批准によるリスク	48
6.3.8 EUタクソミーによるリスク	48
6.3.9 GDPR対策によるリスク	49
6.3.10 廃熱税によるリスク	49
6.3.11 デジタル課税によるリスク	49
6.4 災害・パンデミック時のBCP対策	49
7.今後の提案	50
7.1 エッジデータセンター	50
7.2 エッジデータセンターの使用目的	54
7.2.1 フォグ型エッジデータセンター	54
7.2.2 独立分散型エッジセンタ	54
Annex A 「データセンターの構築・運用課題に関する調査検討会」参加者一覧	56

1. はじめに

現在、5G のサービスは、日本では 2020 年の商用サービス開始を予定しており、2019 年よりプレサービスを実施しています。標準化活動に関しては、5G ではなく、それに続く Beyond 5G、さらに 2030 年を目指す 6G についての将来ネットワークに関する議論が活発化してきています。

その中で 5G の技術だけでなくネットワークの仮想化やデータスライシングなどの新たなネットワーク技術にも着目がされています。また、コアネットワークを構成するデータセンターは、ビッグデータ、人工知能、IoT(Internet of Things)、5G の進展とともに広く重要性が認識されることになりました。今のデジタル化を前提にした根本的なビジネス構造・社会構造のトランスフォーメーションを実現するための必須の構成要素となっています。

その結果、データセンターは、クラウド等のコアネットワークにおける巨大化だけではなく、5G 基地局のエッジに設置することへの対応も行うようになっていきます。

新たな技術としてのエッジコンピューティングは、コンピューティングとサービスの利用者の距離を縮め、エンドユーザーにサービスを提供するための帯域幅の要件を減らします。ストレージの管理に重点を置くエッジテクノロジーは、ネットワークを管理しやすくするだけでなく、ネットワーク間を跨るデータ要求する必要性を減らします。同時に、必要なデータを 5G 基地局に供給できるようになります。エッジコンピューティングがデータセンターに求める要件は、クラウドやストレージのセキュリティモデルの変化を求めています。

また、データセンターのコンピュータシステム群を稼働させるためには、空調、電力、躯体の堅牢性が必須となります。ITU においても地球環境問題を解決するために、“省エネルギー化”が必要であり ITU-T の SG5 において検討を進めています。特にデータセンターは世界の消費電力のうち 2%を占めており、早急な改善が求められています。省エネ化への対応などの課題をどのように解決するのか検討する必要があります。

そこで TTC では、ネットワークの中での重要性が増してきているデータセンターについて、5G の展開において何が問題なのか、現状の課題やこれからの在り方について、今後活動を強化すべき点など TTC としての対応方針を検討するために「データセンターの構築・運用課題に関する調査検討会」を設立しました。

本調査報告書は、2019 年 6 月から 2020 年 3 月までの当該活動をまとめたものです。

1.1 スコープ

本調査報告書は、本検討会が本年3月に纏めた2020年またそれ以降の5Gの展開に伴う、データセンターへの技術課題に対して、「データセンターの構築・運用課題に関する調査検討会」を設置して検討を実施しました。今後のデータセンターが取り組むべき課題を抽出すべくデータセンターの電源、温度、配線及ネットワーク仮想化の観点でそれぞれ分析し、今後の標準化活動等の方向性について考察するものであります。

1.2 参照

- [1] 引用元：IDC DataAge2025-The Digitization of the World
- [2] 引用元：<https://www.sbbit.jp/article/cont1/29832#&gid=null&pid=1>
- [3] 引用元：Facebook Henrico Data Center <https://www.facebook.com/HenricoDataCenter/>
- [4] 引用元：PUE 計測・計算方法に関するガイドライン
JDCC 日本データセンター協会 ES-002 Ver. 2.7 【ダイジェスト版】 2015年3月31日
- [5] 引用元：JEITA 発行パンフレット
- [6] 出典：篠原電機 高発熱時代のデータセンター構築の展望 2019
- [7] 出典：ミック経済研究所 データセンター市場と消費電力・省エネ対策の実態調査
【2012年度版】
- [8] 引用元：コルトテクノロジーサービス株式会社
Greater Tokyo Market: Hyperscale Breakdown 2020
- [9] 引用元：コルトテクノロジーサービス株式会社
Greater Osaka Market: Hyperscale Breakdown 2020
- [10] 出典：TGG (SqUE を用いたデータセンターのスペース効率化の改善シミュレーション)
- [11] 出典：さくらインターネット
<https://www.sakura.ad.jp/corporate/corp/datacenter.html#ishikari>
- [12] 出典：IDC フロンティア https://www.idcf.jp/datacenter/?bid=gtop_service_dc
- [13] 引用元：ニチコン株式会社 アルミニウム電解コンデンサの概要
<https://www.nichicon.co.jp/lib/aluminum.pdf>
- [14] 引用元：ヴィエムウェア株式会社資料 ネットワークの新時代へ 【抜粋】
- [15] 引用元：ヴィエムウェア株式会社資料 サーバ仮想化 【抜粋】
- [16] 引用元：華為技術日本株式会社資料 データセンターL1 保守運用における課題について
- [17] 出典：IDC#JP143160517(October 2017)
- [18] 出典：<https://ieiri-lab.jp/it/2018/05/ntt-data-center-big-ipd.html>
- [19] 引用元：NTT コミュニケーションズ <https://www.ntt.com/business/services/data-center/colocation/nexcenter/dcim.html>
- [20] 出典：福岡市総合ハザードマップ https://webmap.city.fukuoka.lg.jp/bousai/f_portal.html
- [21] 出典：<http://www.imart.co.jp/hazard-hazardmap-p-fujisan-funka-hazrad-map.html>
- [22] 出典：国土交通省 <https://www.mlit.go.jp/koku/haneda/action/>
- [23] 出典：航空自衛隊 <https://www.mod.go.jp/asdf/ashiya/kichishoukai/index.html>
- [24] 出典：ウシオ電機株式会社 HP より抜粋
(https://www.ushio.co.jp/jp/technology/glossary/material/attached_material_01.html)
- [25] 出典：気象庁及び防衛装備庁 HP より抜粋
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/radar/kaisetsu.html>
<https://www.mod.go.jp/atla/saiyou/gallery/sobihin.html>
- [26] 出典：General Services Administration 「FedRAMP Security Assessment Framework Version 2.1」
- [27] 出典：Global Sustainable Investment Review 2018
- [28] 出典：Apple 社環境 WEB サイト <https://www.apple.com/jp/environment/>
- [29] 出典：シスコシステムズ合同会社 HP
https://www.cisco.com/c/m/ja_jp/solutions/internet-of-things/iot-system-fog-computing.html

1.3 略語

略語	名称
AI	Artificial Intelligence
BCP	Business Continuity Plan：事業継続計画
BIM	Building Information Modeling
CUE	Carbon Usage Effectiveness：二酸化炭素（CO2）使用効率
DCIM	Data Center Infrastructure Management
DPPE	Datacenter Performance Per Energy
EMP	electromagnetic pulse：電磁パルス
ESG	環境（Environment）、社会（Social）、ガバナンス（Governance）の頭文字
FedRAMP	Federal Risk and Authorization Management Program：米国政府でのクラウドサービスの調達基準
FISC	The Center for Financial Industry Information Systems：金融情報システムセンター
GDPR	General Data Protection Regulation：EU一般データ保護規則
GPU	Graphics Processing Unit
HCHO	ホルムアルデヒド
HCI	Hyper-Converged Infrastructure：ハイパーコンバージド・インフラストラクチャ
HDLC	High level Data Link Control procedure：ハイレベルデータリンク制御手順
HPC	high performance computing：高性能計算
IEC	International Electrotechnical Commission：国際電気標準会議
IoT	Internet of Things
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunication Union：国際電気通信連合
JDCC	Japan Data Center Council：特定非営利活動法人日本データセンター協会
JEITA	Japan Electronics and Information Technology Industries Association：一般社団法人電子情報技術産業協会
MPLS	Multi-Protocol Label Switching：マルチプロトコルラベルスイッチング
NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
OCP	Open Compute Project
OCP	Open Compute Project
OSS	Open Source Software
PCI DSS	Payment Card Industry Data Security Standard
PDU	Power Distribution Unit：電源コンセント
PRI	Principles for Responsible Investment：責任投資原則
PUE	Power Usage Effectiveness：電力使用効率
RPD	Rack Power Density：IT・ストレージ・ネットワーク機器が消費する電力（kW）／ラック数（n）
SDN	Software-Defined Network
SG5	Study Group5：ITU-Tの環境、気候変動と循環経済を検討するStudy Group
SPD	Space Power Density：スペース電力密度
SpUE	Space Usage Effectiveness：スペース使用効率
TVOC	Total Volatile Organic Compounds：総揮発性有機化合物の総称
UPS	Uninterruptible Power Supply：無停電電源装置
VR	Virtual Reality
WUE	Water Usage Effectiveness：水使用効率

2. 電源

2.1 今後も伸び続けるデータセンター需要

インターネットが普及してから今日に至り、誰もが予想もつかなかった世界が実現しています。ITの世界では世界中でイノベーションが起きているため、数年先にどんな世界になるのか誰にも予想が付きません。しかし、スマホの普及やITの進化とともに我々の生活が便利で豊かになればなるほど、データ量が膨大に増え、高速処理はどんどん加速、「データセンター」の存在がこれからも益々重要となります。

このようなビックデータの高速処理時代がやってきて、私たちが日々生成利用するデータ量は莫大に増え続けています。2010年には2ゼタバイト（1ゼタは10の21乗）だった年間データ量が2025年には175ゼタバイトに増えると言われてしています。[1]

データセンターには、サーバ・ネットワークスイッチ・ストレージなどのIT機器が大量に設置されていて、データの処理・蓄積・送受信が頻繁に行われています。その使用電力量が世界中でどんどん増大し続けているのです。

例えば、農業の世界では人手不足や高齢化が深刻です。作物の発育状況や天候など、センサーを使って見える化を行い、ドローンを使用して水撒きや肥料の散布などを自動化する事で人件費や無駄な手間を省きながら、おいしい農産物を安定生産する事が可能となります。地域のブランド農産物をさらにおいしく、効率よく生産することで付加価値や差別化も期待できます。

ヘルスケアでは、日々の健康・運動・食事のデータなどを蓄積・AI分析、健康診断データとの連動など病気の事前予防や病気になりにくい体質作りが可能となっていきます。手術のシミュレーションや遠隔医療など、医療の発展は今後のVR技術で加速するかもしれません。医薬品の開発も大量データ処理によって加速するでしょう。

教育の世界では、5Gや6Gの高速無線技術の進化とその実現によって、大学の講義がいつでもどこでも聴講できるようになり、AI・VRを使って、学生の理解度に合わせてわかりやすい最適なプログラムやカリキュラムを作成する事もできます。自動翻訳の進化によっては世界中の学生達が多言語でリアルタイムにディスカッションする事もできるようになるでしょう。それらは大学のみならず生涯学習の利用としても進むことでしょう。

交通の分野では、自動運転や最適な交通システムが実現できれば、車がエッジコンピューティングとして機能する事になり、事故や渋滞が少ない快適な移動手段や運送業の無人化、エネルギーの自動運搬など応用分野は限りなく期待できます。

我々の生活は今後高齢化社会に向かう中で、安全で悲惨な事故を減らし、犯罪を未然に防ぎ、産業を地域で効率よく発展させて、誰もが健康で住みよい楽しいライフスタイルを求めています。

しかし、このように便利になればなる程、地球環境が破壊されています。エネルギー問題が深刻である事に世界中の人達が気づき始めているなかで、これからは自然エネルギーの利用や災害に強い設備を今まで以上に考え、取り組まなければなりません。データセンターが集中化（クラウド）と分散化（エッジ）の両面で進む中、データセンターをどうすべきなのかを今こそ考えていく必要があります。

2.2 北海道全域を襲ったブラックアウト

一昨年（2018年）9月6日、北海道胆振東部地区でマグニチュード6.7の地震が発生した。その影響で道内のほぼ全域がブラックアウトとなりました。北海道内は鉄道などの交通機関が停止、企業・工場・家庭における電気のライフラインが機能しなくなりました。釧路にはメガソーラー7,000戸分がありましたが出力は停止、設備の問題はありませんでしたが送電は再開されませんでした。

北海道には風力発電設備が国内の1割も集まり、太陽光と風力発電の合計電力は160万kWとなります。それらをフル稼働すれば道内の半分の電力を賄える電力量でありました。

しかし、地震後安全装置が働き、太陽光と風力の送電を停止せざるを得ませんでした。なぜなら、再生可能エネルギーは天候などで不安定なため、再びブラックアウトする可能性があったからです。

日本の電力品質は世界的にもかなり信頼性が高く日頃安定供給がなされているため、北海道のブラックアウトはとても衝撃的な出来事でありました。データセンターもその影響を受けました。社会を支えている IT インフラの重要設備であり、電力は停止できません。

北海道に大規模に構えているさくらインターネットの石狩データセンターでは、電力供給が遮断されたため、非常用発電機で運用を余儀なくされました。停電復旧するまでは非常用発電機の備蓄燃料だけが頼りでありました。

2.3 直流給電を採用しているさくらインターネットの石狩データセンター

さくらインターネットは、2011年に北海道石狩市にデータセンターを開設しました。

北海道という寒冷地に構えることで冷たい空気をデータセンターに取り入れる外気空調方式を採用し、データセンターで最も電気代のかかる空調コストを改善しています。この当時から PUE は 1.1 台を達成しています。2013年には電力効率の改善を主目的として電源設備の一部に高電圧直流給電方式が採用されました。(写真 2.3-1)

停電時、一般的なデータセンターの電源は、非常用発電機が動作するまでの間を交流 UPS のバッテリーで運用しています。バッテリーは直流電力のため、交流電力をいったん直流電力に変換したのち、もう一度交流電力に変換しています。

また、UPS は並列運転する事でノンストップ保守を実現していますが、機器の同期をとり、高速に切り替える必要があります。そのためノンストップ運用のデータセンターの電源としてはその複雑な仕組みが故障ポイントになり得ます。

高電圧直流給電システムは、AC/DC、DC/AC の変換段数を少なくし、シンプルにすることで高効率・高信頼性の電源を構成しています。

また、サーバから電源を排除してサーバラックに電源をまとめる集中電源方式を採用する事でトータルの電力効率と総合的な信頼性・保守性の向上を実現しています。



写真 2.3-1 石狩データセンターの直流給電システム

2.4 直流給電技術による安全技術・安全設計

安全電圧の定義については、国によって多少異なりますが、IEC ではピーク時 42.4V の交流電圧あるいは 70V を超える直流電圧を危険電圧と呼びます。自動車産業では、乗用車が 12V、トラックなどが 24V、工場の制御機器は 24V であり、安全な直流電圧が用いられています。

人の内部抵抗は乾燥状態で 2~5k Ω 、汗ばむと 800 Ω 、濡れると 0~300 Ω 程度であります。

家庭の交流 100V の場合、一般的に人の内部抵抗を 500 Ω (皮膚の接触抵抗や乾燥状態で変わる) とし、接触抵抗を 300 Ω とした場合、人体には 125mA (100V \div (500 Ω +300 Ω)) の電流が流れ、通電時間によっては人体に致命的な障害を起こす可能性があります。つまり、交流も直流も危険電圧以上の場合、ある通電時間以上の電流が流れ続けると、どちらも感電する恐れがあります。

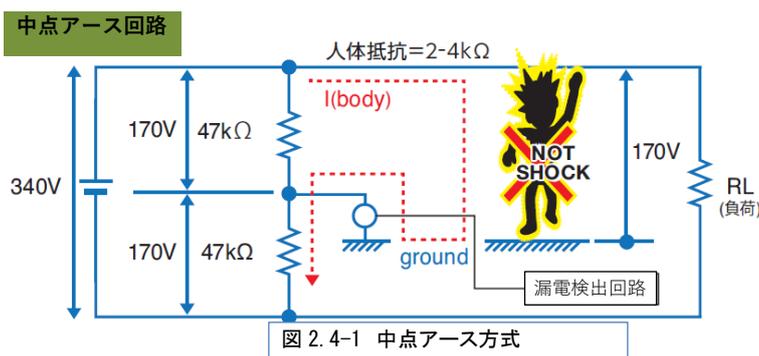
交流の場合は 50Hz または 60Hz を使用されているため、正弦波波形がゼロクロスします。危険電圧が直流の場合は、ゼロクロスもせず電流が流れ続けるため、さらに危険ではないかと懸念されます。これは、アークの発生についても同様です。

交流・直流問わず、危険電圧以上であるとアークが発生する可能性が高くなります。交流はゼロクロスするため、アークが発生しても一旦切れる可能性がありますが、危険電圧の直流の場合はアークが発生し続けてしまいます。

NTT グループでは、これらの 2 つの問題についてはすでに解決しています。

データセンターや通信ビルに使用する高電圧直流 (DC380V 定格) に対して、交流よりも安全なシステムに仕上げ、既に導入をしています。

1つ目の感電対策は「中点アース方式」による接地です。（図 2.4-1 参照）



$$I(\text{body}) = 6.7\text{mA} \quad \therefore I(\text{body}) = \left(\frac{340\text{V}}{47\text{k}\Omega + \frac{47\text{k}\Omega \times 2\text{k}\Omega}{47\text{k}\Omega + 2\text{k}\Omega}} \right) \times \left(\frac{47\text{k}\Omega}{47\text{k}\Omega + 2\text{k}\Omega} \right)$$

$$\text{最悪 } I(\text{body}) = 7.2\text{mA} \quad \therefore I(\text{body}) = (340\text{V}/47\text{k}\Omega)$$

通常の直流回路設計では、マイナス接地をします。

NTTの通信ビルでは、-48Vを使用するため、プラス側を接地しています。

DC380Vの高電圧において、片側を接地すると人体の抵抗を2kΩ（乾燥状態）としても短絡時に100mA以上の危険電流が流れます。

これに対して、中点アース方式では2つの高抵抗（図 2.4-1 では47kΩ）の間にアース（グラウンド）を設けています。よって、この図の340Vの場合は、対地間電圧は170Vとなります。そして、母線の片側に仮に触れたとしても高抵抗を介して電流が流れるため、わずかな電流5~10mA程度に制限されず。通常の回路であれば母線が短絡して、データセンターは電力ダウンとなってしまいますが、中点アースの場合は、仮に短絡があっても、母線の340Vは一定であり、データセンターとしては運用に全く支障がなく、ノンストップで電力供給が継続されます。よって、短絡時においても安全で安定したシステムとなっています。

また、この中点に直流の接地継電器（漏電検出器）を接続しています。母線電圧のアンバランスを検出して、システムに異常状態を知らせます。万が一母線に短絡があっても、人にもシステムにも支障はありませんが、接地継電器によって障害が検出され、管理者に警報で知らせます。

2つ目の対策は、アーク抑止です。

危険電圧以上で配線が切断されるなどの事故が起こった場合、「アーク」が発生します。（写真 2.4-1 左側）交流でも同様にアークは発生しますが、ゼロクロスするため、一旦アークは切れます。高電圧直流の場合はアークが発生すると発生し続けて火災の原因となります。

一般的にはアーク抑止は、磁気（マグネット）もしくは窒素ガスによってアークを抑制して回路を切り離します。

本システムにおいては、集中電源の入力回路に「アーク抑止回路」を実装していて、アークの発生を抑制しています。（写真 2.4-1 右側）受動素子数点（コンデンサ・ダイオード・抵抗）の回路で構成しているため、信頼性が高く、非常に安価であり場所も取らずに対策ができています。ケーブルが切断された場合に切断部の両端間に電位差が発生するためアークが発生します。

本回路では、切断ポイントの両端間の電圧は、下位に接続されているコンデンサによって、電位が保たれるためにアークが発生しにくくなっています。その回路に突入電流防止回路を付け加えています。ラックシステムとしては、DC380Vを集中電源によりDC12Vの安全特別低電圧に落としているため、実際にIT機器を設置・運用する作業者は感電の恐れがまったくありません。

本システムは、中点アース方式ではわずか抵抗2本、アース対策では受動素子3点、信頼性の高い受動素子を少ない部品点数で構成して交流よりも安全なシステムであり、データセンターのノンストップ運用を実現しています。

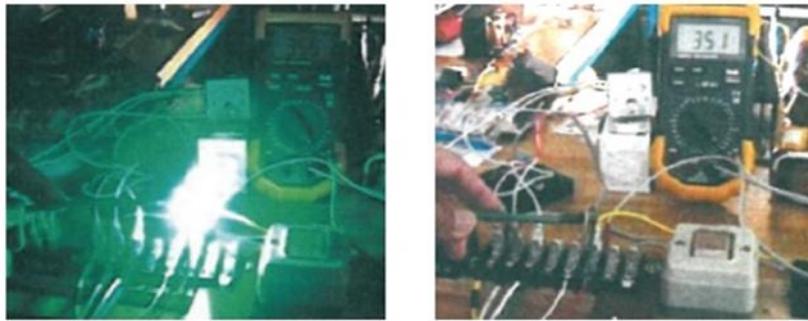


写真 2.4-1 左:アーク抑止なし 右:アーク抑止あり

2.5 直流電圧 DC380V について

データセンターや通信ビルにおける直流の給電電圧については、DC380V が利用されています。

電車では 1,500V、太陽光でも大容量設備においては配電ロスを減らす目的で 800V 以上の電圧を使用するケースが増えてきています。

では、なぜ、データセンターや通信ビルにて DC380V を使用されているのかについて解説をします。

データセンターや通信ビルには、サーバ、ネットワークスイッチ、ストレージなどの IT 機器が負荷として利用されています。これらの IT 機器にはサーバ用電源 (PSU) (写真 2.5-1) が内蔵されていて、交流電力を直流電力に変換しています。



写真 2.5-1 サーバ用電源(PSU)

最近のサーバ電源の入力電圧は、AC85V~264V とワールドワイド入力になっています。

日本国内では、AC100V もしくは AC200V、US では AC115V、アジアやヨーロッパでは AC220V~AC240V が使用されています。(写真 2.5-2)

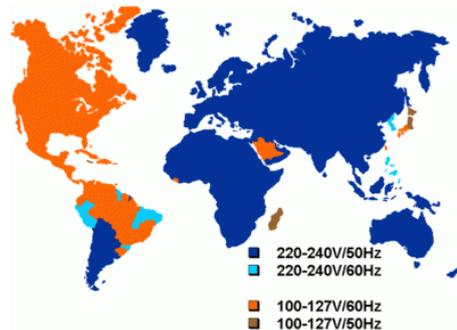


写真 2.5-2 世界の交流電圧

一番高い定格電圧が AC240V のため、電力変動を+10%考慮すると AC264V となります。

直流電圧は交流電圧のルート 2 倍がピーク電圧となるため、DC373V となります。

これらを理由にサーバ電源のようなスイッチング電源の 1 次側昇圧コンバータ回路の電圧は DC380V ~400V に設計されている場合が多いのです。

このため、直流給電の電圧を DC380V とすると、電源回路の 1 次側整流回路を排除すれば従来の電源設計思想で対応する事ができます。

給電電圧を高くした方が配線ロスを減らすことが出来ますが、高耐圧の電子部品 (電解コンデンサや FET など) が必要となり高コストになってしまう恐れがあります。

また、データセンターや通信ビルの DC380V は、感電対策のため中点アース方式を採用しています。

よって、±180V で給電しているため、対地間電圧は DC200V 以下となります（詳細は 2.4 項で解説）

2.6 太陽光を直流のまま無制御でダイレクト接続

さくらインターネットの石狩データセンターでは、2015 年には太陽光 200kW が設置された。この太陽光システムを直流給電システムの電源としてダイレクトに直流サーバシステムに接続、実サービスとして問題なく使用されています。（写真 2.5-1）。



写真 2.6-1 さくら石狩太陽光発電所:200kW

太陽光の発電電力は直流で出力される。一般的にはパワーコンディショナーによって太陽光の直流電力を交流電力に変換してその後交流グリッドに系統連携し、電力会社に売電されます。

しかし、さくらインターネットの太陽光発電所は電力会社への系統には連携せず、データセンター内で自ら発電したエネルギーを優先して使用する独立型再生エネルギーを優先するシステムとなっており、足りない分の電力を電力会社から購入するため、とても合理的な電源システムを実現しています。

この直流太陽光システムは、高い電圧から低い電圧に単純に電流が流れるだけのシンプルな仕組みであります。交流電力のような切り替え制御をしなくても無制御で構成できています。

例えば、晴れているときは太陽光の電圧が一番高いため、太陽光から電流が流れる。天候が悪くなり暗くなれば太陽光の電圧は下がるため、次に高い電圧は系統電力となりそれを直流に変換した電圧から電流が流れる事になります。

系統が停電した場合、次に高い電圧はバッテリー電圧のためバッテリーから電流が流れることとなります。（図 2.6-1）。

直流は、高い電圧から低い電圧に川の流れのように電流が流れます。本システムはこれらの直流の特性を最大限に生かしているため、シンプルな構成であり、無制御で高効率・高信頼性のエネルギー供給システムを実現しています。

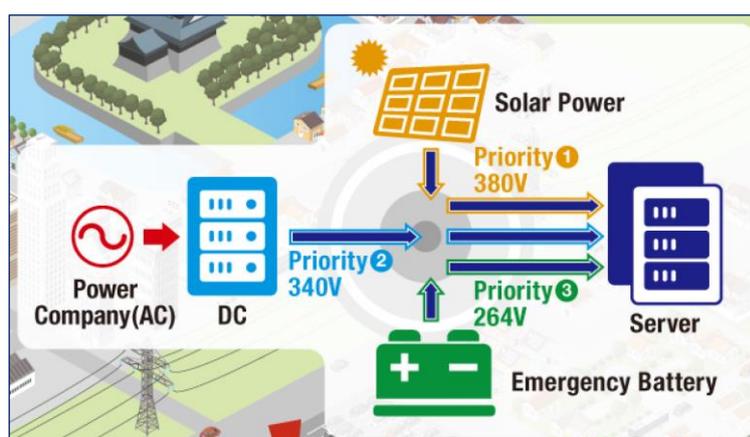


図 2.6-1 単純な直接続で高い電圧から低い電圧に流れる無制御システム

2.7 ブラックアウト時も動き続けた直流給電システム

ブラックアウト発生時、さくらインターネットは非常用発電機の燃料のみで運用を余儀なくされた。彼らは緊急対応を早急に行い、地域の協力と社員の対応により停電復旧までの間を乗りきることが出来ました。

一方、直流システムについては、太陽光発電を自前の電力設備として有しており、発生した直流の電力を電力会社と系統連携をせずに直流のままダイレクトに接続しています。そのため、ブラックアウト時においても太陽光の電力をダイレクトに負荷供給しているため、燃料の消費を抑えることが出来ました（図 2.7-1）。

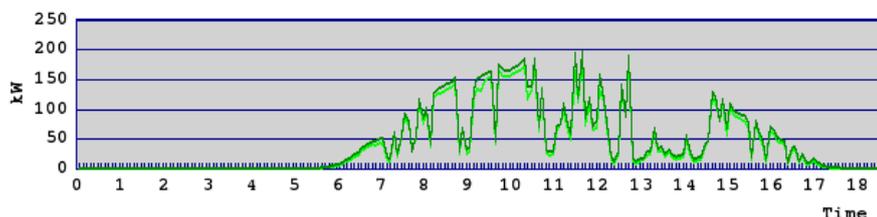


図 2.7-1 地震発生日 2018 年 9 月 6 日の石狩太陽光発電所の状況

燃料消費を抑えていたのは昼間の太陽光発電の時間帯に限られていたとはいえ、このシステムの特徴が最大限に生かされた出来事でありました。

2.8 自然エネルギーが一番に優先されるシステム

昨年（2019 年）10 月、九州地区においても「出力抑制」のため再生可能エネルギーの発電を停止しました。2019 年 4 月の実績を見ると、1 日に 200 万 kW 以上抑制した日が何日もありました。これは、北海道胆振東部地震におけるブラックアウト発生時の総需要約 300 万 kW にほぼ匹敵する電力量であります。

交流の場合は、需要電力と供給電力のバランスを取らないと周波数変動して停電になる可能性があります。安定した化石燃料を優先して、不安定な自然エネルギーを停止せざるを得なかったわけであり、あります。

本来、地球温暖化やエネルギー問題を考えると自然エネルギーを第 1 優先とすることが理想的であるが、現状では自然エネルギーを止めざるを得ない状況であります。

直流給電システムの場合は、自然エネルギーの電圧を一番高くしておけば、自然エネルギーが第 1 に使用される事になり、足りない分について化石燃料を使用する事になります。

今後、様々な自然エネルギーを利用した製品が開発されて有力なエネルギー源が登場するでしょう。

技術革新と企業努力によって性能が向上して電力効率が上がり、安価になればなるほど化石燃料の消費が抑えられることとなります。直流で接続することによって、技術進歩やコストダウンなどメーカーの企業努力が向上すれば、それに比例して自然と地球環境改善に貢献できる事となり、とても健全で合理的なシステムとなります。

2.9 オープン・コンピュータ・プロジェクト（OCP）

家庭内には USB で動作する直流機器が増えていきます。バッテリーについても様々な用途で開発、市場投入され実用化が進んでいます。LED も直流であるため、AC/DC 変換を削除することは容易であります。EV（電気自動車）による電力双方向融通も始まり、ドローンもバッテリー搭載機器であり、直流の充電ステーションが必要となります。今後の期待されている省エネ機器の電圧はほとんどが直流であり、今では交流で動作する機器を探す方が難しいでしょう。

エジソンが直流送電を進めた 1880 年代は直流機器が少なかったが 100 年以上経過した現在のデジタル社会においては直流機器がかなり揃ってきています。

データセンターにおいては、Facebook が推奨する OCP（Open Compute Project）が直流の IT 機器を使用しています。このプロジェクトは Facebook などが大量に使用するデータセンターのシステムをオープン化して全世界に利用を推奨しています。OCP サーバについては、直流の 12V もしくは 48V で動作

する機器を台湾ベンダーが製品化しています。OCPの大量購入によって安価になり、ケーブルレスとフロントアクセスによって信頼性や保守性にも優れた仕組みであります。

交流電力は位相や周波数があるため、並列運転するにはお互いの同期をとるなど複雑な制御が必要となります。それはノンストップで信頼性を求められるデータセンターにおいては大きなトラブル要素になっています。

一方、直流給電は電源をユニット化してn+1の冗長運転が容易に構成できるため、ユニット故障時においてシステムをノンストップで保守交換する事が簡単にでき、シンプルで安定したシステムを運用する事ができます。

Facebook以外にもGoogle、Microsoft、AmazonなどのGAFAやOTTベンダー、大手通信会社までが採用を進めています。2019年3月に開催されたOCP Global Summitには世界42か国から3,600人のエンジニアが参加されました。今後のOCPの普及が本格的になる事を期待したいですが、現状の電気製品全般においては、交流電力で動作する機器が定着している中で、まだまだ、直流の機器は選択肢としては少ないです。

今後、直流が普及するためには、直流機器同士の接続が求められ、いかに直流機器の種類を増やすことで競争力あるシステムの設計に違和感なくユーザーチョイスがなされるようになるかにかかっています。

直流の方が交流と比べてシンプルな構成であるため、部品点数も少なく、普及すれば間違いなく安くなるはずであるが、現在はその生みの苦しみの状況であります。

2.10 データセンターをエネルギー核とした直流マイクログリッド

一昨年(2018年)のブラックアウトの出来事をきっかけに分散電源の必要性が様々なところで活発に議論されるようになり、電力融通・エネルギーの自己消費(地産地消)・ITとの融合など新たな産業への期待も高まってきました。

日本は昨年だけでも台風や地震の被害が多くありました。地球温暖化の影響なども考えると今後も被害が予想されます。

地域分散の独立系電力システムのように電力送電網を負荷の近くに置くような事をいよいよ本格的に構築していく必要がありそうであります。災害時の被害は完全には避けられないです。被害があったのちにすぐに復旧できる電力網の整備が必要であります。

また、我が国はこれから少子高齢化問題に直面します。間違いなく人手不足が加速する上で電力設備の維持管理や採算性を考えても地域分散電源は有効であります。

特にデータセンターは数十メガワット~数百メガワットと莫大な電力を消費するため、世界各国で送電網が問題となりつつあり、データセンターの建設に対しても慎重な対応が求められてきています。

太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの価格が下がり、世界中で化石燃料から再生可能エネルギーへのシフトが進んでいます。現在の電力料金に対して、6年程度で費用回収ができるようになってきました。

蓄電池についてはまだまだ高価ですが、テスラ電池のように大量生産によるコストダウンが進み、ストレージパリティ(蓄電池を導入しない場合より蓄電池を導入したほうが、経済的メリットが大きくなる状態)の6万円/kWhに大いに近づいてきています。

2019年11月から再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度が随時終了していききます。2009年の制度開始時から太陽光発電の余剰電力を売電してきた世帯の契約が切れるため、いよいよ自己消費型のエネルギー利用の需要が高まる事となります。それは、地域でエネルギーを生み出して地域で消費する時代を迎えようとしているのであります。

自動運転や医療データなどの個人データの活用やセンサーネットワークによるIoTデータ、5Gや6Gのような超高速大容量、高信頼性、低遅延の移動通信システムが実現し、セキュアで地域性を生かしたビジネス展開が我々の目の前にまで来ています。

このような状況で電力インフラを考えていくと、データセンターのような数十メガワット級の電力を安定供給していて、余剰電力が必要な重要設備はエネルギー基地として最適であると考えられます。

さらにこれらを直流電力でシンプルな構成をすることによって、電力会社の電力網が仮に打撃を受けたとしてもある程度は電力を自立供給でき、自然エネルギーを優先供給できます。

また、いざというときに役に立たない複雑なシステムとは違い、高品質な電源構成となるため、エネルギー基地としての強固な電力設備となります。これらの電力の一部を仮に地域に供給（電力融通）することが可能となれば、「データセンターを核とした直流マイクログリッド」が可能となります。

そろそろ、AC変換をせずに直流接続する事を可能な設備から実行を考えるべきであります。

今後、エネルギーもデータも地域性を生かし、地域サービスの向上と産業の活性化を考えた時、シンプルで信頼性が高く、災害に強い、省エネ型の直流マイクログリッドが大いに期待できるのではないのでしょうか。



図 2.10-1 データセンターをエネルギー核とした直流マイクログリッド

3. 冷却

3.1 データセンターは大量の電気を使う

データセンターは、第二次世界大戦後、高価な大型汎用計算機を設置する場所として建設され、利用される分野も金融関係の数値演算が主であり、データセンター建設規格も金融業が安全安定に運用出来る規格で作られていました。

1990年代にインターネットが民間に開放され、ISPと呼ばれるインターネット接続サービスが始まり、回線設備の利用料を共有し分割利用するために高価な通信機器やサーバを設置する場所（主として電話局）がデータセンターの役割として追加されました。

当時の大型汎用機や通信機器は高い温度環境に耐えられず、データセンターは「寒い場所」として認識され、夏でもオーバを着て、寒いデータセンター内で作業する時代でありました。

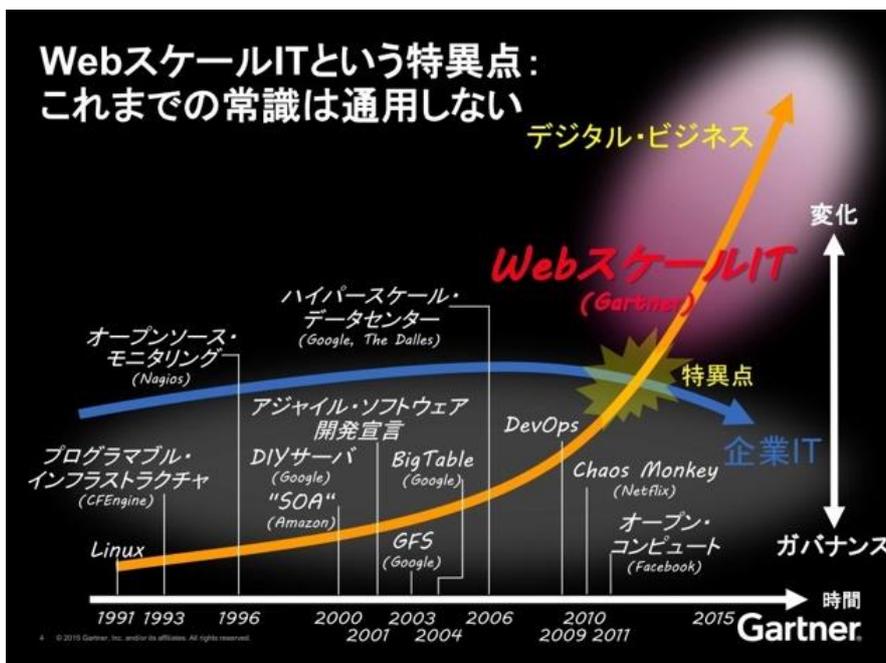
2000年代に入り、Webを使う情報提供手段としてインターネットが使われ始めると、検索エンジン発達と共にデータセンターはあらゆるデータを蓄積する場所として大型化してきました。データセンターの急激な大型化と増加は世界中の電気を5%も使うことが予想され、特に冷却における電力効率改善は世界的な課題となりました。

日本においてもNEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）、産総研（国立研究開発法人産業技術総合研究所）が中心となり30社以上が参加した国家プロジェクトが実施されデータセンター省エネルギー化が研究されました。

この時の予想は2020年において現実となり、データセンターの消費電力は日本においても、わずか650カ所のデータセンターが日本の3%前後の電力を使っていると言われていました。

メール、Web（会社案内など）は業務に必須なツールになり、グループウェアと呼ばれる情報共有ソフトウェア、ブログと呼ばれる個人情報発信ツールもレンタルサーバ会社の登場で簡単に使えるようになり、EC（インターネットで買い物）サービスも普及し、データセンターはさらに大規模化しました。

2004年にティム・オライリー（Tim O'Reilly）らによって提唱された概念「Web2.0」は、WebスケールITという特異点[1]が、旧来のIT常識とは違う、大量のサーバをデータセンターで使う概念であり、計算機資源需要は増えて、データセンターの消費電力はさらに増加していきました。



引用元[2]: <https://www.sbb.it.jp/article/cont1/29832#&gid=null&pid=1>

2010年代には、それまでのPC端末だけでなく、スマートフォンが爆発的に普及し、データセンターからのサービスはさらに拡大し現在に至っており、手軽に写真撮影出来る大きな画像やビデオを扱う

SNS サービスも充実してデータセンターでのデータ処理量は大きくなっています。通信においても、高速通信が可能な LTE や 5G 対応など高性能な通信機器（ルーター）も増え、消費電力増加対応や冷却能力不足は解決していません。

クラウドサービスと呼ばれる大規模データセンターでは、数台のサーバでは処理出来ない高速検索などのサービスに大量のサーバと共にクラスタソフトウェアが使われ、さらに多くのクラウドサービスをネットワーク経由で扱える時代になってきました。

加えてグラフィックスアクセラレータ GPU (Graphics Processing Unit) を使い、さらなる高速化、賢いサービス（スマートサービス）を提供するための AI 機械学習サービスも増え、ますます、データセンターに設置されるサーバは増え、消費電力は増加しています。

クラウド大手 Facebook では、最大級で 300MW もあるハイパースケールデータセンター[2]を何カ所も建設し稼働が始まっています。



引用元[3]: Facebook Henrico Data Center <https://www.facebook.com/HenricoDataCenter/>

3.2 データセンター省エネ指標 PUE

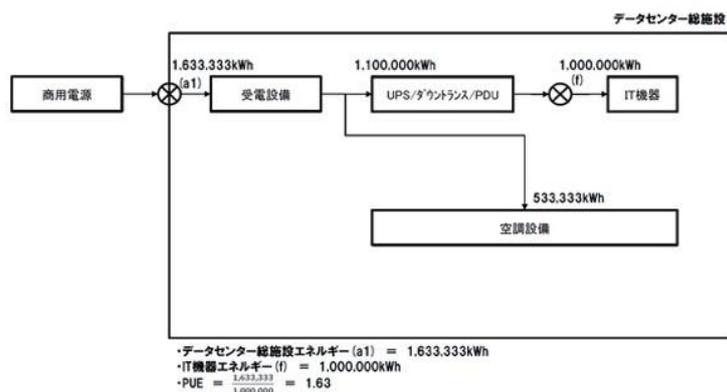
PUE はデータセンターの省エネ指標[3]として、理解されやすいので多く使われています。

$$\text{PUE} = \frac{\text{データセンター全体の消費エネルギー}}{\text{データセンターIT機器のエネルギー}}$$

1.0 が最良値であり、同じエネルギーを IT 機器と他の機器（冷却や UPS など）が使っていると PUE=2.0 となります。

JDCC ES-002 Ver.2.7

11. PUEの計算例(1)



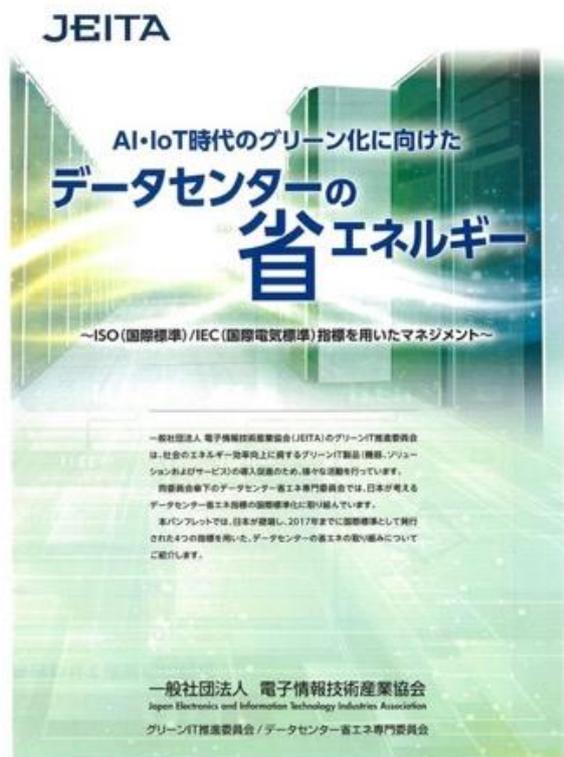
(Copyright © 2015 Japan Data Center Council. All Rights Reserved)

15

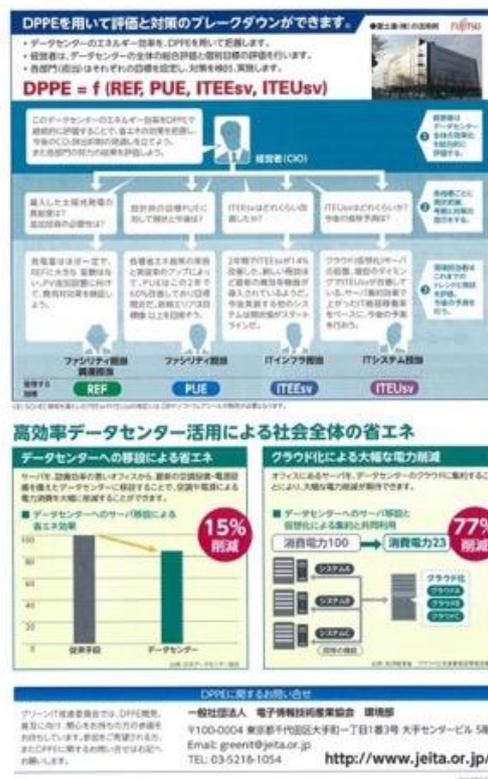
引用元[4]: PUE 計測・計算方法に関するガイドライン

JDCC 日本データセンター協会 ES-002 Ver. 2.7 【ダイジェスト版】 2015年3月31日

PUE は JEITA 電子情報技術産業協会 日本提案[4]により 2018 年 国際規格 (ISO) に認定されました。



引用元[5] : JEITA 発行パンフレット



DPPE についても ISO にて承認されています。これは、従来のファシリティ部分の省エネだけでなく、データセンター内で稼働する IT 機器の効率なども含めて評価する包括的な指標です。

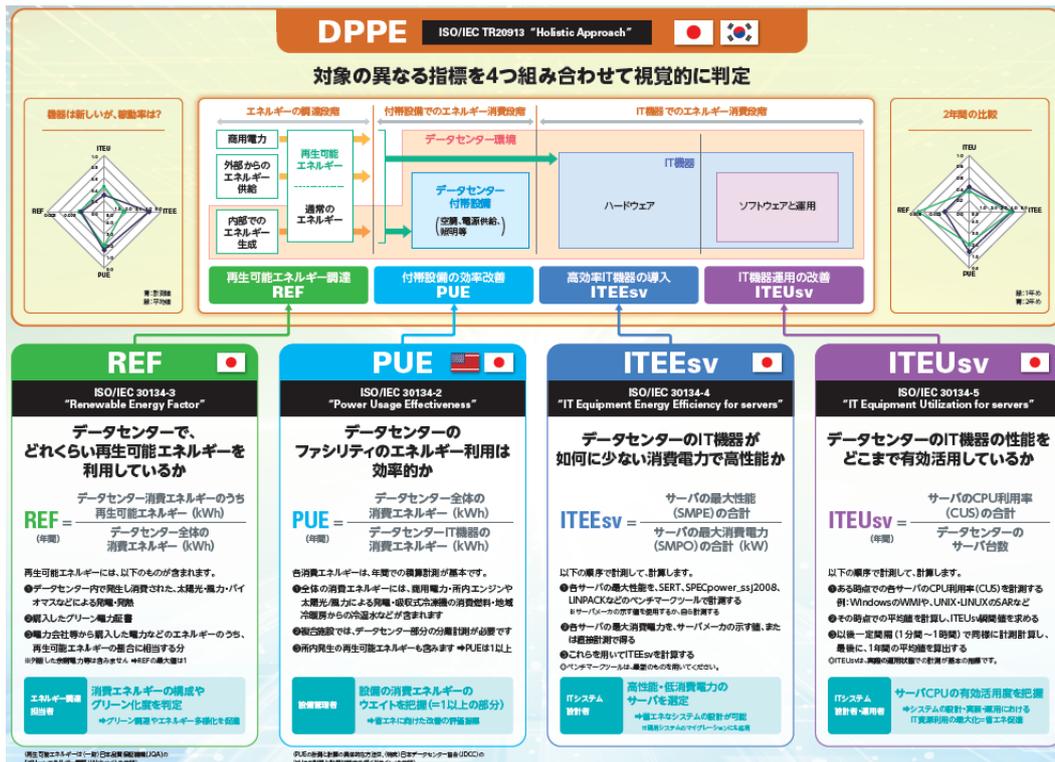
- ・ データセンターのエネルギー効率を、DPPE を用いて把握します。
- ・ 経営者は、データセンターの全体の総合評価と個別目標の評価を行います。
- ・ 各部門 (担当) はそれぞれの目標を設定し、対策を検討、実施します。

DPPE を用いて評価と対策のブレークダウンができます。

$$DPPE = f(REF, PUE, ITEEsv, ITEUsv)$$

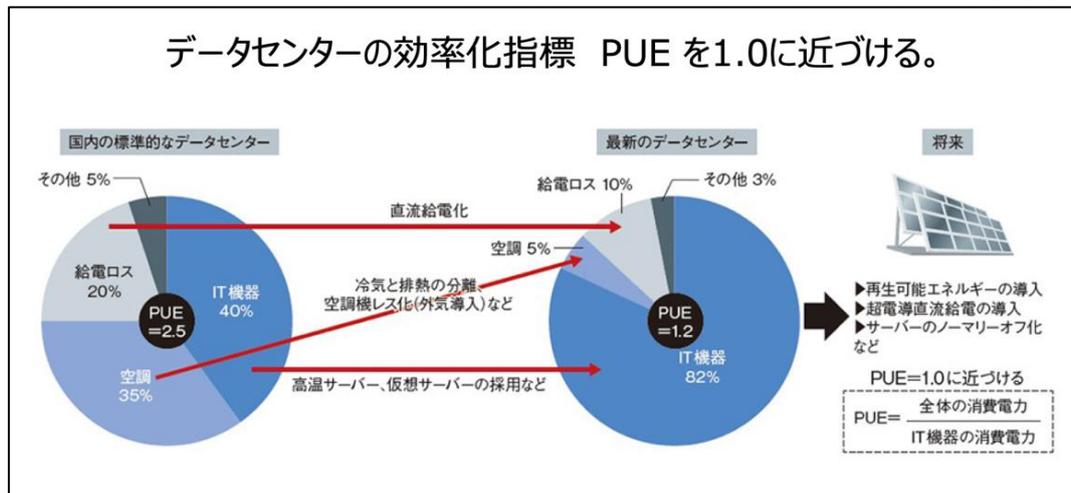
DPPE (Datacenter Performance Per Energy) を構成する 4 つのサブ指標 :

- ① PUE = Power Usage Effectiveness (ファシリティのエネルギー効率)
- ② REF = Renewable Energy Factor (再生可能エネルギー利用率) 日本提案
※ISO/IEC 30134-3:2016(E) として発行済
- ③ ITEE = IT Equipment Energy Efficiency (IT 機器のエネルギー効率) 日本提案
- ④ ITEU = IT Equipment Utilization (IT 機器の利用率) 日本提案



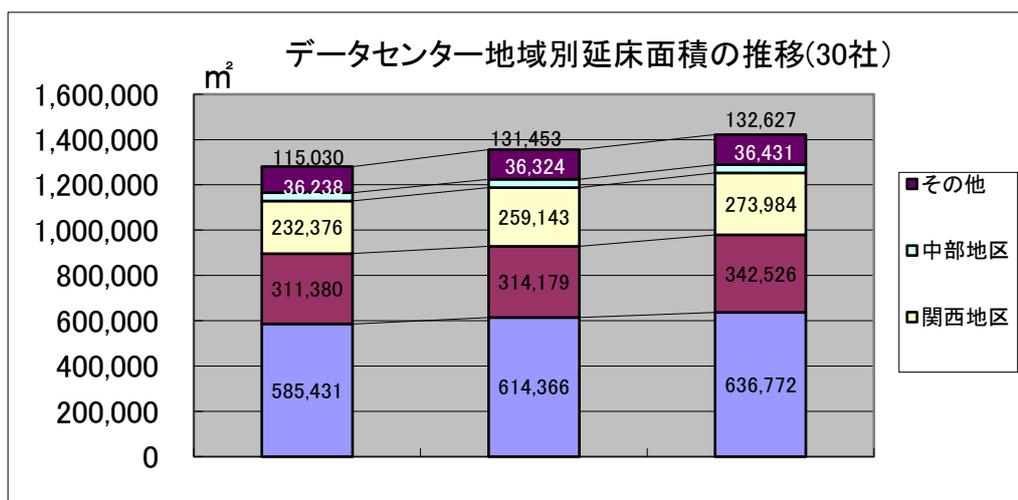
引用元[5]： JEITA 発行パンフレット

データセンターでのUPSはCVCF（常時インバータ給電）方式を使い瞬間停電も含めてIT機器を停電から保護しますが、強力な冷房設備は必要な変換効率65%程度だったUPSも最新機においては95%以上に改善され空調電力の軽減だけで新型機購入コストは数年で償却が出来ます。[5]



出典[6]： 篠原電機 高発熱時代のデータセンター構築の展望

ヒートポンプ空調機も近年高性能化し、高効率で省エネな製品が開発され1KW電力で3KW熱量しか搬送出来なかった旧機種と比べ、最新機種では5KW近く熱搬送出来、古いデータセンターにおいては、新型エアコンに取り替えるだけで大幅な省電力化が期待出来ます。しかしながら、キャッピングによる寒暖分離も行なわず、空調がショートサーキットし、冷却効率が悪い古いデータセンターが現在でも数多く存在します。10年前の調査[6]になりますが、多くのデータセンターはサーバ引越作業がサーバサービス停止を伴うため、省エネ対策が実施されていないのが現状であります。



	2010年度 (実績)	2011年度 (実績)	2012年度 (予測)
国内データセンター消費電力量(万kWh)	886,134	945,015	1,006,097
前年度比	-	6.6%	6.5%
国内データセンター消費電力費(百万円)	106,336	113,402	120,732
前年度比	-	106.6%	106.5%

出典[7]：ミック経済研究所 データセンター市場と消費電力・省エネ対策の実態調査
【2012年度版】から抜粋

2010年度 東京都 年間使用電力量 (万 kWh) 32,760 百万 kWh

(出所：環境省 環境統計集 国内基本指標)

東京都内データセンター使用電力量 2010年度 延床での全国比率 45%として

$8861.34 \text{ 百万 kWh} \times 45\% = 3,988 \text{ 百万 kWh}$

東京都でデータセンターが使う電力 2010年度

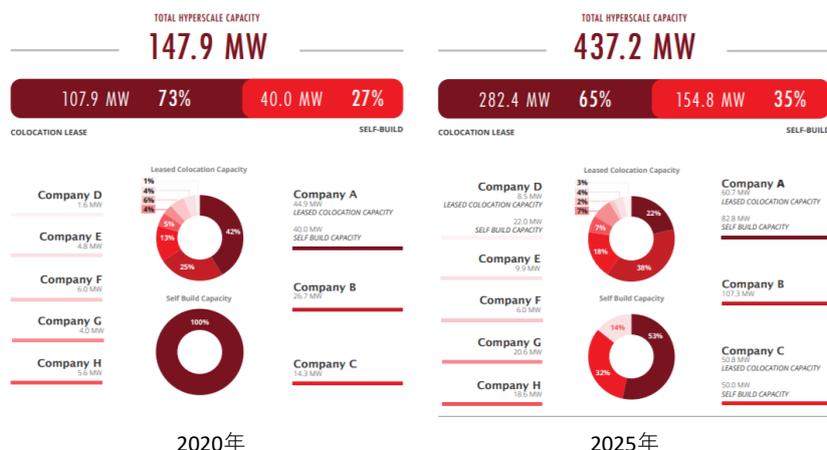
$3,988 \div 32,760 \text{ 百万 kWh} = 0.122 = 12.2\%$

10年経過した2018年は15%超が予想され、平均PUEが2.0としても

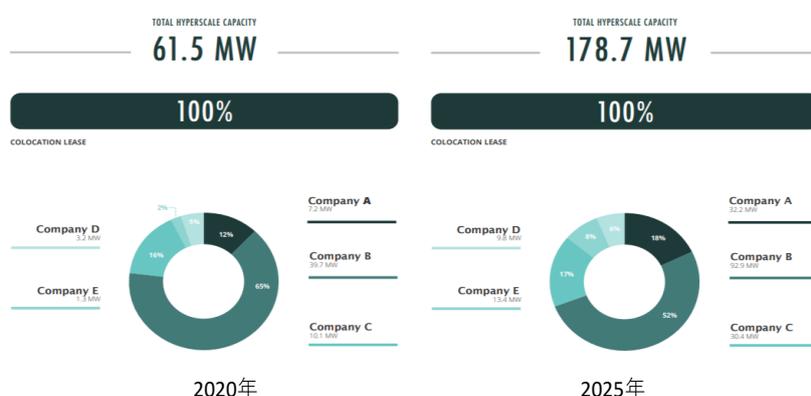
東京都電力の7%以上は省電力化出来る可能性。

参考として東京と大阪のデータセンターの消費電力の予測について、示すとつぎのようになります。[8][9]

東京市場のデータセンターの消費電力の内訳の予測 [7]



大阪市場のデータセンターの消費電力の内訳の予測 [8]

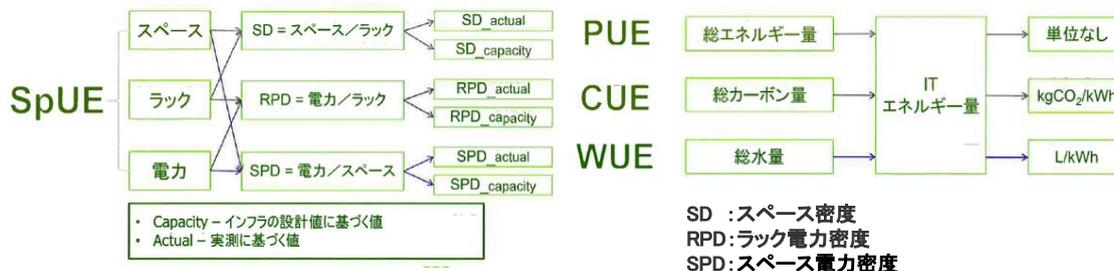


2020年から2025年で3倍以上の電力容量が必要になることが予測されています。

3.2.1 新指標 SpUE

データセンターのエネルギー効率指標として、電力使用効率を数値化するPUE (Power Usage Effectiveness) がよく知られていますが、メトリクスの種類はそれだけではありません。ICTのエネルギー効率化に取り組む業界団体グリーン・グリッド (The Green Grid、本部：米国オレゴン州) によって2014年に策定された新しいエネルギー効率指標「SpUE」 (Space Usage Effectiveness：スペース使用効率) について整理します。

グリーン・グリッドが策定・提唱するエネルギー効率指標としては、新しいSpUEは、電力使用効率のPUE、二酸化炭素 (CO₂) 使用効率のCUE (Carbon Usage Effectiveness)、水使用効率のWUE (Water Usage Effectiveness) に加わる、4つ目の指標となります。



2つのパラメータで算出する PUE/CUE/WUE とは異なり、新しい SpUE では、IT 機器の消費電力量、サーバールームの床面積、サーバールーム内のラック数という 3つのパラメータから算出を行います。

(1) スペース密度 (SD : Space Density)

サーバールーム全体の平均として、1 ラック当たりの占有面積 (㎡) を算出します。

SD : サーバルームの床面積 (㎡) / ラック数 (n)

SD_actual : サーバルームの床面積 / 実ラック数

SD_capacity : サーバルームの床面積 / 設置可能なラック数の設計値

SD の値が小さいほど、各ラックの占有面積が小さく、スペース使用効率が良好であることとなります。

(2) ラック電力密度 (RPD : Rack Power Density)

サーバールーム全体の平均として、1 ラック当たりの消費電力 (kW) を算出します。

RPD : IT・ストレージ・ネットワーク機器が消費する電力 (kW) / ラック数 (n)

RPD_actual : 上記機器が消費する実際の有効電力 / 実ラック数

RPD_capacity : サーバルームが対応している有効電力の設計値 / 設置可能なラック数の設計値

RPD の値が大きいほど、サーバールームに投入できるコンピューティング能力が高くなるため、スペース使用効率が良好と判断できます。

(3) スペース電力密度 (SPD : Space Power Density)

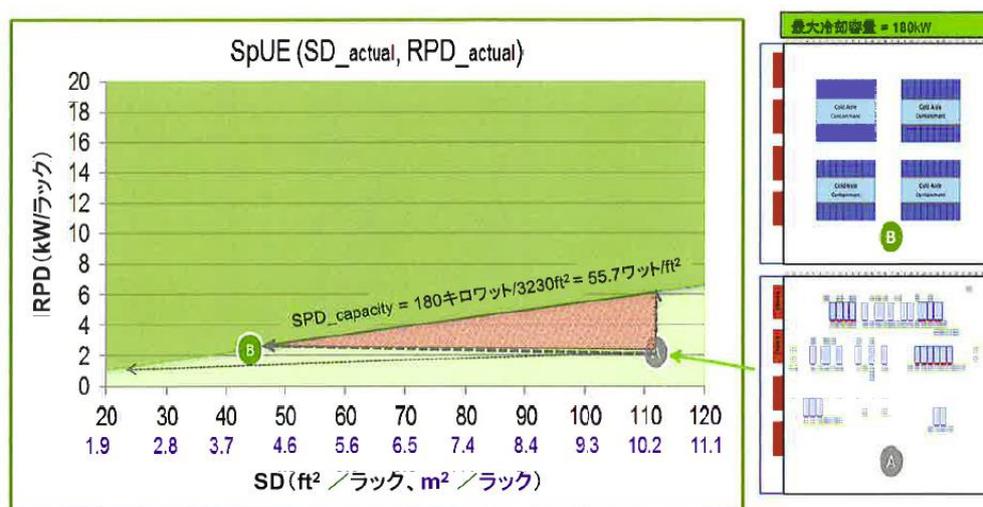
サーバールーム全体の平均として、1 ㎡当たりの消費電力 (kW) を算出します。

SPD : IT・ストレージ・ネットワーク機器の消費電力 (kW) / サーバルーム床面積 (㎡)

SPD_actual : 上記機器が消費する実際の有効電力 / サーバルーム床面積

SPD_capacity : サーバルームが対応している有効電力の設計値 / サーバルーム床面積

SPD の値が大きいほど、サーバールームに投入できるコンピューティング能力が高くなるため、スペース使用効率が良好ということになります。なお、SPD は従属パラメータであり、RPD を SD で割ることによって導出されます。



SpUEを用いたデータセンターのスペース効率の改善シミュレーション(出典:TGG) [10]

現在において使用可能なスペースはもう限界に達しています。だからこれ以上ラック数を増やすにはデータセンターを新築しなくてはならないとの誤解が蔓延していると思われます。SpUE を用いてスペースの使用のしかたについての最適化を図ることで、不要な設備の追加を抑えながら、最大限のエネルギー効率の下でデータセンターを運用[9]できるようになります。

第4の指標である SpUE が、PUE のようにデータセンター/IT インフラの分野で認知を得られるようになるまでには時間がかかりますが、注目しておくべきメトリクスであります。

3.3 電気代

PUE を改善すると大幅に電気代を節約出来ます。設備更新に掛かる費用は省エネする多くの場合、更新設備費は省エネする電気代で5年以内に償却出来ます。改善に必要な設備費は空調機の買い換えとキャッピング工事だけであります。

電気代の計算例を以下に示します。

1 MW クラス 200 ラック サーバ稼働率 30%、PUE=2.0 とすると 年間電気代は特高受電自社ビルの場合

15 円/1kwh x300kw x24h x365day x 2.0(PUE) = 7884 万円

借ビル (受電設備込) の場合 (標準価格)

22 円/1kwh x300kw x24h x365day x 2.0(PUE) = 1 億 1563 万円

PUE を改善して PUE=2.0 から PUE=1.5 に省エネすると

15 円の場合、7884 万円が 5913 万円となり 1971 万円の節約

22 円の場合、1 億 1563 万円が 8672 万円となり 2891 万円の節約

設備状況が 15 年同じ、15 円の場合で約 3 億円、22 円の場合で 4.3 億円の節約となります。

最新大型データセンターでは高密度化が進み、電力に占めるラック数は減少しています。例として簡略計算すると、

10MW クラスにて、サーバが満杯になった場合、年間電気代は約 10 億円。

PUE が 1.5 とすると年間電気代は 15 億円。

これを省エネ化すれば、

PUE=1.1 で構築出来、11 億円、年間 4 億円の電気代の節約となります。

建物を 30 年償却とすれば 30 年で節約出来る電気代は 120 億円となり、データセンター建設費に相当する電気代を低減する計算となります。省エネ構造でデータセンターを建設すれば空調容量も少なく設備初期費用も低減されます。

3.4 省エネ技術

既存データセンターにて省エネ効果が高いのは、高効率新型空調機 (電算機室向け空調機は CRAC と呼ぶ) に更新することであります。

可能であれば、省エネ効果が高い、キャッピング (コンティメント) を実施します。空調におけるショートサーキットを防止する設備で、寒暖を分離して省エネ化が出来ます。

仮に PUE=3.0、毎月の電気代が 500 万円だとすると、上記対策にて概算 200 万円減少します。設備更新費用が 1 億円としても 4 年で償却できることとなります。欧州に多い排熱システムとして、ヒートポンプを使用せず熱搬送に水を使うと、ヒートポンプ式で大きな電力を使うコンプレッサー電力を使用しない分、省電力化が出来ます。しかし、ポンプや水冷コイルなど熱交換排熱設備は大型化し新築時コストは上昇します。Google 社のデータセンターはこの方式に加え、気候により搬送ポンプ電力を制御する省エネ対策なども行われています。

間接外気冷却は、熱搬送に空気を使う方式で、建物構造にコストが多く掛かるが熱交換が 1 回となるので省エネになり運用電気代を節約出来るため、大型のクラウドデータセンターで利用されています。当初、直接外気導入を導入した Facebook 社データセンターは、現在、間接外気導入システムを採用しています。その他、直接外気排熱、水冷コールドプレート (水冷アタッチ)、液浸などは、HPC (ハイパフォーマンスコンピューティング) に使われている技術があり、サーバ排熱を燃料電池の予熱に使うなど再利用して、実質 PUE=1.0 以下を目指す技術が実現されつつあります。

注：PUE=1.0 が最良値。ここでは再利用したエネルギーを理解しやすく PUE=1.0 以下と表現。

	PUE	差違	採用時期・その他	10MWDC の 1年間電気代
従来	～2.8	---	10年以上の古いデータセンター	20億円以上
高効率 CRAC	～1.5	高性能コンプレッサー採用	NTT が主導して 10 年前に開発	15 億円
キャッピング	～1.35	冷気分散防止 ホットスポット対策	開発は 10 年前、この数年普及	13.5 億円
水冷	～1.2	水コイルを熱交換機に使う	欧州の大型データセンターや Google が採用	
間接外気冷却	～1.1	冷水ポンプ無し (夏場のみ CRAC 使用)	海外で FaceBook が採用 日本でも 2 年前から採用	11 億円
直接外気排熱	～1.07	ホコリ、腐食ガス、湿度侵入の欠点有り	研究施設のみ	10.7 億円
その他	1.1 以下	水冷アタッチ、液浸、雪冷熱利用	高密度実装 スパコン (サーバが高価) や研究施設	

3.5 様々なデータセンター

データセンターは利用目的と規模により、守るべき規格が多く存在します。

日本においては、金融情報を扱うデータセンターとして取得が必須な FISC 基準は、データセンター所在地を公表しないことを規定しているため、データセンターの住所や内部は通常非公開となっています。

- ・金融機関等コンピュータシステムの安全対策基準 (FISC 基準) : 公益財団法人金融情報システムセンター (FISC) が制定する金融情報システムに関する基準
 - ・JQA 情報システム及び関連設備の運用基準: 2001 年に廃止された「情報処理サービス業情報システム安全対策実施事業所認定制度」のうち、管理および運用に関する「認定基準 (第 2)」を継承し、当機構により制定され、「事業所の組織体制」「規程等の制定」「教育・訓練」「監査」を運用基準としてまとめたものであります。
 - ・日本データセンター協会 (JDCC) が制定する「データセンター ファシリティ スタandard」(J Tier とも略される)。
 - ・米国通信工業会「Telecommunications Industry Association ANSI/TIA-942 認証」
 - ・BICSI ビクシー日本支部「Data Center Design and Implementation Best Practice」
- などが代表的なファシリティにおける安全規格であります。

その他、運用に関して、ISO27001 (ISMS) や ISO20000 (ITIL)、PAS99 (統合マネジメントシステム)、PCI DSS (Payment Card Industry Data Security Standard) など多くのセキュリティ基準と認証制度が存在します。

日本におけるデータセンターは FISC 基準に対応して所在地を明かしていないため、どのようなデータセンターがどのような場所で運用されているかは公開されていませんが、例外的に公開されているデータセンターを以下に紹介します。

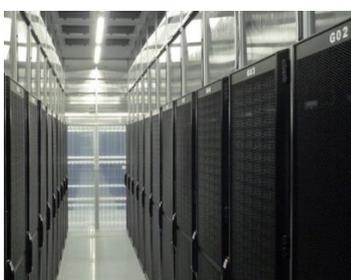


7000m² 1000 ラック
 将来 4000 ラック
 8KVA~15KV-A/1 ラック

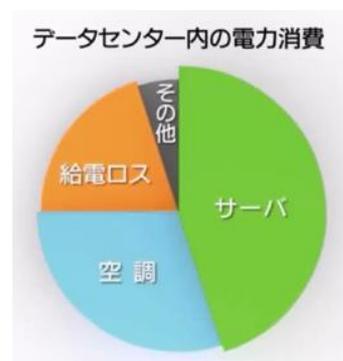
- ・ さくらインターネット 石狩データセンター[11]
 先進的な省電力技術を多数採用し PUE=1. xx を実現した北海道最大のデータセンター。
 最大 35MW 規模であり約半分が完成し稼働しています。



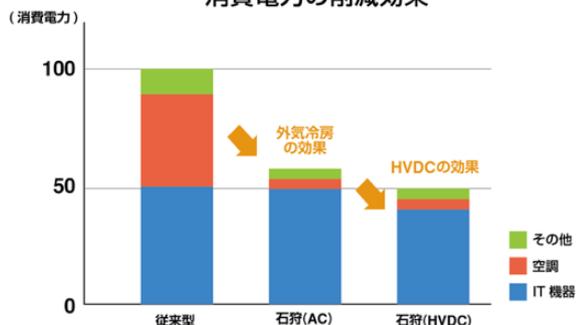
内部はブロックごとに別れていて、様々な工夫が行われています。



キャッピング事例



消費電力の削減効果



キャッピングに加え、水冷コイルによる排熱、太陽光発電からのハイブリッド直流受電、サーバの直流給電も実施、サーバからの発熱も低減して低 PUE を実現。

資料出典：さくらインターネット[11]

<https://www.sakura.ad.jp/corporate/corp/datacenter.html#ishikari>

・ IDC フロンティア

ソフトバンクグループ IT インフラ企業である IDC フロンティア[11]は日本各地にデータセンターを持ち様々なサービスを提供しています。福島県白河市と福岡県北九州市のデータセンターは 20 MW を越える大規模データセンターであります。

北九州データセンター



白河データセンター



出典[12] : https://www.idcf.jp/datacenter/?bid=gtop_service_dc

その他、日本における大手データセンター事業者は以下の通り、NTT コミュニケーションズ、アルテリア・ネットワークス、オプテージ・データセンター、エイクニクス、デジタル・リアリティ、TOKAI コミュニケーションズ、ブロードバンドタワー、NTT スマートコネクト、NHN テコラス、などでありませす。

3.6 サーバ寿命に関係する排熱（冷却）

一般に電子機器、電気機器は温度と信頼性、寿命との間には 10°C 下がると寿命が 2 倍となる法則があります。これはアレニウスプロットと呼ばれるもので、化学変化の速度からくるものです。これに直接影響するのが電解コンデンサ寿命です。電源周りには必須の電子部品です。半導体での寿命は必ずとも化学変化と同一とは考えにくいですが、電子機器としては電解コンデンサに機器寿命を左右されることとなります。2000 年ごろまでの電解コンデンサの温度特性[12]は、上限 55°C 5 年、 5°C アップすると寿命が半分になるとされました。よって、サーバ吸気温度は、機器内部温度傾斜 $10^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$ 、センサー誤差、安全率を入れて 35°C に設定されています (25°C では無い)。

2000 年ごろから普及が始まったカーナビケーション機器動作温度は 100°C を越える環境であり、電解コンデンサ温度特性は市場要求から改善され、現在では温度特性上限 55°C 製品は存在せず 30°C も上昇した 85°C から 115°C の温度特性上限製品が販売されています。

未だにアレニウスプロットを根拠にデータセンター環境温度を上げることに反対する技術者がいるが、電解コンデンサの性能向上を知らない場合が多いです。

1-6-4 温度特性について

アルミニウム電解コンデンサは、電解液を使用しています。この電解液の物性（電気伝導度、粘度など）は比較的顕著な温度特性を持っています。電気伝導度は温度が高くなると、大きく、温度が下がると小さくなります。このためアルミニウム電解コンデンサは他のコンデンサに比べて温度による電気特性の変化が大きくなります。温度と静電容量・ $\tan \delta$ ・等価直列抵抗 (ESR)・インピーダンスおよび漏れ電流の関係を以下に示します。

1) 静電容量

静電容量は、温度が高くなると増加し、温度が下がると減少します。温度と静電容量の関係を (図 1-9) に示します。

2) $\tan \delta$ 、等価直列抵抗 (ESR)、インピーダンス

$\tan \delta$ 、等価直列抵抗 (ESR)、インピーダンスは、温度および周波数によって変化します。温度と周波数による変化を (図 1-10～図 1-11) に示します。

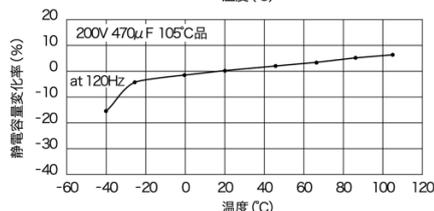
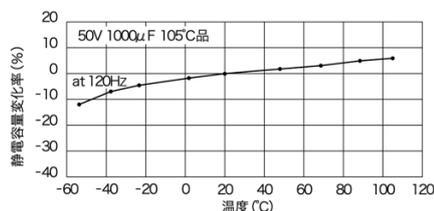


図 1-9 静電容量の温度特性

引用元[13] : ニチコン株式会社 アルミニウム電解コンデンサの概要

<https://www.nichicon.co.jp/lib/aluminum.pdf>

よって、各社から販売されているサーバの吸気温度も 40℃～45℃対応品が販売され、データセンター環境温度を 22℃付近から 28℃～30℃に上げて省エネ化することを大手のデータセンターなどでは行われています。

スパコンに利用されているデータセンターの環境温度は 32℃に設定され運用し省エネ化されています。

サーバ排熱（冷却）技術

冷却に主に用いられる物理現象の種類

冷却法	対流熱伝達	輻射伝熱	熱伝導	熱電効果	熱輸送	冷媒	相変化
自然空冷	○	○					
強制空冷	○				○		
熱交換器	○						
熱伝導			○				
水冷	○				○	○	
アドバンス冷却 (ペルチェ素子等)	○			○			
エアコン	○					○	○

引用元[6]：篠原電機 高発熱時代のデータセンター構築の展望 2019

対象排熱（冷却）デバイス

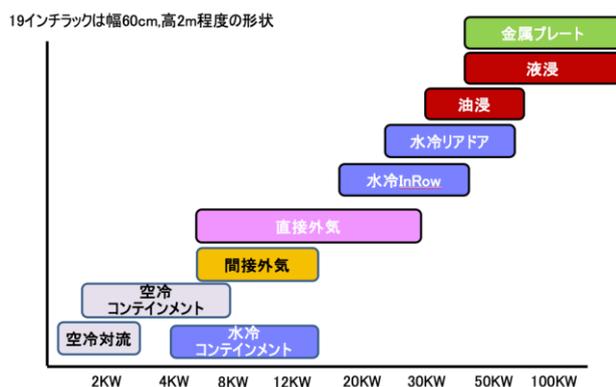
筐体のレベル	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	キャビネット外
冷却法\対象	ICデバイス	プリント基板	サブラック	キャビネット	機械室、屋外
自然空冷	ヒートシンク	-	密閉/換気	密閉/換気	
強制空冷	アクティブヒートシンク	→	ファンユニット	ラックファンユニット	外気導入空調
熱交換器	-	-	-	空冷HEX	
熱伝導	ヒートスプレッド	-	-	-	-
水冷	コールドプレート	水冷ジャケット	水冷ファンユニット	水冷HEX	チラー
アドバンス冷却	-	→	ペルチェクーラー	ペルチェHEX	
エアコン	-	-	-	エアコンユニット	空調

引用元[6]：篠原電機 高発熱時代のデータセンター構築の展望 2019

冷暖房を必要とする居室と違い、データセンターは大量の熱を発生するため、熱移動（排熱、抜熱）のエネルギー消費熱搬送動力を抑えることが省エネとなります。

冷却方式	最初の移動先	熱移動媒体	冷熱源	放熱方式
空冷	空気に熱移動	冷媒	圧縮機	放熱フィン
水冷		水	テラー・冷凍機 外気温	クーリングタワー 放熱フィン
直接外気		空気	無し	外部へ排気
間接外気		冷媒・水	外気温	放熱フィン
間接気化外気		冷媒・水	外気温 噴霧気化熱	放熱フィン
液浸	液体に熱移動	フッ素ナート ノベック 水	外気温	クーリングタワー 放熱フィン
油浸		鉱物油 合成油 水	外気温	クーリングタワー 放熱フィン
水浸		水	上水、海水	水中放熱
コールドプレート	金属に熱移動	金属板→ 冷媒・水	テラー・外気温	放熱フィン
放熱シート	電磁波に熱移動	電磁波	空間冷熱を吸熱	低温真空放熱

サーバ内蔵ファンだけで行う排熱は1ラックにて20KWが限界であり、さらなる高密度化では液体による排熱を行います。



引用元[6]: 篠原電機 高発熱時代のデータセンター構築の展望 2019

3.7 給電による省エネ

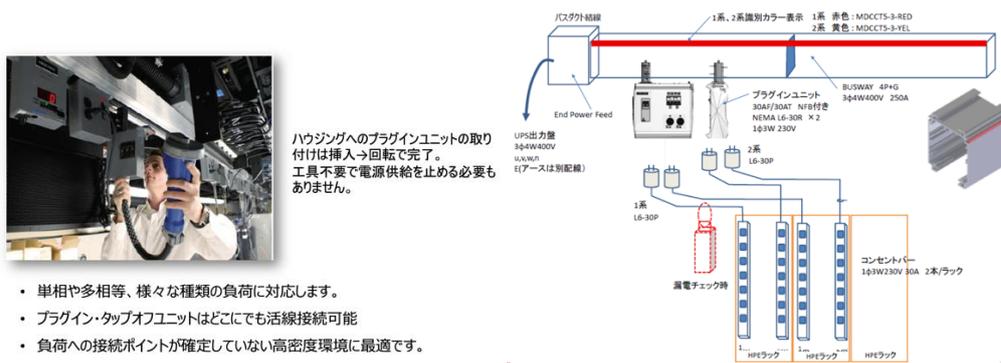
サーバへAC100VもしくはAC200Vで給電するよりも、直流380Vにてラックに給電するとサーバ電源ユニットからの発熱が約30%低減できるため、大手の企業での採用が決まっています。

海外では、Facebookがコミュニティ化したOCP（オープンコンピュータプロジェクト）の直流給電システムが知られています。

ラックに設置される電源コンセントバーへの給電において、バスダクト（バスウェイ）も多く採用されてきました。理由として、

- ・将来におけるラック消費電力予想が難しく、過剰設備になることを防止できます。
- ・停電せずに電気容量設備を増強できるため、増強時コストが低くできます。
- ・世界的に標準な3相4線400Vを使うと当初設備費用も安価となります。

などが上げられます。



引用元[6]：篠原電機 高発熱時代のデータセンター構築の展望 2019

3.8 様々な仮想化技術

膨大な電力消費を全体で減らす為に様々な仮想化技術が開発されています。

3.8.1 サーバの仮想化とコンテナ化

- HCI（ハイパーコンバージドインフラテクチャー）によるオンプレミスサーバの仮想化
- ネットワーク仮想化
- ストレージ仮想化

これらの仮想化技術導入において得られるメリットは、大規模化するデータセンターにおける運用コストを下げ、データセンター無人運用が可能になることであります。

対象	低減する運用コスト
サーバOS	サーバ集約による省エネ
〃	停止を伴わないサーバ引越
コンテナ化	低コストクラスタの構築
〃	稼働していないサーバシャットダウン
HCI	サーバ監視コスト
〃	負荷に対するオートスケールアップ
〃	クラウドサービスとの親和性
ネットワーク仮想化	機器故障自動復帰
〃	流量自動スケールアップ
ストレージ仮想化	故障対応人員コスト

表 3.8-1 様々な仮想化技術

AI（機械学習）技術の発展により、データセンターは大規模化しているが、5Gの進化によるデータの分散化が必要となってきています。分散技術として、「エッジデータセンター」や「フォグデータセンター」が提案され、Google社など一部クラウド大手が複数のデータセンターを同じ仮想化空間として運用しています。

しかし、未だ未だVMwareから始まった仮想化技術は一般化されておらず、これから発展すると思われます。

3.8.2 仮想化が進むデータセンター

これからの仮想化データセンターは、ソフトウェアによる仮想化が主流となります。この対応は、VMware社のからの提供を受けた内容[13][14]を記載して整理していきます。

仮想サーバはひとつの物理的なサーバ上に、論理的に複数のサーバの環境をソフトウェアによって構築したものを言います。利用者は、その他のシステムから論理的にひとつのサーバを独立した

個々のサーバとして認識しますので、通常の物理サーバと同じように扱っています。仮想サーバは、それぞれに個別のシステムやアプリケーションを稼働させて活用することができます。

サーバ仮想化のしくみのおさらい



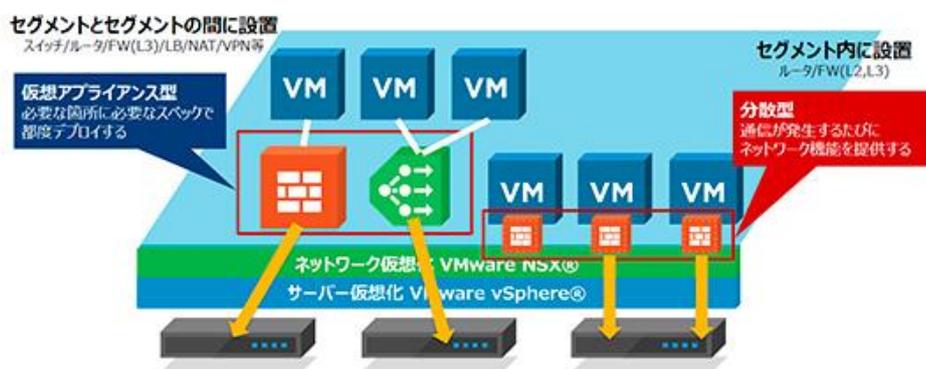
vmware

[15] 引用元：ヴィエムウェア株式会社資料 サーバ仮想化 【抜粋】

つまり、ネットワークの仮想化とは、ロードバランサー、VPN、ファイアウォール、ルーター、スイッチといった要素をそれぞれソフトウェアで仮想化するもので、大きく分けて「仮想アプライアンス型」と「分散型」の2種類の提供形態があります。

ネットワーク仮想化(VMware NSX®)の提供形態

仮想アプライアンス型 / 分散型



vmware

[15] 引用元：ヴィエムウェア株式会社資料 サーバ仮想化 【抜粋】

仮想アプライアンス型は、セグメントとセグメントの間に仮想ネットワーク機器を設置します。分散型は設置する必要がなく、発生するトラフィックに対して都度かかるようにして運用しています。

サーバを仮想化する手法は、物理的なサーバ上にサーバ仮想化ソフトウェアを構築して行います。このサーバ仮想化ソフトウェアが物理サーバのCPUやメモリ等のリソースを論理的に分割するようになります。この各論理サーバ（仮想マシン）に割り当てすることが仮想化となります。

ネットワーク仮想化技術とは、ソフトウェアにて簡単に仮想サーバを立ち上げたり削除するといった運用が可能となります。

データのほとんどはデータセンター内の通信となっています。その中でルーターを経由する通信は半分以下だとされています。ネットワークを仮想化することで、ルーターやファイアウォール機器などの台数を削減し、ダウンサイジングネットワークを構築が可能となります。

また、セキュリティの面でも大きな効果を発揮します。

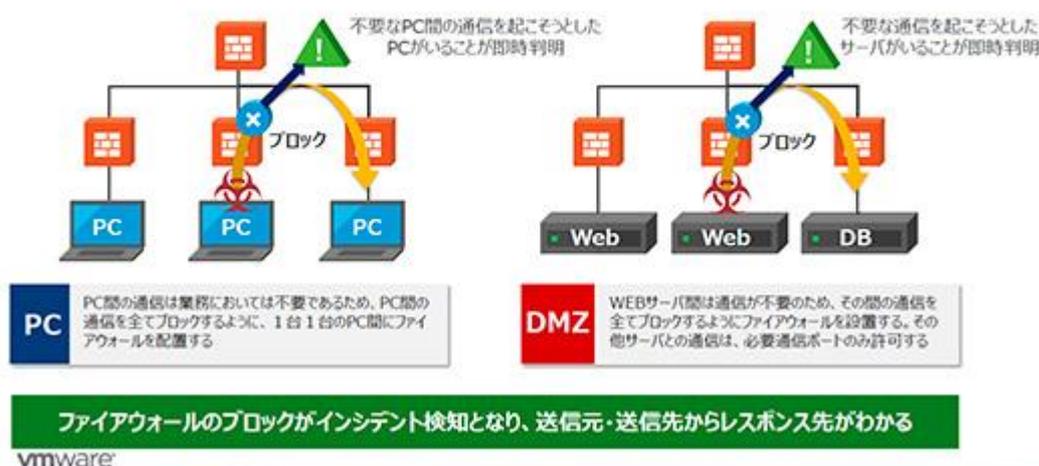
現状、マルウェアの感染を100%止めることは難しい状況です。セキュリティ攻撃を仕掛けられれば、数時間で情報漏洩してしまうこともあります。分散型では、このマルウェアの行動パターンを利用して、より細かくアクセスを制御することが可能となり、効果的なセキュリティ対策を施すことができるようになります。

物理サーバ上で複数の仮想サーバを動作させるメリットには2つの大きなメリットがあります。1台の物理サーバのリソースを有効に活用できるとは、その昔、複数の物理サーバをシステムごとに稼働させているが、実はリソースの半分も使っていないような事例が良くありました。この場合は、仮想サーバを活用することで、サーバのリソースをフルに活用出来るようになります。

サーバが必要になっても、すぐに調達が可能になります。つまり、サーバが急に必要になったとしても、今まではサーバ購入のための事前の作業が必要でした。仮想サーバであれば、使いたいときにすぐに仮想マシンを稼働させることが出来ます。

PCとDMZにおける100%防げなかったマルウェアへの設計対策

不必要な通信をブロックする設計にすれば、マルウェアの動きを利用して普遍的に検知できる



[14] 引用元：VMware株式会社資料 ネットワークの新時代へ 【抜粋】

マルウェアは感染したPCを起点にActive Directoryのようなディレクトリサービスを探したり、自身のIPの隣のIPを探ったりの動作を行います。この場合、PC間の通信はほとんど発生しないので、これをブロックします。WebサーバとDBサーバの通信は頻繁に行われるので必要なポートへのアクセスのみ許可することで対応ができます。

次にストレージの仮想化です。VMware社においては、一般的なx86サーバの内蔵ディスクを使用して仮想的な共有ストレージを構築できます。これにより、専用のストレージ機器やSAN（ストレージエリアネットワーク）を用意する必要がなくなり、コスト面や管理面に優れ、かつ容量の融通なども利く、ストレージシステムが実現します。

4. 配線

4.1 データセンター配線に関する課題

データセンターには、（場合によっては複数の）キャリア回線を引き込み、データセンター内のハウジング設備と接続しています。また設備増設等に伴う配線変更頻度も比較的に高くなります。

データセンター内配線においては、下記の課題が懸念されます。

4.1.1 回線増による配線管理の煩雑化

- ・回線増設スペースの制限

設備需要の増加に伴い、接続回線も逐次増設する必要が生じます。追加需要の都度ケーブル追加を行うような場合、増設箇所に偏りが生じ、増設スペースの逼迫を招く恐れがあります。特にフロア間回線（タテ系）が不足すると、当該箇所の追加ケーブル敷設には多大な工数・コストを要するうえ、建物構造によってはそもそも追加敷設が困難となる場合が起こり得ます。

- ・架前配線の乱雑化

回線不足の都度、追加配線施工を行うような場合、当該回線を収容するパッチパネルにおいて五月雨的なケーブル増設を招くこととなります。その結果、パッチパネル架前配線の乱雑化（いわゆるスパゲティ化）を引き起こす要因となります。

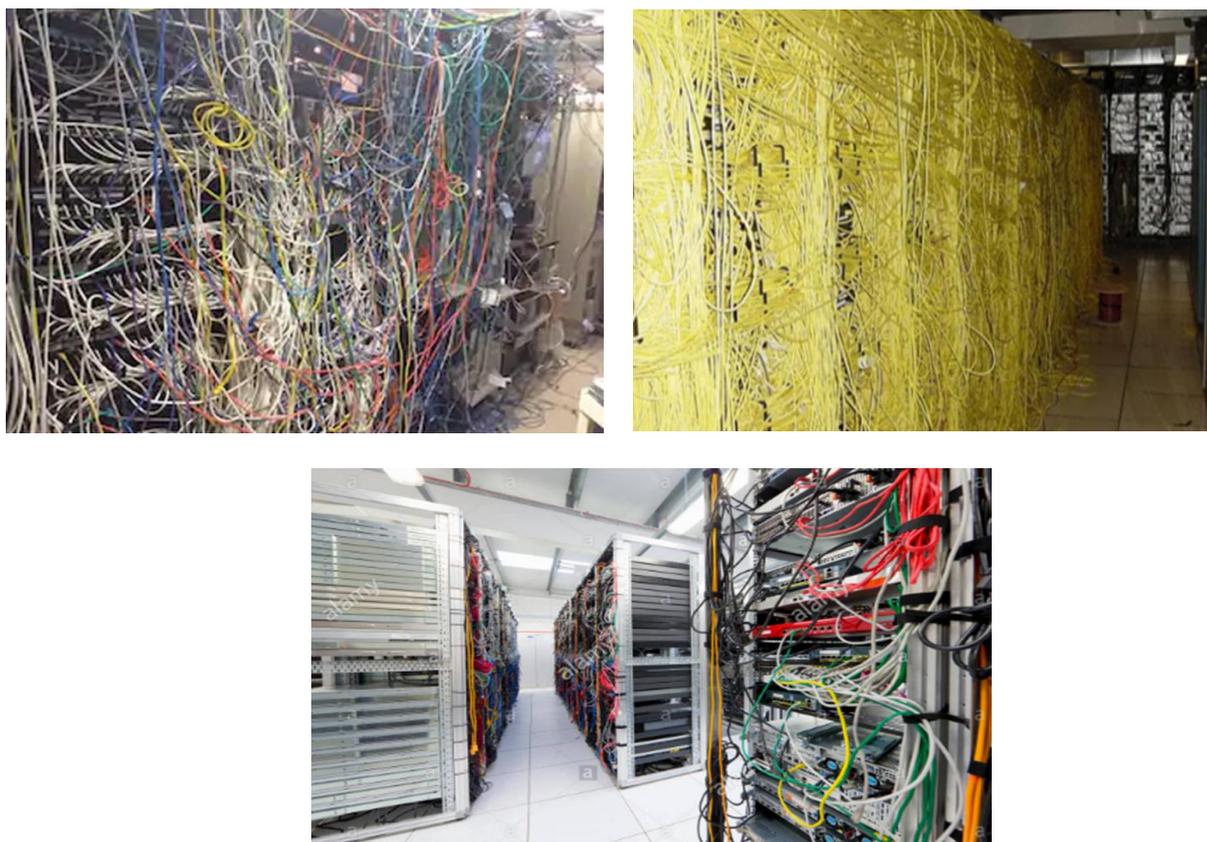


図 4.1-1 配線スパゲティ化の事例

- ・空調効率の低下

ケーブル本数の増加、都度増設に伴う乱雑さの増大により、空調のエアフローへの影響が想定されます。特に、床下空間を活用し空調を行うような場合、床下空間の狭隘化によりエアフローが阻害されると、空調効率が低下し、PUE 悪化の原因となり得ます。

- ・履歴管理との連動性

配線状態の変更に応じて、配線管理 DB に逐次反映する必要があります。配線変更の頻度が高くなると、DB 変更稼働も増大します。また、反映漏れを防止するため、DB 突合が必要となり、更なる稼働増大要因となります。

- ・段階的な配線工事

設備投資効率を考慮すると、需要が顕在化してから設備増強工事を行う場合が一般的です。この場合、需要増加の都度、五月雨的に配線工事を行うことになり、配線乱雑化等の要因となり得ます。

4.1.2 人手による配線作業

- ・少子高齢化による配線作業員不足

日本社会は既に少子高齢化が進行しており、特に生産年齢人口（15歳以上65歳未満）は2000年を100とした場合、2015年に90、2030年には80に減少すると予測されています（内閣府「日本経済2019-2020 ー人口減少時代の持続的な成長に向けてー」）。そのため、「人間の存在を極力なくし自動化を進める業務」と「人間が付加価値をつける業務」を切り分け、効率的かつ創造的な業務遂行が求められます。

- ・働き方改革による稼働時間の制限

上記の生産年齢人口減少に加えて、働き方改革により従来の長時間労働に依存した業務形態を脱却し、より効率性を高める業務形態への移行が求められています。

- ・DCセキュリティ強化による入室管理の強化、煩雑化

データセンターではセキュリティ対策を強化し、マシン室入室管理を徹底しています。入室予定者を事前登録し、場合によっては車両番号を登録します。作業当日には入室者が事前登録者と相違ないことを身分証明等により確認し、指紋登録を行います。その後指紋照合しマシン室に入室、配線作業を行う流れとなります。このように入室管理手続きの煩雑化に伴い多大な稼働を要します。

- ・接続変更のリードタイム

データセンターにおける回線開通のために配線作業を要する場合には、作業者をアサインする必要があり、また上述の入室管理手続きに要する期間をふまえて、開通までのリードタイムが存在します。そのため、顧客目線では「開通を待たされる」状態であり、また事業者目線では課金開始が遅くなることとなります。

- ・誤接続の懸念

手作業による配線変更を行う場合、ヒューマンエラーによる誤接続・誤抜去の懸念が付きまといます。正確な作業を実施するには、複数名による指差し確認など、稼働を要し作業効率上のボトルネックとなります。また、誤抜去回避のため廃止済み回線の接続が残置されるケースが散見され、設備利用効率の低下を招くとともに、物理接続の乱雑化に拍車をかける懸念があります。

4.2 配線課題解決の方向性

前節に述べた配線課題を解決する方向性として、配線管理の効率化、配線作業の自動化によるアプローチを示します。

4.2.1 配線管理の効率化

- ・物理配線を事前施工し必要回線のみ有効化

従来のような、需要が顕在化してから設備増設工事を行うのではなく、物理配線を全て事前施工し必要回線のみ有効化するアプローチです。需要が発生しても都度配線工事を行う必要はなく、回線有効化をコマンドベースで制御すればよいこととなります。

需要発生前に施工を済ませておくため、需要が少ない段階では未使用設備が多く設備使用率が非効率となりますが、都度配線に伴うコストとのトレードオフとなります。

- ・架前配線の整理

初期設備構築段階においてケーブル敷設や架前配線を計画的に実施し、五月雨的な配線増設を行わないことによって、物理的な配線乱雑化要因を極力排除し、整然とした配線状態を保つことが可能となります。

- ・空調効率低下の防止

上述のとおり都度配線増設を行わないことにより、エアフロー障害要因を極力排除し、空調効率低下を防止することが可能となります。

- ・履歴管理の容易化

必要回線の有効化処理と連動して配線履歴管理を行うことにより、配線管理 DB の逐次更新が容易となります。また、配線履歴を管理することにより、時系列での変更履歴を管理可能となります。

4.2.2 配線作業の自動化

- ・配線作業員確保が不要

物理配線を事前施工し必要時に当該回線のみ有効化するアプローチにおいては、コマンドベースでの対応が可能であり、配線作業の自動化を実現可能です。これにより、配線作業のための要員確保が不要となります。

- ・遠隔作業に伴い DC 入室不要

当該アプローチにおいては、コマンド投入作業は遠隔より実施可能となり、データセンターのマシ室内作業は不要となります。これにより、入室登録等の手続きを割愛することができ、稼働削減につながります。

- ・24×365 稼働に伴い、オーダー増が可能

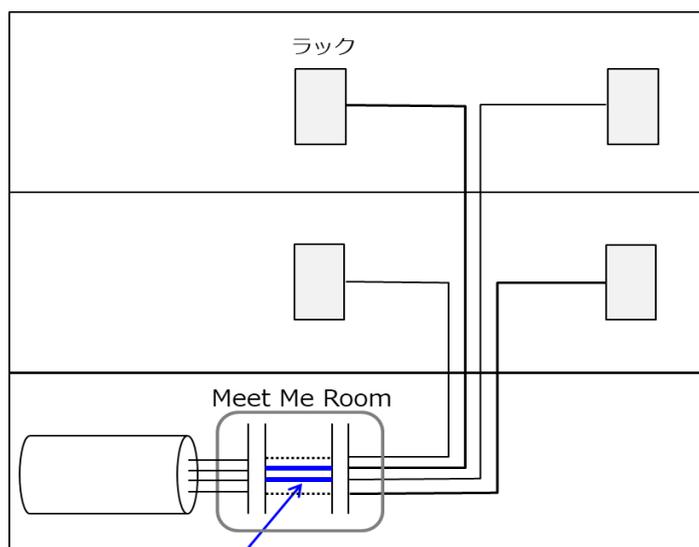
配線作業の自動化は作業自体の時間的制約を解放する方向に導きます。オーダー種別、ユーザ属性と配線対象箇所の関係性を事前に定義することにより、最大で24×365での回線開通も可能となり、開通オーダーを増加させることが可能となります。

- ・接続変更のリードタイムの短縮化

回線開通の都度の物理配線変更作業を必要としないため、オーダー開通までのリードタイムを短縮可能となります。これにより、迅速なサービス提供、課金開始が可能となります。

- ・ヒューマンエラー回避による接続正確性の向上

架前での都度配線作業を必要としないことから、手動作業に伴うヒューマンエラーのリスクを回避可能となり、接続正確性の向上につながります。あわせて、従前のリスク回避手段であった廃止回線の残置が不要となり、設備利用効率向上につながります。



物理配線を事前施工し、必要回線のみ
オンデマンドで有効化

図 4.2-1 配線作業自動化の概念

4.3 スイッチングアーキテクチャ

図 4.3-1 にスイッチングアーキテクチャの変遷を示します。

回線規模が少ない段階では、Spine-Leaf 間をフルメッシュに接続しても管理可能ですが、回線数が増加するにつれて収容ノード数が増大し、フルメッシュ構成では複雑化し構成管理が困難になります。そのため、Spine-Leaf 間接続用クロスコネクタ機能を導入し、構成管理を容易化することが望ましいです。

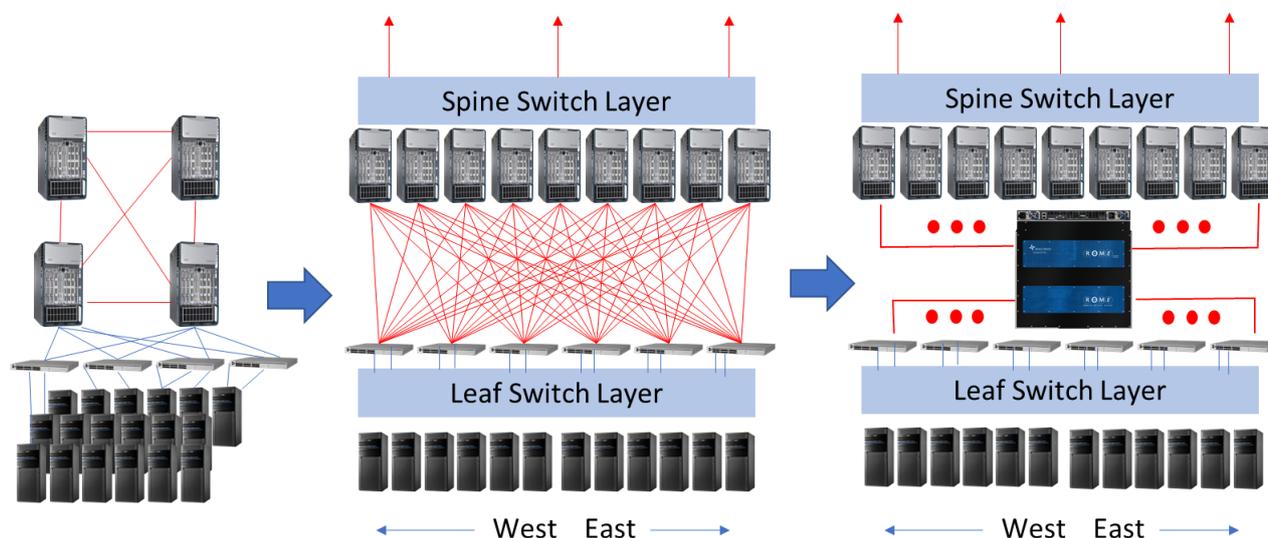


図 4.3-1 スイッチングアーキテクチャ

4.4 配線管理のフルオートメーション化に向けて

ネットワーク管理形態として SDN(Software Defined Networking) を活用する方式が浸透してきています。SDN コントローラが OPEN API 等を介してネットワーク装置を管理するものであり、全ての管理・制御がソフトウェアベースで実行されます。

L3 の IP ネットワーク機器、L2 のイーサネット装置等は既に SDN 対応が一般化しており、L1 の伝送装置にも浸透しつつあります。一方、L0 の物理レイヤ装置においては、従来はソフトウェア制御が困難で、ネットワーク制御を一元化するにあたってボトルネックとなっていました。

L0 装置の制御をソフトウェアで実行可能とすることにより、L0～L3 各レイヤでのフル SDN 化が可能となり、オペレーションの一元的フロースルー化を実現可能となります。データセンターにおけるネットワーク制御においても、このようなフル SDN 化が今後主流になるものと考えられます。

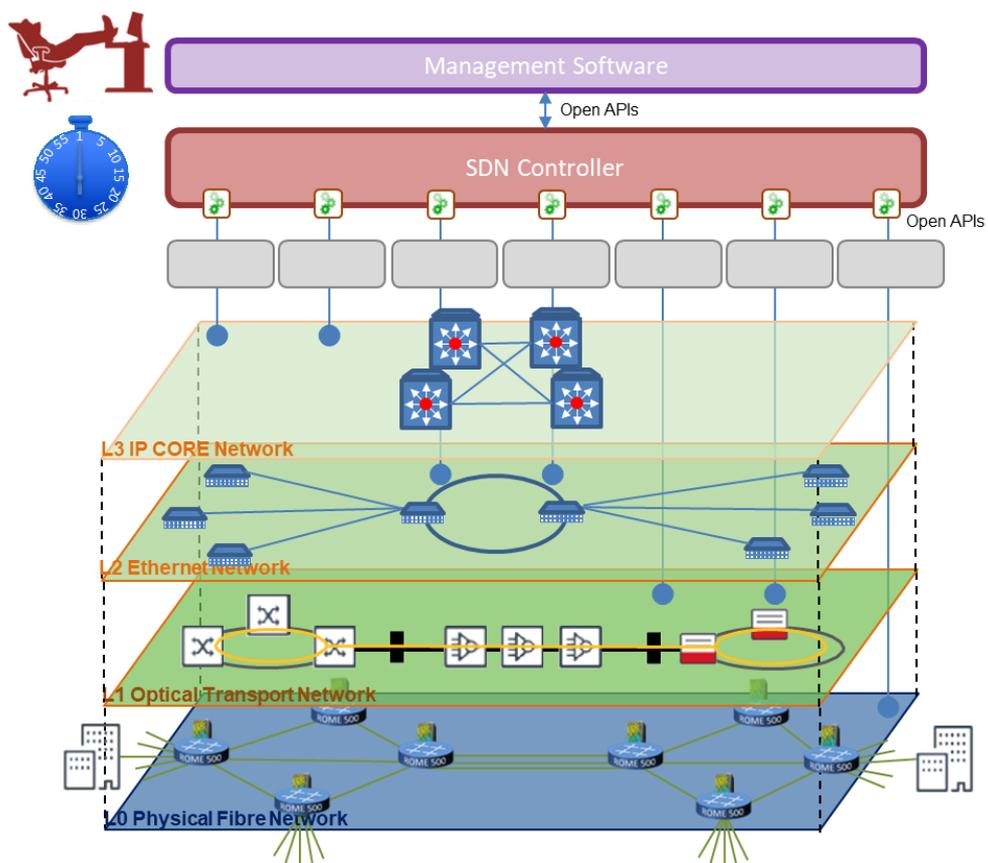


図 4.5-1 L0～L3 フル SDN 化の概念

5. L1 保守[15]

5.1 手動検査の限界

データセンターには、可用性と信頼性、不正アクセスや情報漏えいを防止するセキュリティ対策、膨大なデータの安全な保管とバックアップ、災害対策などにおいて、厳しい要件が課せられています。

こうした要件を満たすため、データセンターにはさまざまなリスクから情報システムを守り、サービスを継続させるべく、施設の企画、設計から施工、保守・運用管理までのトータルなファシリティマネジメントが求められています。

DC 保守運用におけるペインポイントについては、つぎのような2点が考えられます。

課題1：保守運用コストが高く、手動検査は約55%

課題2：手動検査による問題検出の効率が低い

運用保守のコストが高く、多くのDCの場合、平均10年間人による保守運用コストは約5.4M\$/1000Rackとなっており、あるDCの例、手動検査は保守運用工数の約55%（7*24時間、シフト制、6~10回/日）となることがわかっています。保守運用の分析を図として示します。

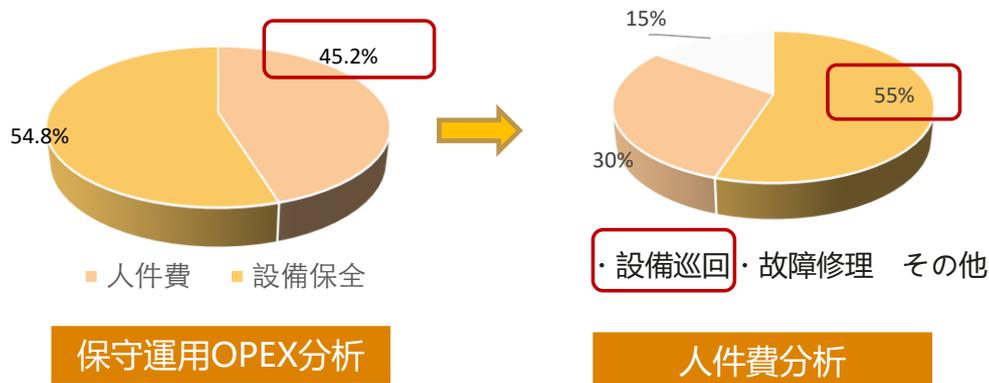


図 5.1-1 保守運用の分析

課題2の手動検査による問題検出の効率が低いことは、データセンターの自動監視は、デジタル機器/パラメータのみを対象とし、非デジタル機器の場合、手動検査に依存している。手動検査による問題検出の効率は低い（障害の20%のみ検査により発見）ことが確認されています。

設備手動検査：“記録，見る，聴く，嗅ぐ”						
検査内容		変圧器	低電圧配電	UPS	電池	空調
記録	パラメータ検査・記録	√	√	√		√
見る	開閉位置確認		√			
	遠隔制御スイッチ位置		√			
	インジケータ状態		√	√		√
	ディスプレイが正常か否か		√	√		√
聴く	設備内部の異音があるか					√
嗅ぐ	設備内部に異臭があるか	√	√	√	√	



表 5.1-1 データセンターの手動検査の一覧

現在制御システムにおける課題は、非デジタル設備／パラメータは手動検査に依存していることが確認されていることが整理されています。

No.	検査内容	検査対象							新たな検査方法
		変圧器	低電圧スイッチキャビネット	UPS	コンデンサーキャビネット	APF キャビネット	電池	精密空調	
1	開閉位置インジケータは実際の操作モードと一致		√					√	AI 画像識別
2	位置：操作モード選択スイッチの位置が正しいか		√						
3	インジケータライト（黄色、緑、赤など）		√		√			√（BCB）	
4	ディスプレイが正常か	√ （監視モジュール）	√	√	√	√		√	
5	目視検査（滴下/変形/異物）	√	√	√	√	√	√	√	
6	配電盤と電機の内部に異音はあるか	√ （銅メダル緩み、ファン異常、高湿度、結露、断熱材の損傷）	√ （銅バーの緩み、ファン異常）	√ （ハウリング電流、異常ファン）	√ （コンデンサ内部の放電音）	√ （ハウリング電流、異常ファン）		√ （ファン異常、ほこり）	AI 音声識別
7	配電盤と電機の内部に臭いはあるか	√ （焦げた）	√ （焦げた）	√ （焦げた+酸っぱい）	√ （焦げた+酸っぱい）	√ （焦げた+酸っぱい）	√ （焦げた+酸っぱい）	√ （焦げた）	臭気検知
8	ファン（稼動か否か）	√	√ （4KA以上）	√ （モジュール、風の確認）	√	√ （モジュール、風の確認）		√	データ融合
9	温度	√ （バス温度）	√ （バス温度） √ （ハンドヘルド赤外線機器）	√ （バス温度） √ （ハンドヘルド赤外線機器）			√ （バス温度） √ （ハンドヘルド赤外線機器）		温度センタまたは道具
10	パラメータ検査	√ （三相温度）	√ （電圧、電流、電気メータ、高調波、欠相有無）	√ （電圧、電流、負荷率、バッテリーパラメータ、アラームチェック）	√ （力率、入力チャネル）	√ （調和コンポーネント、警報）	√ （水素）	√ （温度と湿度、警報）	データ融合

表 5.1-2 手動検査の種類と項目

手動検査の課題について、整理するとつぎのようになります。

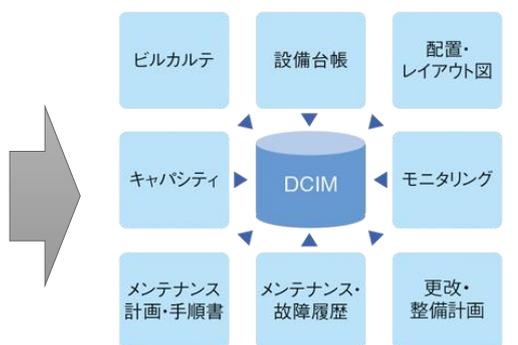
DCにおけるL1の設備（例えば、冷却システム、電気供給配送）に対する保守運用は、定期的に巡検が必要である（1000ラック規模のDCの場合、7D24H、20人体制）。巡検は、目視などによるの発見を目指します。

現在、巡検の代わり、カメラ、センサーもあるが、やはり限界があります。また、AGVなどロボットの巡検も、コスト、場所により柔軟な対応は難しいです。

L1保守の電源系故障については、DCにおけるL1保守運用の故障の多くはUPS、配給電ラック、発電機から発生します。温度、電流センサーなどでデータを分析し劣化傾向分析する手段がありますが、正確性に限界があります。

5.2 BIM情報の適用と課題

BIM+DCIMの取り組みの事例を整理すると次のようになります。[17]

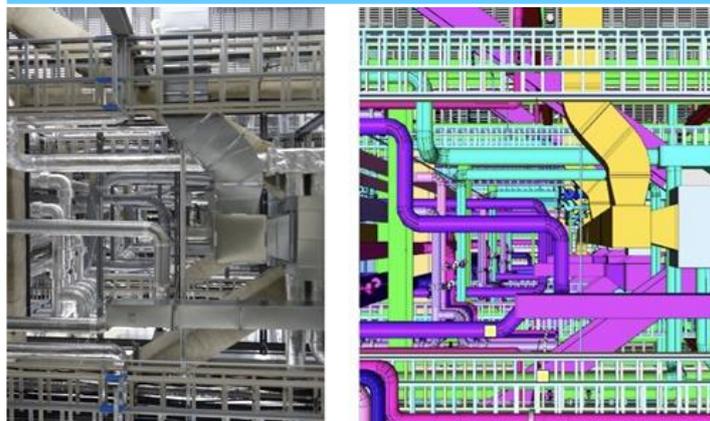


データセンター障害の原因
出典： IDC# JPJ43160517 (October 2017) [17]

NTTファシリティーズが開発したDCIMの概念図

このモデルを3D化して可視化を行うとより整理することが可能です。

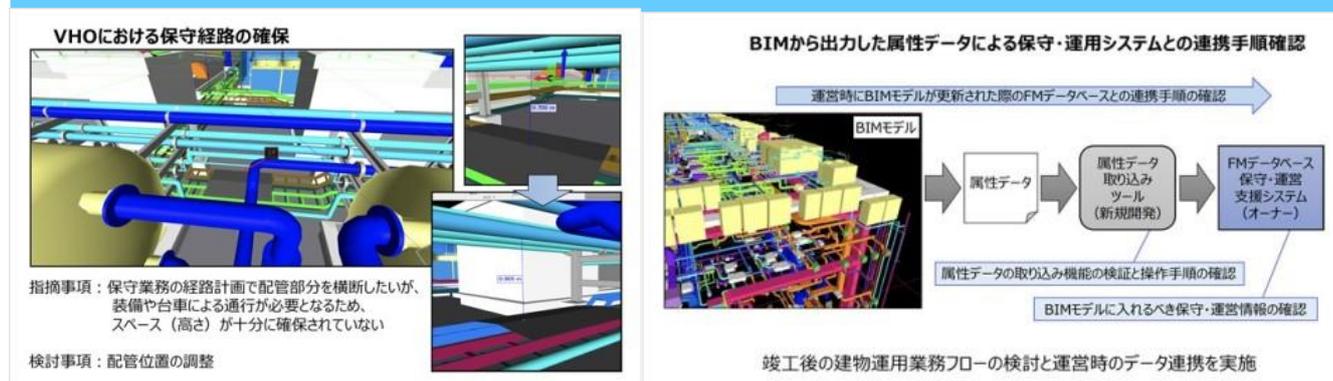
BIM 3D可視化



引用元[18] : <https://ieiri-lab.jp/it/2018/05/ntt-data-center-big-ipd.html>

BIM 保守運用モデルの構築をすることが、主流となってきており、保守運用のモデルを示します。

BIM保守運用モデルの構築



引用元[18] : <https://ieiri-lab.jp/it/2018/05/ntt-data-center-big-ipd.html>

DC のライフサイクルにおける各段階(設計、保守運用など) で BIM モデルが有効と考えられています。

またセンサーなど導入により DC の L1 設備のデジタルツインの実現が可能になっています。この BIM モデルとデジタルツインは、保守運用のどのような場面に適用できるか、ベストプラクティス(保守運用の適用例)を踏まえ、課題や解決策を検討していくことが必要であります。

5.3 DCIM as a Service の適用と課題

DCIM サービスの例を示します。[18]Nexcenter カスタマポータルからシームレスにデータセンター内のシステム運用状況の確認、ラック内の機器や配線管理ができます。

DC 内の温度や湿度、機器の状態、利用電流値、空調稼働状況などの可視化により、柔軟かつ効率的な運用と将来の拡張計画に役立てることが可能であります。

万が一のトラブルの際も、顧客と DC スタッフとの間で設備運用状況の画面を共有できるので、迅速でスムーズなトラブル解決ができます。

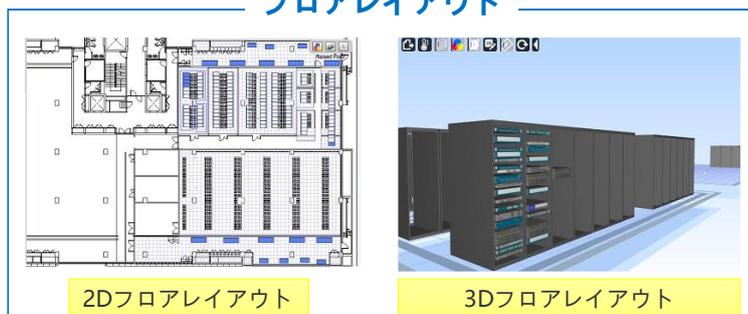
データセンター設備のリアルタイムモニタリング

Data Point	Value	Date/Time
Branch 1 - Branch Current (Amps AC RMS)	0.37	4/23/2018 10:20 PM
Branch 2 - Branch Current (Amps AC RMS)	0.17	4/23/2018 10:20 PM
Branch 3 - Branch Current (Amps AC RMS)	4.91	4/23/2018 10:20 PM
Branch 4 - Branch Current (Amps AC RMS)	5.54	4/23/2018 10:20 PM
Branch 5 - Branch Current (Amps AC RMS)	0.22	4/23/2018 10:20 PM
Branch 6 - Branch Current (Amps AC RMS)	0	4/23/2018 10:20 PM
Branch 7 - Branch Current (Amps AC RMS)	0	4/23/2018 10:20 PM
Branch 8 - Branch Current (Amps AC RMS)	0	4/23/2018 10:20 PM
Branch A - Branch Current (Amps AC RMS)	1.79	4/23/2018 10:20 PM
Branch B - Branch Current (Amps AC RMS)	1.76	4/23/2018 10:20 PM
Branch C - Branch Current (Amps AC RMS)	2.59	4/23/2018 10:20 PM
Branch D - Branch Current (Amps AC RMS)	2.47	4/23/2018 10:20 PM

<電流>

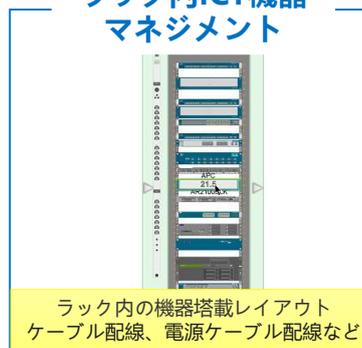
<温度・湿度>

フロアレイアウト



2Dフロアレイアウト

3Dフロアレイアウト

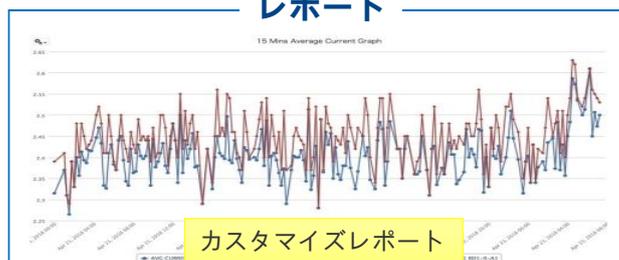
ラック内ICT機器
マネジメントラック内の機器搭載レイアウト
ケーブル配線、電源ケーブル配線など

サーバールーム監視・通知

<閾値設定>

<警報通知>

レポート



カスタマイズレポート

[19]引用元：<https://www.ntt.com/business/services/data-center/colocation/nexcenter/dcim.html>

DCIM as a Service の課題におけるデータセキュリティを整理します。

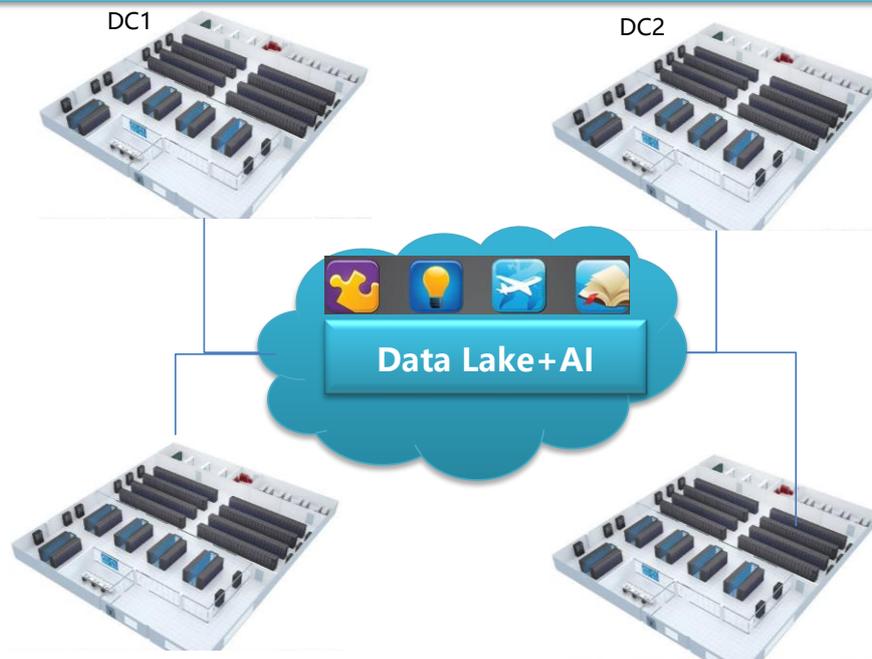
データはデータセンター管理の基盤であり、As a service はデータを水平的に活用する手段であるといえます。

データはDCMをスマートにさせますが、データセキュリティは懸念されます。

DCIM as a Service という保守運用モデル（例えば、Schneider 社）は出ており、保守運用コストが削減できるというメリットがある一方、L1 保守運用データをクラウドに上げる必要があります。

このモデルに対して日本はニーズや導入事例があるのか、どのようなケースで導入されているのか、導入事例を踏まえ、課題（セキュリティ、保守運用に関する情報など）や対策を検討していくべきです。

また、今後エッジコンピューティングが普及することにより、エッジクラウドが増えると考えられます。

課題: データセキュリティ

As a service クラウドベースアーキテクチャによりデータのサイロ化を解決可能

データセンターの保守運用に、アドホックな問題の切り分けなどオンラインの専門家サービスが7D24Hで提供されています。

このようなサービスの利用を検討しているか、利用しない場合、どのような課題（セキュリティ、保守運用に関する情報）を考えられるか、課題と対策を検討していくことが重要であります。

6. 今後の課題

6.1 データセンターのリスク

2020年新型コロナは100年前のスペイン風邪やその後の世界恐慌より大きな被害を与えました。2011年東日本大震災も現地は無論、日本中に被害を与え今日も完全復旧していません。これら災害は突然発生し防げなかったかと言うとそうでなく、事前に様々な警告がされてきましたがそれらを真摯に聞かず対策を怠った事が大きいです。約20年前にSARSやMARSの被害を受けた台湾や韓国は、新型コロナでは見事な対応を行いました。しかし日本は当時被害が無く、専門家は将来必ず日本にも来るから今から準備をせよと何度も警告しましたが、結果は皆の知る通りであります。データセンターも同様に事前に分かるリスクが多数あります。311の時に情報は電気や交通より重要である事が証明されました。人々はそれらが止まっても情報が止まらないのでパニックを起こさずに生活できました。電気や交通は止まれば目に見えるので分りますが、情報が止まると何が起きているか全く分からずより不安になります。その情報を一手に請け負っているのがデータセンターであり、311の時とは比べようも無い程、重要度が拡大した社会インフラであります。次に具体的なリスクを簡単に記載します。

6.2 目に見えるデータセンターのリスク

目に見えるリスクはデータセンター設計構築時に検討するので、一般的にはクリアしている事が多いと思われます。しかし時代変化に伴い従来では予想もしなかった新たなリスクが発生します。それら目に見えるリスクを丁寧に一つ一つ解消しなくてはならないです。

6.2.1 地震、活断層、津波、液状化

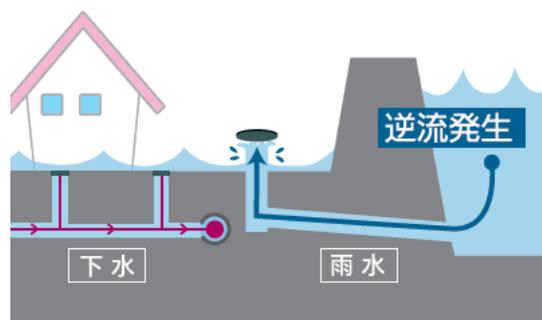
全ての日本データセンターは地震対策が万全であると予想できます。しかし既設建物を再利用したデータセンターは免震・制振構造で無い事が多いので新たな対策が必要です。

一方ラックの静止荷重が1トン超の機種が増えて来ましたが、1トン分の実機搭載をし、耐震性能でNTT基準値をクリア出来る、耐震荷重1トン+ α 級は数える程しか無いのが実態です。

6.2.2 水害、ゲリラ豪雨

水害は100以上前の古地図を調査して過去の状態を調べる必要があります。過去に水害が発生した場所なら、例え現在都市化が進んでいる土地でも再度発生する可能性があります。

大半のデータセンターは地下に電気設備があると思われます。ゲリラ豪雨や台風等の集中豪雨で地下に大量の水が流れ込む可能性が有ります。河川が逆流し街や地下に浸水する事象が最近発生しました。したがって地下の電気設備はリスクであります。



[20] 出典：福岡市総合ハザードマップ https://webmap.city.fukuoka.lg.jp/bousai/f_portal.html

6.2.3 原発

原発は311で四つのリスクが判明しました。

①爆発に伴う γ 線放出、②大気に放出する放射性物質、③冷却の為の水汚染、④心理と風評被害、データセンターは原発から約80km 離して構築する事が一般的に言われます。これは100万KW級の原発が爆発した際に直撃を受けない距離です。 γ 線は防ぐのが困難故に距離を離すしか対応策はありません。大気中に放出された放射性物質は風の影響でより遠くへ飛ぶ事が分かり、安全な距離や方角は存在しません。他原発では普通に廃棄している基準値以下のトリチウム汚染水を福島原発では廃棄する事が風評被害に繋がり廃棄出来ません。心理や風評被害が最も重大なリスクかも知れません。

6.2.4 台風、竜巻、落雷、噴火

ここ数年風速40m/秒を超える強大台風が関東関西を直撃し多数の被害を出しました。

都市部の設備は耐30m/秒級が多く基準を上げる必要があり、竜巻も同様であります。

高圧受電のデータセンターは経路が物理遮断される事があるので複数経路が欲しい所です。

都市部の建物への落雷被害は少ないですが、太陽電池を導入している場合経路上の横流（落雷の大電流が混在しデータセンター内部の設備や機器に影響を与える）に注意を払う必要がありです。

東京の最大リスクは火山噴火であります。パウダー状の粉塵が飛来し外部設置の冷却機に多大な被害を与え、最悪冷却設備が停止しデータセンターが運用停止に陥ります。



[21] 出典：

内閣府 富士山ハザードマップ検討委員会報告書 より

6.2.5 危険物

記憶に新しい爆発は天津の化学物質タンク爆発であります。日本では化学タンクは化学プラント企業の埋立地敷地内にあるので、データセンターの近隣にある事はほとんど無いのでさほど気にしなくて良いと思われまます。

目に見える危険物は都市ガスタンクでそれらとは距離をおくべきです。最近数が減少中です。

地下のガソリタンクは危険に見えますが天災でも爆発した事は無い様です。

小麦のような細かい粒の貯蔵タンクは危険であります。これらは埋立地でなく一般の港湾倉庫と混在している事もあり外部から分からない事も多く注意を有します。

6.2.6 空からの脅威

航空機の経路下にはデータセンターを構築しません。ただ2020年東京都心に従来とは違う航空路が設定され、池袋、新宿、渋谷はリスク地帯になりました。ただ大阪も福岡も都市の上を航空機が過去何十年も飛んでおり、経路下にはデータセンターが存在します。



[22] 出典：国土交通省 <https://www.mlit.go.jp/koku/haneda/action/>

6.2.7 軍事基地、テロ

日本では軍事基地を狙った攻撃やテロは過去発生していないが、今後もないとは言いきれません。基地の近くは高出レーダと合わせて避けるべきであります。



[23] 出典：航空自衛隊 <https://www.mod.go.jp/asdf/ashiya/kichishoukai/index.html>

6.3 目に見えないデータセンターのリスク

目に見えないリスクはデータセンター設計時に検討すべき項目ですが、一般的には意識されていない事が大半であります。それは物理的被害が発生しない為でもあります。より複雑な時代では目に見えるリスク被害は限定的であります。目に見えないリスクは最悪そのデータセンターを全否定される事すらあります。よって目に見えないリスクはより丁寧に一つ一つ対応する必要があります。

6.3.1 設備ライフサイクルのリスク

殆ど全ての関係者が悩みを感じています。建物は約50年、建物補修が約25年周期、電源と空調設備は約15年周期、バッテリーは5年～8年周期、動作するIT機器は3年～5年周期的、発電機の軽油は生物なので約2年周期と複雑であります。建物は二世代の運用が想定されますが、果たして25年後にその建物で新データセンターを構築出来るのでしょうか？近年は空調と建物を一体化したデータセンターが多く、25年後もその空調システムが使えるとは考えにくいです。

事実2000年頃に構築したデータセンターは2KVA/Rackの能力程度で主用途はコロケであり、今日のニーズには対応出来ません。空調や電気設備のみを最新にしても投資額の割にさほど能力は上がり、建て直すか廃棄するかを選択に迫られています。事務所に利用するには窓もなく再利用できず、倉庫で使うにも床荷重や階高が不足です。以上より新設の建物型データセンター構築はそれ自体リスクです。今後作るのならば、空調や電源の設備更新時期にライフサイクルを合わせた構造物で建築すべきであります。

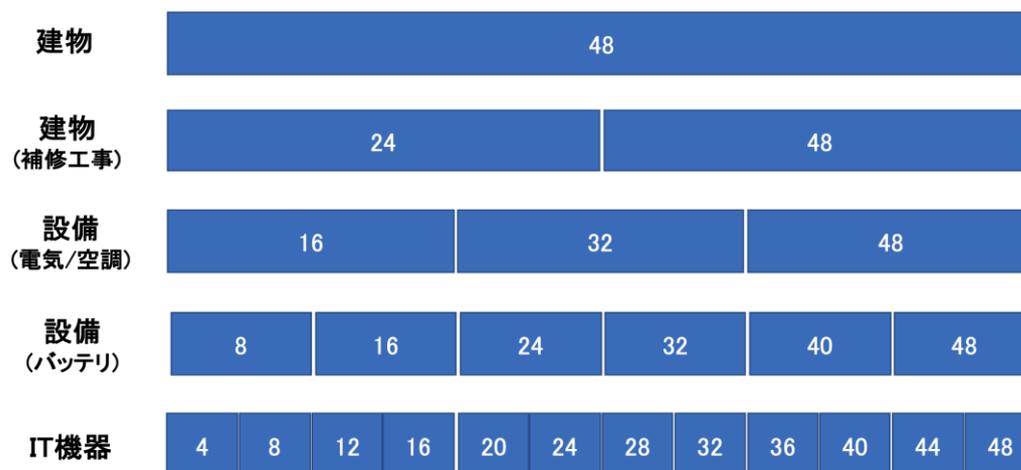


図 6.3-1 ライフサイクルの模式図（簡単にする為4年間単位で記載）

6.3.2 大規模データセンター自体のリスク

IT業界は集中と分散を繰り返し、今日のデータセンターは集中型で効率を意識しより大規模化へ邁進しています。昔の対艦巨砲主義と同じです。そして時代は常に新しい流れを作り古い体制を破壊して来ました。とは言え、分散型データセンターの出現は決定打が無く今は過渡期であると思われます。反対に向こう25年間より大規模化が進むかは現時点では不明です。ただ技術が根本的に変化した時、例えばシリコンのノイマン型は存在しなく、量子コンピュータやバイオ系コンピュータが主流になったら、今日の空冷式大規模データセンターの存在は不要になると予想します。

つまり大規模データセンターはそれ自体がリスクです。無論今日では最重要な価値となっております。

6.3.3 空気品質のリスク

データセンター自体への被害ではなく、働く人へのリスクであります。タバコと同様に職場環境の健康被害に注意します。悪環境データセンターは良い人材が確保出来ないこととなります。

ビル管理法では次の数値が決められています。監視項目としてはこれだけでは不十分です。

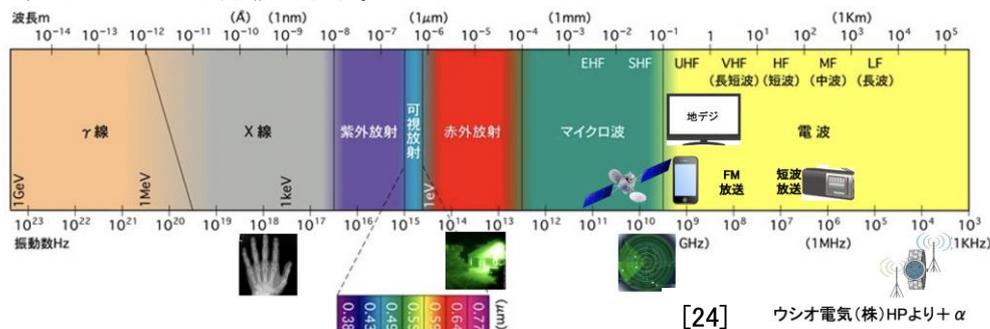
浮遊粉じんの量	0.15 mg/m ³ 以下
一酸化炭素の含有率	100 万分の10 以下 (=10 ppm 以下)
二酸化炭素の含有率	100 万分の1000 以下 (=1000 ppm 以下)

対象はCO、CO₂、PM_{2.5}/1.0、H₂Sに代表される有毒ガス、TVOC、HCHO、放射

線(γ)線量、バクテリア、カビ、細菌、ウイルス等多種であります。それらを常に監視して数値を公開する必要があります。

6.3.4 電磁波、EMP のリスク

電磁波は波長が変わる事で、電波、光、放射線と性質が変わります。近年スマホやパソコンが人体に影響を与える報告書がありますが、稀ですが電磁波がデータセンターのIT機器に影響を及ぼした事実があり、そのリスクを記載します。



放送波は大電力でも周波数が低く連続波なので影響を与える事は少ないです。

高出力レーダで注意が必要なのは気象用ドップラーレーダとイージスやペトリオット等の軍事用レーダです。共に高い周波数、大電力、パルス波で条件が悪ければ影響を受けます。気象レーダは場所と時間が公開され特定出来ますが、軍事用レーダは神出鬼没で何時何処にあるかは機密なので周辺を注意深く見守るしか対策は有りません。

EMPは新しいリスクで大きく二つあります。①核兵器の大気圏内爆発、②太陽フレア。

核兵器爆発が実際あればデータセンター運用どころではなく、考えても仕方がない事です。

太陽フレア被害は現実に過去幾度か発生し大きな被害を出しています。最近では技術進歩で太陽気象台があり、太陽の状況をリアルタイムで監視でき、そこを注意深く見守ることが必要です。

電磁波やEMP対策は電磁シールドの設置か、地下深く埋めるしかありません。しかしデータセンターは大量の発熱をし、その熱を外部に放出する必要があります。逆に電磁シールドは外部から蟻一匹通さない完璧な閉域空間を作る必要があります、正反対です。つまり一般的な空冷IT機器は使用できず、熱伝導で外部に熱を逃す方式等が求められます。そのシールド性能値を保証出来る数値はありませんが、米国 MIL-STD-461 RS105 規格では50KV/mでの対応を求められて、一つの基準です。



[25] 出典：気象庁及び防衛装備庁 HP より抜粋

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/radar/kaisetsu.html>

<https://www.mod.go.jp/atla/saiyou/gallery/sobihin.html>

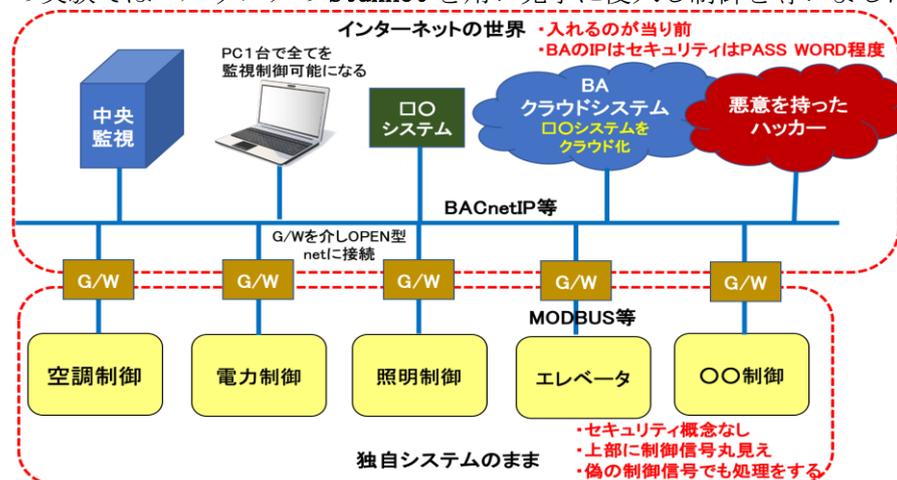
強力な電磁波の話ではありませんが、宇宙からの放射線を意識する時代になりました。最近発表で

量子コンピュータの量子の動きが宇宙線に左右されやすく、強力なシールドが必要であるとの報告があります。これは35年位前にも同様の話がありました。当時は64kビットのメモリが主流でしたが、動作中のメモリ内容が勝手に書き変わる事件が頻発しました。原因を探ると宇宙線である事が判明しメモリは対策が取られ事なき様になりましたが、実は今日も宇宙線は降り注ぎ、時々ですがコンピュータのデータを1ビット書き換え動作をおかしくする事は起きています。それはメモリのみで起きるのではなくあらゆる部品で発生する可能性があります。世間一般ではソフトウェアと呼ばれています。パソコンが時々おかしくなる原因は宇宙線かもしれません。解決するのは汎用CPU系のコンピュータは全てダメで、古式ゆかしいメインフレームとその子孫のみです。理由は全部品と回路にECCがある為です。これにより宇宙線エラーもその他の要因エラーも防ぎます。

6.3.5 設備セキュリティのリスク

データセンターはビルの延長で構築され、古くからビル監視システム（BA）が導入されてきました。BAは設備メーカー毎に独立したシステムを導入し中央監視室で全体を管理しました。時代と共に大掛かりな中央監視では無くパソコン1台で外部からでも従来と同じ監視運用が可能になりました。しかし設備はインターネット接続を考慮しておらず、悪意の外部侵入に対し脆弱になっています。

森ビルの実験ではマルウェアのStuxnetを用い見事に侵入し制御を奪いました。



米国ではこのような危機を事前に感知し対策を取っています。それがGAO報告書であり、官公庁はFedRAMP仕様にしたがったクラウドの統一セキュリティ基準を持ったデータセンター以外への入居を禁止しました。このあたりが日本と米国の意識の差であります。現時点では日本には同等基準がありませんがいずれ構築する必要があります。



[26] 出典：General Services Administration 「FedRAMP Security Assessment Framework Version 2.1」

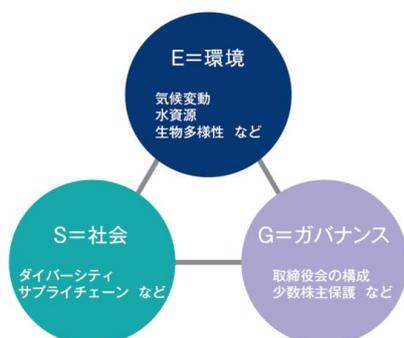
6.3.6 ESGとサステナブル会計のリスク

企業を評価する際、ここ20年来ガバナンスを意識してきました。2003年に赤道（エクエータ）原則が発行され、2006年に責任投資原則（PRI）が発行され意思決定プロセスにESG：環境（E）、社会（S）、ガバナンス（G）を組み込む事となりました。環境破壊は最大の悪とされ、以降CO2を排出する分野には投資が行い難くなりました。

SASBサステナブル会計は企業側がより詳細な内部情報を公開し企業同志を比較しやすくする仕組みであります。ESGは国内対応していますが、サステナブル会計は公式には対応していません。

しかし先進的かつ世界をめざす企業は独自に取り組んでいます。海外顧客の誘致には必須項目であります。具的に進めているのはTCFDです。日本はTCFDの先頭を走っていますが、データセンタ関連での話を全く聞きません。良いデータセンタにはお金が集まります。会計処理は単なる決算報告書では無く企業戦略の武器です。

ESGに関する要素の例



世界のサステナブル投資の概要

Region	2016	2018
Europe	\$ 12,040	\$ 14,075
United States	\$ 8,723	\$ 11,995
Japan	\$ 474	\$ 2,180
Canada	\$ 1,086	\$ 1,699
Australia/New Zealand	\$ 516	\$ 734
TOTAL	\$ 22,890	\$ 30,683

出典: Global Sustainable Investment Alliance "Global Sustainable Investment Review 2018"

[27]出典: Global Sustainable Investment Review 2018

6.3.7 COP 21 批准によるリスク

CO2削減を世界各国で共有した結果、COP21を推進する事はESGの投資対象になります。化石燃料で電力の大半を賄っている日本は悪の帝国であると言う可笑しい風潮になっています。何が何でも自然エネルギーを使用すべきと、彼らは強調しています。ペルーやモロッコでは太陽電池発電が2円/kwh程度で入手出来ますが日本では20円/kwh程度かかります。海外は風力発電が主流ですが日本は太陽電池が主流であります。太陽電池は日本中同時に夜間発電が出来ず、曇天や雨天時も発電出来ず、その分を賄う蓄電池や化石燃料発電をバックアップで確保する必要があります。1週間や今年みたいに1ケ間も晴天が無く、それらをバックアップする蓄電池を想像できますか？

一番簡単な解決方法は原発を復活する事ですが、諸般事情がそれを許しません。その中でRE100と言うグループが誕生し主流になりつつあります。RE100はその企業で使う全電力を100%再生可能エネルギーで賄う事を意味します。そして高らかに宣言します。その中で尖った事例があります。

アップル社です、アップル社は時価総額140兆円を超え、自社の使用電力を全て再生可能エネルギーにしたと宣言しました。問題はその先でアップル社に部品供給する企業や物流企業にも要求しました。つまりアップルと取引したければ自らの納品物をRE100対応させる必要があります。サプライチェーンにRE100を組み合わせた戦略であります。この話を進めるとRE100でないデータセンターには客が入らないと言う事が想定できます。



[28]出典: Apple 社環境 WEB サイト <https://www.apple.com/jp/environment/>

6.3.8 EUタクソミーによるリスク

タクソミーとはEUサステナビリティ方針に資する経済活動を分類したものです。

2019年より活動が始まっています。データセンター事業に対する具対的な指標はこれからですが、現時点の担当者はデータセンターやITに造詣が深くなく、方向が違う指標が出されかねないので、注意深く見守り適切なアドバイスを発信する必要があります。一度決まると30年前、ISOが品質保証をするものではないと皆が理解していながら、ISO認定を取得しないと悪い品質とみなされ、結果的に皆がISO認定の軍門に下った苦い経験があります。EUタクソミーは同様の兆しが見え隠れするので、これも目に見えないリスクであると思われれます。

6.3.9 GDPR対策によるリスク

GDPRとはEU一般データ保護規制であり、現時点ではEU域内のみの規制ですが、いつ何時飛び火するかも知れません。ネット社会ではEU住民の個人データを国内データセンターで取り扱う事もあり、十分内容を理解して、問題が発生した場合にはすぐさま対応が出来る体制を構築する必要があります。

6.3.10 廃熱税によるリスク

廃熱税は大量の電力を消費し相応の熱を大気中にばら撒くデータセンターの実態より避けられない事柄であります。東京都は日本のデータセンターの30%が稼働し東京都の全電力のうち10%強を消費しています。当然役所は此処に目を付け近々の徴収を検討しましたが、コロナ騒ぎで中断しています。鉄や化学プラントの廃棄熱は高温なので再利用が可能ですが、データセンターの廃棄熱は30-40℃と低く再利用の道が中々開けません。一部では植物工場の熱源として実験した例も有りますが、都心のデータセンターと郊外の農園では良縁が難しいです。我々は早急に熱を大気中にばら撒かない手法を確立させる必要があります。

6.3.11 デジタル課税によるリスク

新聞でも最近目に付くようになったのがデジタル課税です。元々GAF Aが利益の一人占めを行い他国で儲けた利益をその国に還元せず本社が独占する事へのストップであります。良く考えると昔の帝国主義と同じで植民地の利益を本国が全て吸い上げる現代版であります。日本は幸か不幸かGAF Aが無くデジタル課税には積極的では有りませんが、何時風向きが変わるかもしれません。その時慌てないように対策のチームを設立すべきであると考えられます。

以上目に見えないリスクを提言しました。恐らく大半の人は何時か来るだろうが、今は時期では無いと考えます。しかし冒頭説明した通り災害は突然やって来ますが、事前に対策は可能であります。その対策により被害を最小に抑える事が可能です。又考え方によっては、リスクは最大の武器になる可能性もあります。お願いはリスク担当を法務部門に一任せずに戦略部門にも設定して欲しいことです。

6.4 災害・パンデミック時のBCP対策

近年の地球温暖化により、台風・大雨等の自然災害が増加する傾向にあります。2019年台風19号において、河川決壊等により広範囲にわたり浸水被害を受けたことは記憶に新しいところです。災害時には交通遮断等により、局舎への移動が困難な場合が起こり得ます。

また、2020年初頭より全世界的な影響に見舞われ、本資料執筆時点(2020年4月中旬)でも収束が見通せていない新型コロナウイルス感染症(COVID-19)により、多くの企業で在宅勤務の推奨等、出社規制を実施しています。

このように、災害・パンデミックにより移動制限が生じる際に、遠隔での回線有効化手段を具備しておくことがBCP対策の一助となりえます。但し、発生する事象内容により制約事項は区々となるため、できるだけ様々なケースをシミュレーションし救済範囲の拡大を図ることが重要となります。

7. 今後の提案

7.1 エッジデータセンター

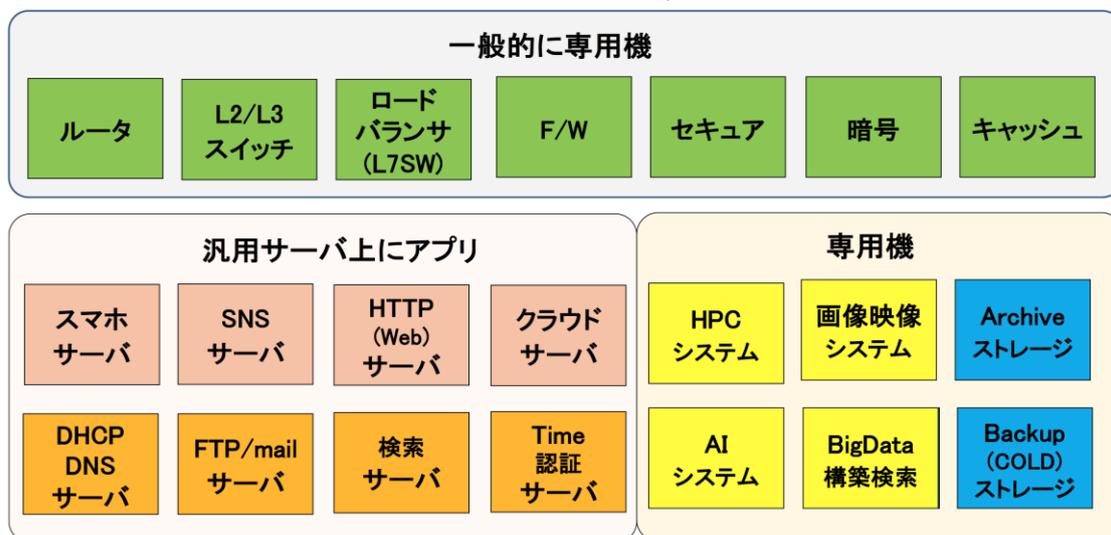
エッジデータセンターが提言され10年位になります。しかしこれこそエッジデータセンターの代表であると言われる事例は未だありません。それはエッジデータセンターの定義が曖昧で具体的な絵図が書けない事によります。現時点では異なる二つの目的を混在して使われています。

- (1) 大規模センターのレスポンス時間短縮の為、処理代行を行う(フォグ)データセンター
- (2) 中央データセンターと常時接続せず、必要処理をエッジ側で行う独立分散データセンター

いずれも今後の情報処理には不可欠と予想されます。ITの世界は集中と分散を繰り返し、今は大規模データセンターを中心とした集中時代、いずれデータセンターも分散すると言われていますが中々実現しません。以下に今後の提案課題としてエッジデータセンターをまとめます。

まずはデータセンターの機能を確認します。データセンターは一つ一つ異なるので正しく表現する事は困難ですが、概ね下図のモジュールが基本であり、規模や性質によりモジュール数や内容が上下します。異なる機能を持った機器やアプリケーションを組み合わせで作るのがデータセンターであり、パソコン1台でデータセンターを構築する事は出来ません。ただ大規模になればなる程、全てのモジュールが異なる事は珍しく、同一モジュール数が増加します。一般のデータセンターは概ね100ラック以上で、大規模は数千ラック規模であります。海外には数万ラック規模も有ります。

データセンターの機能



次に物理的(形状、規模)なエッジデータセンターを仮定義します。便宜上(古い呼び名ですが)甲、乙、丙、丁と呼称します。

甲仕様エッジデータセンター	10-20ラック	電力	100-300kw程度
乙仕様エッジデータセンター	1ラック相当	電力	10kw以下
丙仕様エッジデータセンター	PC筐体	電力	1kw以下
丁仕様エッジデータセンター	書籍サイズ~可搬箱	電力	100w以下

甲仕様エッジデータセンターは、コンテナ型やモジュール型小型データセンターとしての導入実績が多数ありますが、エッジデータセンターとして導入されたケースは皆無であります。

コンテナ型データセンターの種別

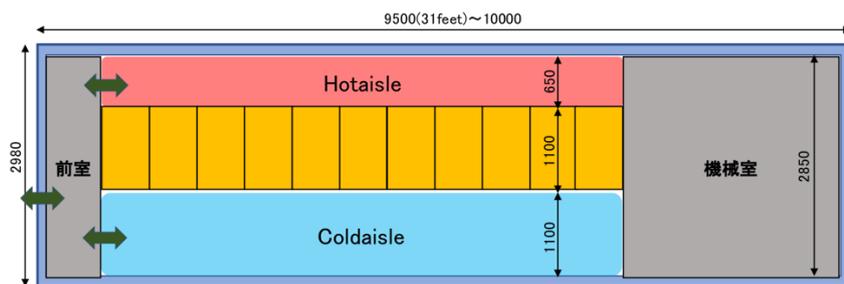


①ISOドライコンテナ ②ISO冷凍コンテナ ③非ISO断熱コンテナ ④自由設計大形コンテナ ⑤連結型コンテナ

コンテナデータセンターは連結型を除いて1台に6～10ラック程度の運用が可能であり、建築基準法対象外で導入が簡単です。200㎡以上の連結型は建築基準対象となり注意が必要です。

- ・200㎡で100ラックが導入出来ますので、100ラック以下は、コンテナ建設、100ラック以上は、建物建設と割り切りも可能です。海外にはコンテナを並べて数千ラック以上構築した例も有ります。
- ・コンテナは運送を前提に製造するので自由形状は難しいですが下記事例は製造・運送可能です。
- ・空調も空冷、水冷、間接外気から選択可能

事例は25kw間接外気空調機を3+1運用を行い、ラック当たり常時7.5kwの連続熱量を処理出来ます。外気高温時は補助チラーを動作させます。400w級サーバを200台弱搭載可能なので、通常のエッジ業務には十分と思われます。

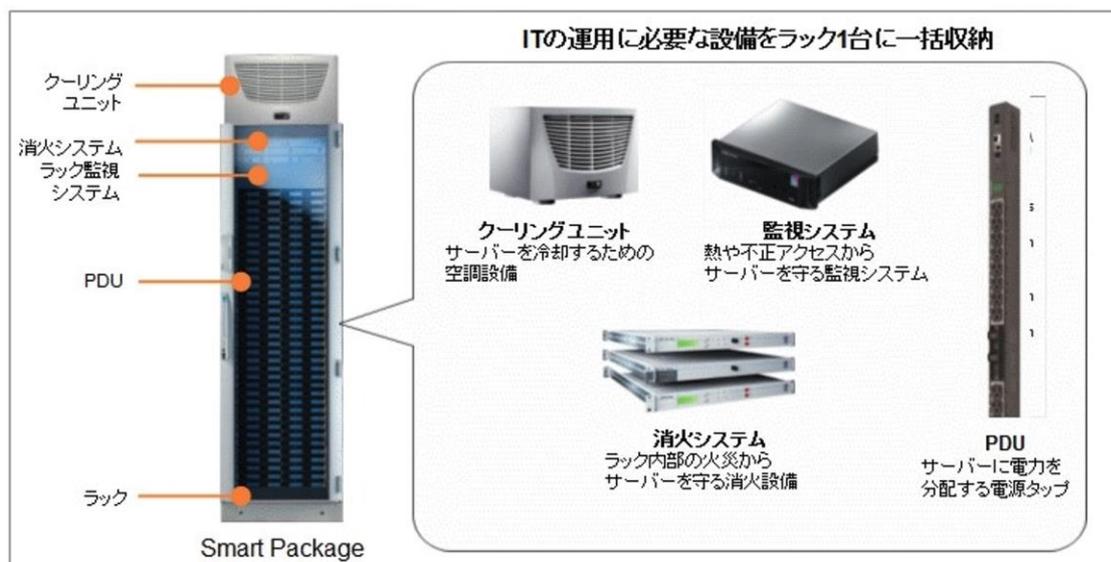


甲仕様エッジコンテナのレイアウト例

同じ甲仕様エッジデータセンターで異なる使い方も想定されます。高電力データセンターであるHPCやAI用のサーバは30kw/ラックの電力消費があり、それらを通常のデータセンター内で混在運営すると熱が偏り周辺に悪影響を与えます。故に高電力分をHPC/AIエッジデータセンターで運営する事を勧めます。その場合エッジコンテナは300kw程度の発熱量になります。冷却も従来とは異なる水冷リアドア冷却かin-Row冷却か油(液)浸冷却のような特殊な装置になり、本体のデータセンターと区別した方が様々な点で有利であります。



乙仕様エッジデータセンターは複数企業からコンセプトが出されています。19インチラック内に冷却装置、消火装置、UPS、PDUを内包している超小型データセンターでもあります。



エッジデータセンターのコンセプトモデル例 (資料：リタール)

部屋にポツンと1台だけ置くイメージが湧かないのは、一般的なデータセンターを強引に1ラックに圧縮した事によります。室内に設置するには床耐荷重を十分意識する必要があります。事務所の床は170kg/m²が普通で高級なビルや高層ビルでも350kg/m²程度です。データセンターの概念なら500kg/m²から1000kg/m²が普通ですが、そんな事務所は倉庫以外にはありません。

倉庫の片隅に1ラック設置するなら理解できますがエッジは市中に満遍なく設置する為、考えがずれてきています。鉄製ラックは1本100kgで、そこに1台15kgサーバを数台入れただけで重量オーバーになります。更に高さ2mもあるラックをそのまま床に置くと地震で倒れるので床と固定する必要があります。実際には床はコンクリートでしょうが穴を開けるのは勇気がいります。

よって19インチラック1本は概念としてはありますが、現実にはあり得ない仕様です。エッジを市中に満遍なく設置する為には戸建て木造住宅にも設置可能な仕様にする必要があります。乙仕様の電力を10kwにしたのは日本の電力事情によります。一般ビルの室内や戸建て住宅への通常供給最大電力は200V60Aで12KVAです。最新室内冷房装置は性能向上が目覚ましくCOP=5以上です。つまり10KVA分の発熱を冷却する電力は2KVAで良く合計すると12KVAになります。次に10KVAのサーバを検討します。最近の平均的なXeon2CPUは400-500Wです。これなら20台は可能でそれなりの業務が運用できます。しかしもっと工夫してより省エネタイプのサーバなら1台50Wで構築可能ですので200台も稼働出来ます。更に工夫する事で1台の重量を3kg以下に抑える事も可能で、これなら1ラックに25台搭載しても70kgで、残りはラックの工夫のみであると思われます。乙仕様エッジデータセンターは200台程度稼働させる事が目的ではありませんが、数十台での運営も一つの目処であります。

丙仕様エッジデータセンター規模ではデータセンターと呼ぶにはおこがましく感じると思われます。丙仕様は小さいながらもデータセンター機能を保有します。今日は難しくても未来には多数導入されていると想像できます。部屋に置くのでは無く何らかの機械と同居したり組み込まれたりする物です。制御や組込世界では産業用のコンピュータが多数導入されていますが、基本は自分自身の動作目的の為であり、周辺との協調動作を意識していません。

例えば自動車は数百個の小型組込システムを搭載していますが、それらはあくまでその自動車の走行や安全の為に動作しています。例えば自動走行で前の車が発進する時、2台目の車や後ろの車は前の車が発進してから自分も発進します。しかし互いに連携をとり、同時にまとめて発進したり停車したりする事で無駄な車間距離や時間のロスを除けます。交差点で互いに見えない直行方向の車同士が情報交換すれば、交差点の事故は防げますし、見えない道路側のオートバイや自転車の通行情報を伝

える事で、出会い頭の事故も防げます。このような機能を実行する為には、自動車自身に小型のデータセンター機能があれば簡単に実現出来ます。それは常にホストと端末の関係が入れ替わり、アプリからはホストでもあり端末でもある状態が同時に発生する為であります。

今日の自動運転のソフトウェアはそのソフト内部で他車と通信しようとしています。これでは様々なケースや想定外の事象が発生しても都度ソフトを変更しなくてはならないし、最終ゴールが見えません。故に最初から自動車自体に丙仕様データセンター機能を埋め込み、他車通信や周辺情報通信や高速演算処理等は全てそちらに任せて、後は自らの目的アプリに集中すれば良いと思われま



丙仕様エッジデータセンタ例1

丙仕様エッジデータセンタ例2

最終:データセンタ1CHIP-LSI

上図センタ例1は標準的な丙仕様エッジデータセンター形状です。デスクトップパソコンの大きさか4Uサーバクラスの箱に(Xeon(8-16CORE)級サーバを8台搭載します。共通の二重化電源と小型のUPSも内包し、乙仕様をより小型化した物です。違いは産業仕様で開発し冷却装置が無くても動作すること、産業組込コンピュータは悪環境(周囲温度50℃環境)での動作を是とし本機もそれに従うことです。ただし内蔵機器にGPUを搭載する場合は周囲環境温度35℃に下げる必要があるかも知れません。

上図センタ例2はあるべき姿であります。現在の技術ではスタック型のコンピュータにXeon級を搭載する事は出来ず、数W程度のATOM相当しか構築出来ません。ネットワークコネクタに必要な機能を持つスタック型コンピュータを差込みデータセンター運用します。コネクタは電力やLANや画面機能を有します。現時点でもUSB3.1(Thunderbolt)で実現出来ています。

究極はデータセンター基本機能一式を持つ1CHIP-LSIを開発する事です。LSI+必要量のAPL動作スタックで丙仕様組込型エッジデータセンターは完成できます。

丁仕様エッジデータセンターは可搬可能なエッジデータセンターであります。データセンターは固定するのが一般的であります、自由な時自由な所で運営したい事もあります。例えば災害時にセンタとの回線が切断され、従来はノートパソコンでセンタ端末としてサポート出来たものが全く機能を無さくなります。そこで道路も封鎖されている時、人力で土石を超え被災地に移動し、被災者の為のデータセンターを開設する事ができます。中のアプリはセンタアプリの一部その物であり、人力移動の場合は軽いアタッシュケースでないと移動が出来ません。更に現地には電源がない事が十分想定されるので、それなりの容量のバッテリーと最悪手回し人力発電気でも動作する仕組みが必要であります。又携帯も繋がらない場合は衛星回線確保も重要であります。

一方イベント開催時は主催者がクラウドに頼らずイベント運営や情報発信を行う事が可能であります。イベントの場合は自動車も使えるので可搬箱例2や3の様な中型の箱である程度の機材を移動して運用する事が出来ます。



丁仕様可搬型エッジデータセンタ例



可能箱例1



可能箱例2



可能箱例3

7.2 エッジデータセンターの使用目的

7.2.1 フォグ型エッジデータセンター

フォグの名称は CISCO 社の提案[29]ですが、ここでは一般名称として扱います。

インターネットが社会基盤になり基幹業務もインターネットを使用する今日、従来型では実現不可能であった事をなんらく実現します。例えばオリンピック観戦で数百万～数億人が同時に一つのデータをアクセスする事は従来不可能で、精々数千人が良いところでありました。株式や外為等で価格を決定するのにコマ何秒の差で何億円もの損失や利益が発生し、トランザクション処理では遅延は致命傷になります。

一方家電量販店で何十台のテレビを同時に見ると1台1台ずれているのに気付きます。従来のアナログテレビでは絶対に起き得なかった現象であります。テレビに届く電波にズレが在るのでは無くテレビ内部の処理時間の差でズレが生じています。ゆえにデジタル化されたテレビでは正確な時報概念が消え去っています。ましてネットワーク経由のテレビではテレビに到達するまでの時間も異なるので、時報を表示しても何を信じて良いか分からなくなっています。

最近、とみに言われる自動運転では時速 100km で走行している車がインターネットの一般的な遅延時間＝約 100 ミリ秒のデータ遅延では 2.77m 走行してしまい、処理をする前に事故が起きかねないでしょう。

以上、少ない事例ですがネットワーク遅延は業務上の多大な損失や社会問題を発生させる事があり、その対応策を目的としたフォグ型エッジデータセンターは必須であります。

7.2.2 独立分散型エッジセンタ

独立分散型は最近誕生した概念でなく約 40 年前にも存在しました。当時はメインフレーム全盛時代で、例えば銀行や証券や為替は集中型システムを構築し、全端末と ATM を 1 台のメインフレームに接続し数千台の I/O を同時運用しました。集中する理由は端末毎に時差があると公平な取引が出来なくなる為です。この方式（一つのデータを皆でアクセス）は今日も集中型を採用しています。しかし集中型のコンピュータは最高性能機を求められコストも最上級であり、障害時対応で二重化が必須で益々高額になります。

他方時代はミニコンピュータやクラスタコンピュータなるものが流通し始め、IBM の SNA 3 や富士通の FNA 3 等の HDLC プロトコルを使いメインフレーム～中間コンピュータ～端末の分散処理を行いました。分散コンピュータは工場生産管理や支店配下の受発注や倉庫内の物流処理を行いました。そして日々の処理結果のみ中央に送ります。中央はその日の全体を纏めて、明日の計画を算出しそれを分散側に伝えました。これが日本の業務システムの標準形となりました。

つまり、まる1日間中央とはオフラインで仕事が可能でありました。しかし仕事が国際化し24

時間リアルタイムの処理回答を必要としてくると、1日1回では運用が出来ない為、90年代後半からのERP台頭と合わせて随時集中型に移行しました。その仕組みを自社で行わず他社に依頼したのがクラウドです。しかしながら同一資本や同一会社内なら集中型も可能ではありますが、分業が進んだ今日では異企業に同一の集中システムを強要する事は出来ず、必然的に分散処理にならざるを得ない状態です。80年代のネットワークはD1回線（品質を選択した電話回線）で速度も9600bpsで現代から見ると本当に使えたと思われるレベルであります。当時は文字情報のみの運用（今日のSMSショートメール相当）なので十分でありました。クラウドの初期もウェブ画面のみなので、それなりの速度のインターネットがあれば対応可能であります。しかし今日ネットの方が逆に複雑になりすぎました。元々インターネットは1KB程度のパケット群を遅延しながら最終的には全て伝える仕様でした。そこに8K4K映像の大量連続データ、3DCADやAR/VRの高速データ、遅延が許されないショートパケットの電話音声データ、IoT時代では何億何超個のセンサーから無作為に上がる超ショートパケット（10～数十バイト程度）と複雑怪奇となっています。過去インターネットはMPLS等の高速大容量電送を常に追い求めてきました。ショートパケットとの混在運用には向かない方式です。

そこでネットワークの効率化運用の為、地域毎に処理を独立分散エッジデータセンターが必要になります。その分散独立型エッジデータセンターは従来のインターネットデータセンターとは、異なる機能が求められます。例えば5Gの特長の一つである“ネットワークスライシング”機能です。

これを光ケーブルのルーターに導入して頂ければ、前述の大量データも高レスポンスデータもとても小さいパケットが混在してもスムーズな処理が可能です。中央には纏めたMPLS的なデータを送る事で、中央の大規模データセンターの高効率を生かします。又エッジデータセンターはローカルの光ケーブルを受けるだけでなく、5G電波を直接受け、その場で処理する事で従来とは一線を画した情報処理が可能になります。5Gも公共電波だけでなくローカル5Gを直接受けると、より地域に密着したサービスを提供出来ます。ただ28GHz帯中心のローカル5Gはその周波数の高さ故に簡単には普及及び実用化は当面難しいと予想できます。

以上よりエッジデータセンターは規模と地域性と5Gを組合せる事で、今まで二の足を踏んできたのが漸くスタートできると確信できます。

Annex A 「データセンターの構築・運用課題に関する調査 検討会」参加者一覧

	役職	会員会社名	氏名
1	リーダー	ソフトバンク株式会社	岡崎浩治
2	委員	エヌ・ティ・ティ・アドバンステクノロジー株式会社	小関伸也
3	委員	華為技術日本株式会社	蔣海鷹
4	委員	株式会社アイピーコア研究所	品川雅之
5	委員	株式会社 LX スタイル	杉田正
6	委員	コルトテクノロジーサービス株式会社	郡司恵太
7	オブザーバ	NTT データ先端技術株式会社	村文夫
8	後援者	ヴィエムウェア株式会社	千原義範
9	代表理事・専務理事	TTC	前田洋一
10	事務局	TTC	吉田薫