

別紙

2023 年度成果報告書

グリーンイノベーション基金事業／次世代デジタルインフラの構築／次
世代グリーンデータセンター技術開発に関する調査

2024 年 2 月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先 株式会社日経ビーピー

目次

まえがき-----	3
1. 研究開発の成果と達成状況-----	4
1.1 要約-----	4
(1) 和文要約-----	4
(2) 英文要約-----	5
1.2 調査の実施内容と結果の概要-----	7
I. 質的観点（技術面）からの情報収集・分析・考察-----	7
II. 質的観点（用途面）からの情報収集・分析・考察-----	12
III. 量的観点からの情報収集・分析・考察-----	21
IV. データセンター業務経験者・ユーザーへのアンケート調査-----	27
2. 研究発表・講演、文献、特許等の状況-----	39

まえがき

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）は、「エネルギー・地球環境問題の解決」や「産業技術力の強化」実現に向けた技術開発の推進を通じて、経済産業行政の一翼を担う、国立研究開発法人である。

本調査は、NEDO が進める「グリーンイノベーション基金事業／次世代デジタルインフラの構築／次世代グリーンデータセンター技術開発」プロジェクトの研究開発成果を着実に社会実装につなげるために、データセンターを取り巻く環境に関する情報を収集し整理するとともに、効果的なプロジェクト管理に資する分析・考察を行うことを目的として実施する。とりわけ、革新的省エネ技術のゲームチェンジャーと目される「光電融合技術」や、サーバーを CPU やメモリなどの機能単位で分割し、計算負荷に最適配置することでシステム全体の高効率化を図る「ディスアグリゲーション技術」など、日本を含めたデバイス企業がいち早く技術的優位性を確保する上で効果的な情報収集・分析・考察を目指す。

1. 研究開発の成果と達成状況

1.1 要約

(1) 和文要約

データセンターを取り巻く環境をできる限り明らかにするために、ターゲットとする時期を5年後（2028年）に設定した。また、5年後のデータセンターの在り方に大きく影響を及ぼすと思われる項目を大きく三つに分けた〔①質的観点（技術面）②質的観点（用途面）③量的観点〕。

それぞれの技術の進捗が見通せる識者に対してヒアリングを行うとともに、日経BPが発信するメディア等を介した情報を元に、日経BP 総合研究所の研究員が分析・考察を行った。

加えて、データセンターの業務経験者、およびデータセンターのユーザーにアンケートを実施。上記、5年後のデータセンターの在り方に大きく影響を及ぼすと思われる項目についてコメントをもらった。

①の質的観点（技術面）における情報収集・分析・考察では、具体的には「生成AI」「ブロックチェーン」「量子コンピューティング技術」の進展が5年後のデータセンターの要件にどのような影響があるかを明らかにした。中でも特に影響を及ぼしそうなのが生成AI。生成AIの技術進化や用途の広まりのスピードは留まるところを知らないが、それはデータセンターにも高度な性能向上を要求している。一方で、ブロックチェーンによるデータセンターへの影響はあまりない。また量子コンピューティング技術に関しても、5年後という期間ではそこまでデータセンターに搭載されることはない。

②の質的観点（用途面）における情報収集・分析・考察では、具体的には「自動運転」「Society 5.0」「デジタル医療」「スマート工場」「デジタル防災」「データ連携」「宇宙」の進展が5年後のデータセンターの要件にどのような影響があるかを明らかにした。いずれの用途も、5年の間に大きな進化とともに広がりを見せるが、そういった面でデータセンターには、いずれの用途からも大容量のストレージを備えることが求められる。加えて、デジタル医療では通信回線の品質の確保、スマート工場では製造現場と同等の信頼性の確保など、新たな要件をデータセンターに要求する用途もいくつか出てくる。

③の量的観点における情報収集・分析・考察では、具体的には「データ流通量」「許容遅延時間」の変化について考察した。データ流通量に関しては、データ流通量を増やす要因と抑制する要因の双方があるが、様々なアプリケーションが着実に進化した場合は、5年後のデータセンターにおけるデータ流通量は着実に増えることが予測される。一方で許容遅延時間に関しては、5年間というタイムスパンで考えるのであれば、課題が顕在化することは考えにくい。

データセンターの業務経験者、およびデータセンターのユーザーに実施したアンケートからも、この傾向は確認できた。アンケート結果でユニークだったのが、データセンターのユーザーよりもデータセンターの業務経験者の方が、データ流通量の増加を大きく見ている点。データセンターの業務経験者の6割以上が、データ流通量は現状と比較して10倍以上に増加するとしていた。データセンターの運用側の方が需要を大きく見ているという表れだと考えられる。

(2) 英文要約

In order to clarify the environment surrounding data centers as much as possible, we have set the target date to be five years from now (2028). In addition, we have divided the items that are expected to have a major impact on the state of data centers five years from now into three main categories: (1) Qualitative perspective (technical aspect), (2) Qualitative perspective (application aspect), and (3) Quantitative perspective.

In addition to conducting interviews with experts who can foresee the progress of each technology, researchers from the Nikkei BP Research Institute conducted analyzes and considerations based on information provided by Nikkei BP through the media.

In addition, we conducted a survey of people with experience working in data centers and data center users. We received comments on the items listed above that are thought to have a major impact on the state of data centers five years from now.

In terms of information collection, analysis, and consideration from a qualitative perspective (technical aspect) in (1), we investigated the impact that advances in "generative AI," "blockchain," and "quantum computing technology" will have on data center requirements five years from now. Among them, generative AI is likely to have the most impact. The speed at which generative AI technology is evolving and its applications are expanding shows no signs of slowing down, and this also requires data centers to achieve advanced performance improvements. On the other hand, blockchain has little impact on data centers. Furthermore, with regard to quantum computing technology, it is unlikely that it will be installed in data centers in the next five years.

In terms of information collection, analysis, and consideration from the qualitative perspective (applications) of (2), advances in "autonomous driving," "Society 5.0," "digital medicine," "smart factories," "digital disaster prevention," "data linkage," and "space" will have on data center requirements five years from now. Each of these applications will undergo significant evolution and expansion over the next five years, and data centers are required to be equipped with large-capacity storage. In addition, there are a number of applications that will require new requirements for data centers, such as ensuring the quality of communication lines in digital medicine, and ensuring reliability equivalent to manufacturing sites in smart factories.

In terms of information collection, analysis, and consideration from a quantitative perspective in (3), we specifically considered changes in "amount of data circulation" and "allowable delay time". Regarding the amount of data circulation, there are factors that both increase and suppress it, and if various applications steadily evolve, the amount of data circulation will steadily increase.

This trend was also confirmed by a survey conducted among people with experience working in data centers and data center users. What was unique about the survey results was that people with experience working in data centers saw a larger increase in the amount of data circulation than data center users. More than 60% of people with experience working in data centers said that the amount of data circulation will increase more than 10 times compared to the current situation. This is thought to be a sign that data center operators are seeing a greater demand.

1.2 調査の実施内容と結果の概要

I. 質的観点（技術面）からの情報収集・分析・考察

調査目的

データセンターにおける5年後（2028年）時点での使用アプリケーションおよび当該アプリケーションの要求性能について、生成AIやブロックチェーン、量子コンピューティング技術等の情報処理シーズの観点から、情報収集・分析・考察を行う。

調査方法

5年後の当該技術の進捗が見通せる識者に対してヒアリングを行うとともに、日経BPが発信するメディア等を介した情報を元に、日経BP 総合研究所の研究員が分析・考察を行う。

実施期間

2023年11月22日～2024年2月29日

結果

①生成AIによる影響

生成AIは、5年後のデータセンターの在り方にもっとも大きな影響を与える技術といえる。米OpenAIの大規模言語モデル（LLM）で見れば、この1年弱の間だけでも、パラメーター数が1750億個の「GPT-3」から、パラメーター数が1兆個以上とされる「GPT-4」へと急速に進化を遂げた。技術的に見れば、生成AIがデータセンターに要求する性能向上のペースはとどまることをしない。すなわち、アルゴリズム的な限界はないと見る向きが多い。

その一方で、AIで生成したコンテンツの著作権的な問題や、AIの悪用をどう防ぐか、AIの人類脅威論といった保守的な動きや活動が技術的な進化をどの程度抑制するかという綱引きによって、最終的には生成AIが5年後のデータセンターに要求する性能が決まってくる見込みである。

生成AIの進化に伴い、用途もどんどん広がっていく。すなわち、技術的に見れば、社会の中に生成AI技術が相当なスピードで普及する方向である。とりわけ、半導体産業、自動車産業、製薬産業などでのインパクトが大きい。

半導体産業については、テクノロジー・ノード2nmに代表される、製造技術の微細化が生成AIによって進展しやすくなる。生成AIの活用によって、フォトマスクの設計期間を1/5～1/7に短くできるようになるため、カスタム・チップを設計するハードルが下がり、結果として半導体チップの設計数が増え、データセンターの活用が一層進むことが期待できる。

自動車産業では、生成AIによって電気自動車（EV）工場の造り方や自動運転車の開発などに変革が起きる。現実空間の物体や環境を仮想空間に再現した「デジタルツイン」を利用して、最新のEV工場の設計や構築、検証を極めて効率的に行うことができるようになる。

デジタルツインを活用したEV工場の構築に取り組む自動車メーカーの多くが利用するのは、米NVIDIA（エヌビディア）の産業用メタバース向けツール基盤「Omniverse（オムニバース）」である。オムニバースを使った世界中の設計者が自動運転のシミュレーションや工場設計ができることになり、データセンターの活用が加速度に進むと考えられる。

製薬産業においても、生成 AI への期待は極めて大きい。創薬を劇的にスピードアップさせることができるからだ。

創薬はもともと、研究開発期間が長期にわたり製品化へと至る成功率も極めて低いといわれる。そのため、製薬企業は AI 創薬の取り組みを強化している。化学的・生物学的な手法に、AI やシミュレーションなどの情報科学技術を組み合わせれば、開発期間の短縮と成功率の改善が期待できるからだ。さらに従来では発見できなかった医薬品の開発にも寄与できる可能性がある。創薬に生成 AI を活用する動きは今後世界中で活発化する見込みで、データセンターへの性能要求も向上し続ける見込みである。

②ブロックチェーンによる影響

ブロックチェーンは、分散型台帳技術と呼ぶように、不特定多数のユーザーが分散してデータを保持する仕組みであるため、改ざんが難しく、データの透明性が高いという特徴を持つ。中央集権的なシステムと比較すると、管理者が存在するかしないかが大きな差だ。完全なブロックチェーンでは管理者が存在せず、仕組みが信用を担保している。一方で、中央集権的なシステムでは管理者が信用を担保する。もし管理者が信頼できないのであれば、ブロックチェーンが必要となる。向き不向きの問題ともいえる。

ブロックチェーンを利用した例として代表的なのがビットコインを代表とした仮想通貨であり、イーサリアムやイーサリアム互換の仮想通貨は、インフラ化もしている。

国をまたぐような貿易にも活用されようとしている。貿易においては中央集権的な特定の管理者を置いても信頼しづらいため、モノの動きとトランザクションを分散台帳で処理することが望ましい。シンガポールの「プロジェクト・ウビン」やタイの「プロジェクト・インタノン」などが、実際にブロックチェーンを利用した決済プロジェクトとして試行されている。

一方で、ブロックチェーンの普及が、5 年後のデータセンターに影響を与えるかという観点で見ると、計算力という点ではあまり影響がない。ブロックチェーンのマイニングには、巨大な計算能力を必要とされており、ビットコインだけでも、マイニングにエジプト一国に迫る量の電力を消費しているといわれている。ただし、大手のマイニングを手掛ける業者は、計算競争に負けないように、マイニングに特化した ASIC を揃えたマイニングセンターを構築し対応している。汎用的な用途に応えられるように構築されたデータセンターのハードを、マイニングに充てるのも可能だが、コスト的にペイするとは考えにくい。

また、マイニングのコンセンサスアルゴリズムも、計算能力を必要としない方向に動いている。ビットコインでは PoW (Proof of Work) という巨大な計算能力を必要とするアルゴリズムを使用しているが、イーサリアムはアップデートにより PoW からそこまでの計算能力を必要としない PoS (Proof of Stake) に移行した。こういった観点からも、今後、マイニングのための計算能力が極端に膨張することも想定できず、やはりデータセンターへの影響は計算力という観点からは小さいと考えられる。

今後データセンターの要件として考慮すべきは、ブロックチェーンを他のソリューションと組み合わせて利用する場合だ。例えば、デジタル資産としてブロックチェーン技術を利用したセキュリティトークンを証券会社が扱うようになってきた。一方で、証券会社は株や国債などの既存

の商品も扱っている。ユーザーによっては、株もセキュリティトークンも同時に扱わなくてはならない。この場合は、既存のシステムとブロックチェーンが相互運用可能であるという条件が必要になってくる。

また、2025 年に開催される国際博覧会（大阪・関西万博）では、電子チケットが NFT の形態で発行される予定だが、こういった NFT（Non-Fungible Token）に対して、すべての情報処理をブロックチェーン上で実施する必要もない。NFT でチケットを発行したとしても、そのチケットでどこを訪問したのかなどの履歴は、外部のソリューションにオフチェーンデータとして置いて連携させることなどが考えられる。

このように、他の外部ソリューションからのブロックチェーンの利活用は今後ますます進んでいく。そして、それを見越してデータセンターには、ブロックチェーンとの相互運用が可能のように接続性を用意することが望ましいといえる。

③量子コンピューティングによる影響

量子コンピューティングとは、量子力学を計算の原理に応用する技術である。スーパーコンピュータをもってしても数百年はかかるような演算を、わずか数分で解決できるポテンシャルを秘めているため、次世代のコンピューティング技術を担うものとして期待されている。データセンターにおいても、圧倒的な計算力を発揮する量子コンピューティング技術を利用すれば、既存のデータセンターで課題とされている電力量の問題や発熱の問題などが一気に解決する可能性を秘める。

実用化の動きもある。米 IBM は既に 2019 年末、ニューヨーク州ポキプシーに初の量子データセンターを開設。また本年中には 2 番目の量子データセンターをドイツに建設する計画を発表した。また、米 Amazon Web Services (AWS) の量子データコンピューティングサービスは 2020 年から実際のサービスを開始しており、また米エクイニクスも英国 Oxford Quantum Circuits の量子コンピュータを利用できるデータセンターの商用提供を日本で開始している。

とはいえ、5 年後に量子コンピューティングがデータセンターに大きな影響を与えるかという点、そこまでの広がりには期待できない。量子コンピュータを実用化させるためには、量子ビットを適切に機能させる必要がある。量子コンピューティングにより圧倒的な演算能力を手に入れるためには、量子ビットの数を多くする必要があるが、その分、エラーが多くなる。このため、量子コンピュータを実用化するためには、ある程度、エラーが起きても支障がない用途での限定的な使用、もしくは誤りを察知し停止し、正しい計算を続ける技術を開発することが必要となる。

また、量子コンピュータ上で稼働するソフトウェアの充実も望まれる。古典コンピュータにおいては、長年の歴史からその上で稼働するソフトウェア群が充実している。これらのソフトウェア群のいくつかは量子コンピュータで稼働することが期待されるが、その移植は簡単には進まない。

一方で、量子コンピューティングに関する研究は、前述の IBM や AWS はじめ Microsoft などの大手や、多くのベンチャー企業で行われ、そういったベンチャー企業の中には、多額の資金の獲得に成功している企業も少なくない。そのような状況からすれば、5 年後にデータセンターの一部に量子コンピューティングが入り込んでいる可能性は多いにある。内閣府の「量子未来社会ビ

ジョン」でいえば、2030年に量子技術の利用人口1000万人を目標としている。この数が実現されると想定すれば、5年後には量子コンピュータを利用したサービスが何らかの形で社会に役立っているはずである。

もっとも、量子コンピューティングが実用化しているとしても、現状のすべての用途を量子コンピューティングが担うわけではない。量子コンピュータは重ね合わせを利用した並列計算によって、膨大なパターンに対する問題を非常に高速に解くことを得意とする。その一方で、演算結果は量子状態の読み出し時に確率的に変化するので、演算結果は確率的に値が変わりうるため、厳密に再現性があるとはいえない。古典コンピュータが得意な領域、量子コンピューティングが得意な領域に使い分けられることが前提となる。

そのうえ、量子コンピュータはまだ高価であるので、その計算能力はまずは得意な領域において徹底的に活用される予定で、アプリケーションも限定的になるはずだ。実際に、その前段階で必要なデータ処理や、あるいは後段階で必要となる統合処理は、既存の古典コンピュータの役割となる。すなわち量子コンピュータを踏まえたデータセンターでは、量子コンピュータを支える古典コンピュータが共存している形となる。

この場合、既存の古典コンピュータに必要となるのは、量子コンピュータを支える処理を迅速に行えることだ。この役割が、5年後のデータセンターに求められるとしたら、両コンピュータ間のレイテンシーをできるだけ減らしていく必要があるだろう。

④その他の質的観点（技術面）による影響

情報処理シーズの観点として、将来的にデータセンターに影響を与えと考えられるのが、光を利用した伝送技術だ。NTTは、「IOWN (Innovative Optical and Wireless Network)」と呼ぶ光ベースの技術を中心とした情報処理インフラ構想を推進しているが、IOWNの柱となるのは「オールフォトリクス・ネットワーク (APN)」と呼ぶネットワークから端末まで「光」のまま伝送する技術。要は光ファイバを使用してコンピュータやコネクタをつないで、電気信号に変えずに接続してしまおうという考えだ。

現在の情報システムにおいては電気信号に情報を載せて伝送や処理を行っている。処理能力を増大しようとすればそれだけ電力量を必要とする。一方で、高度な処理を実行させるために複数のコンピュータを連動させようとすると、電気信号固有の遅延の影響が大きくなり、システム全体の性能向上に影響を及ぼすという課題がある。

このような消費電力の増大や遅延の影響といった問題を、一気に解決する手段が電気信号ベースから光信号ベースへと情報伝送を置き換えることだ。光ファイバなどを利用した光伝送であれば、エネルギー損失が少なく伝送時の遅延も最小化できる。

このような特徴を持つ光伝送は、すでに大きなデータセンターにおいては使用されている。光スイッチを用いた光ネットワークとして、各ノードにおいて光信号の分岐・挿入を可能とするものにROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexing) システムがあり、IOWNにもこの技術が含まれている。

通信の部分に関しては電力消費を大きく削減でき、また通信遅延も大きく解消できる光伝送技術は、データセンターの内部の伝送にも、またデータセンター間の伝送にも貢献し、データセン

ターの在り方を大きく変える可能性を持つ。その一方で、本当に光伝送技術を広めるためには、1社だけでは限界があるために、パートナーを幅広く募る必要がある。

IOWN では、現状比で伝送容量が 125 倍、遅延が 1/200、電力効率が 100 倍となるサービスを 2030 年ごろに実現することを目指している。これを実現するために NTT は、米インテル、ソニーと共に「IOWN Global Forum」を設立。2023 年 10 月時点でメンバー数は 130 を超えるほどに拡大している。

また、2024 年 1 月には経済産業省が IOWN のプロジェクトに約 450 億円を支援することを決定した。これによって IOWN の中核を成す光信号と電気信号を不可分に融合する光電融合技術などの開発を加速させる。

5 年後の世界においては、IOWN の進展はまだ部分的にとどまっているかもしれない。ただし、NTT の目論見通りにグローバル市場において覇権が握れれば、IOWN が 2050 年のカーボンニュートラルに向けての切り札という位置付けになっている可能性もある。

II. 質的観点（用途面）からの情報収集・分析・考察

調査目的

データセンターにおける5年後（2028年）時点での使用アプリケーションおよび当該アプリケーションの要求性能について、自動運転や Society 5.0、デジタル医療等の情報処理ニーズの観点から、情報収集・分析・考察を行う。

調査方法

5年後の当該技術の進捗が見通せる識者に対してヒアリングを行うとともに、日経BPが発信するメディア等を介した情報を元に、日経BP 総合研究所の研究員が分析・考察を行う。

実施期間

2023年11月22日～2024年2月29日

調査結果

①自動運転による影響

今後、自動運転は各所で拡がる。特に人口減少が目立つ地域においてはバスやタクシーの運転手不足が顕在化しており、それが自動運転の採用・導入の後押し要因となっている。経済産業省が推進する「R0aD to The Level4」プロジェクトもプラス要因の一つ。同プロジェクトではレベル4等の先進モビリティサービスを実現・普及することを掲げ、2025年度末までに40カ所以上での無人自動運転サービスの実現を目指している。

ただし、日本は慎重さを重視する社会であるため、例えばサポートドライバーが搭乗しない自動運転バスといったサービスがどこまで広がるか、技術の向上だけでは測れないものがある。地域の住民などの社会受容の醸成なども必要になる。また、自動運転をサービスとして推進する上で課題となるのが、ビジネスとしてどう成り立たせ、持続できるよう全体設計ができるかどうか。自動運転車は大量のセンサーを搭載しており、コスト負担が大きい。

こうした推進要因と抑制要因の両方を踏まえると、5年後（2028年）という時点においては、「公道も含めて多数の自動運転車が当たり前のように走っている」という姿には、まだ到達していないと考えられる。このため、自動運転がこの先5年間、データセンター側に大きな変化・拡充のプレッシャーを与える、というストーリーは考えにくい。

ただし、自動運転も含めて日本のスマートモビリティを支えるコンピュータのインフラはどうあるべきか、その将来像を洗い出すための議論の必要性は高まると考えられる。交通という公共性の高さや産業・生活面での広範囲な影響を考えると、産官学を交えた議論が行われてしかるべきだろう。

その理由は、特に地方では運転手不足を背景として、デマンド交通やライドシェアなどを包含するMaaS（モビリティ・アズ・ア・サービス）へのニーズが高まっているためだ。これと併せて、交通分野のDX（デジタルトランスフォーメーション）への社会的な要請が高まることも見込まれる。そこには交通分析への「デジタルツイン」の活用などが含まれる。

技術的な側面では、今後数年をかけて「ダイナミックマップ」（高精度な3次元地図情報に、交差点付近の状況、交通規制情報、渋滞情報、事故情報、気象情報といった動的な情報を組み合わ

せたもの)の開発・検証が進むと見られる。これを通じて自動運転がデータセンターに要求する処理内容や性能の一側面が見えてくると考えられる。

今後5年以内に設立する必要性は発生しないが、さらなる将来において設置する必要があるかもしれない、日本の各地域における交通を担うデータセンターについて、仮説的な将来像の一つを提示する。

- 各地域における交通サービスを担う「地域交通データセンター」を用意する。交通というその公共性から、公的な枠組みを通じて設立される。政府あるいは自治体を運営の核とし、交通関連企業などが参画・協力する。日本全国各所に置かれ、必要に応じて相互に連携する。
- 地域交通データセンターには、交通アプリケーション、例えば自動運転の一部機能やMaaSサービスを提供するために必要な機能と各種のデータが置かれる。
- 自動運転機能について補足すると、エッジ側である車側での処理に加えて、地域交通データセンター側で一部の処理を実行することで、交通状況全体を見通したより効率的な交通マネジメントが可能になる。併せて、データセンター側からエッジ側(車両)に対して提供する処理内容の詳細と、そのレスポンス性能の指標づくりも進む。ただし、エッジ側の処理性能が高まりいっそうインテリジェントになる、あるいはエッジ側同士で動的に連携しながら処理が完了できるといった技術が伸びる可能性もある。様々な方式が提案され発展していく中で、データセンター側に求められる処理性能の程度は(全体最適をはかるなどセンターの位置づけとしては重要な機能が備わるものの)軽くなることも考えられる。
- 地域交通データセンターには、各種車両の現在位置、公共交通機関のデータ、乗客に関するデータなどが格納される。地域交通の全容を示したデータであり、かつ個人情報となる。データ保護の観点から漏洩防止はもちろん、不正侵入と悪意ある操作からも防護する必要がある。
- 交通という重要性を鑑みて、他地域にもバックアップを用意する。その上で、さらには海外にもバックアップを置くこともあり得る。
- 人流を含めた交通状況を集約的に把握できることから、地域交通データセンターに、自治体および政府による災害対応の一機能を担わせることも期待できる。

②Society 5.0による影響

Society 5.0に向けた取り組みはいろいろな分野で進んでいる。例えば製造業ではスマート工場が代表的だ。品質や効率性を高めるために設計や生産などあらゆる工程でシミュレーションが行われているが、デジタルツインを使うと、これまでのように試作品や生産ラインを実際に用意する必要がないため、シミュレーションにかかる時間やコストを大幅に抑えることができる。高精度な需要予測にもとづいた在庫管理やロボットを利用した生産工程の自動化なども進んでいる。スマート農業も始まっている。例えば、ロボットトラクター、スマホで操作する水田の水管理システムなどの活用により、作業を自動化し人手不足の解消につなげるといった取り組みだ。このほかにも、スマートシティや自動運転、ドローンによる無人配送、スマートコンストラクションなど、まだ実証実験段階のものも多いが、5年後にはかなり実用になっているだろう。

Society 5.0の進展によって、IoTに内蔵されたセンサーが様々な情報を可視化し、生み出されるデータは指数関数的に増大する。フィジカル空間とサイバー空間との間での情報のやりとりは

飛躍的に増大することが見込まれる。さらに、バッチ型のデータ処理ではなく、リアルタイム処理が求められるようになる。海外のデータセンターだとレイテンシーの差が大きいため、国内にデータセンターが立地していることが重要になる。現状では、東京圏・大阪に 8 割のデータセンターが立地している。Society 5.0 の実現には、データセンターの最適配置が求められる。それが電力・通信インフラの効率的利用や災害に対するレジリエンス強化につながる。

さらに今後、より高速な処理が求められるケースでは、エッジ環境で AI 処理をする「エッジ AI」の利用が広がるだろう。クラウドのサーバーだけで AI 機能を実行する構成に比べて、リアルタイムの応答性に優れており、帯域幅が狭い通信環境、あるいはオフラインでも利用できるメリットがある。処理性能の高いクラウドのサーバーで学習モデルを作成し、エッジ AI にその学習モデルを読み込ませて推論処理を実行する。Society 5.0 の実現に向け、5 年後には大規模なデータセンターとエッジの両方のニーズが高まるだろう。

③デジタル医療による影響

オンライン診療、IoT を活用して医療機器・設備を連携させる「スマート治療室」、手術支援ロボットとそれを活用した遠隔手術、治療用アプリケーションなど、デジタル医療に対する注目が集まっている。

このデジタル医療という概念が示す範囲は広範囲に及ぶ。だが核となる要素は、スマートフォンを含めた IoT デバイスの活用と、それに伴う医療行為に関するデジタルデータの詳細な取得・分析に集約される。これにより、手術をはじめとした医療行為の品質向上、医療者への教育効果、さらには新しい治療法の開発支援も期待できる。またスマートフォンを中心に据えてアプリを通じて病気の予防や治療を試みるデジタル治療アプリケーションは、米国が先行しているものの日本でも開発が活発化しており、今後の進展が注目されている。

一方で、5 年後というタイムスパンを見据えた場合、データセンター側に対する性能などの面での変化要求は、それほど大きくは顕在化しない模様である。

ただし注視しておくべき事項もある。今後 5 年の間において、通信回線の品質、あるいは AI 活用に関して高度な要望が顕在化してくる可能性がある。それらは直近、データセンターに対して大きな変化対応は求めない。だがさらなる将来においてはその在り方に影響を及ぼす可能性がある。

通信回線の品質に関して注視しておくべき事項として、遠隔手術指導・支援が挙げられる。遠隔手術指導においては、オンサイトにいる執刀医は、遠隔地においてオンラインで手術に関する各種データの共有を受けている医師から手術の指導を受ける。こうした遠隔手術指導の個々の取り組みにおいては、スマート治療室など最新技術および現状の ICT インフラで対応できる状態にある。だが、今後はオンサイトの執刀医による手術の一部を、遠隔地にいる医師が手術ロボットを介して肩代わりする遠隔手術支援が各所で取り組まれていくと見られる。これら遠隔手術指導・支援、またオンライン診療を含めた総合的な普及の度合いによっては、遅延なく、安定的に医療行為が行える通信環境の確保に向けて、分野横断的な検討の必要性が高まると考えられる。

AI 活用については特に激しい変化が起きている領域であるため、明確な予測は難しい。ただ、今後特に伸びると考えられるニーズおよび適用ケースは、手術中における AI の活用だ。例えば、

IoT を活用した手術において、手術中に取得している患者のデータを即時 AI の解析にかけ、AI によるレコメンドを執刀医に提示し、手術中の判断に生かしてもらうといったものだ。この場合、AI の解析は手術室に距離が近いサーバーで行う可能性と、データセンター側で行う可能性の両方が考えられる。医療者側が求めるクオリティーに応えるうえでどのような技術手段が有効なのか、今後検討が進みそうだ。

また、欧州圏で整備が進んでいるデータ連携基盤「GAIA-X」などの動向が今後医療・ヘルスケア分野に影響を与える可能性がある。5 年後というタイムスパンにおいては、この動向が与える影響はそれほど大きくない。ただ、さらなる将来においては、GAIA-X が本格稼働し、法制度などの状況も整った後、医療・ヘルスケア分野のデータ流通が促されるだろう。そうすると各医療機関や医学系研究機関が保有していた画像診断データなどが活発にやりとりされるようになる。サーバーやネットワーク回線の増強が必要になる可能性がある。

④スマート工場による影響

「スマート工場」とは、仮想世界と実世界が連携した Cyber Physical System (CPS) の概念をベースに高度にデジタル化された製造設備である。あらゆるモノがインターネットにつながっている IoT の概念に基づく仕組みなどを利用して、物理世界にある製造設備全体から大量のデータを収集し、集めたデータをコンピュータ上で解析・処理することで得られた情報を実世界の製造設備に様々な形でフィードバックする。これによって製造プロセスや関連業務の変革を目指すというのが、スマート工場の概念の基本である。スマート化の対象となる範囲は、単一の製造ラインに留まらず、工場全体、企業内の全ての生産拠点、さらにバリューチェーン全体まで拡大することを想定している。スマート化によって変革を進めるために、製造装置、生産ライン、工場、生産拠点、企業と様々なレベルで生産プロセスを構成する要素が、データを軸にコンピュータやネットワークを介して連携していることが前提になる。

こうしたスマート工場は、対象となる設備の規模が広範囲にわたることや大量のデータを扱うことから、データ処理や仮想世界が担う機能は、必要なリソースを柔軟に確保しやすいクラウドを使って実現することになる。そのクラウドを構築するための物理的なインフラストラクチャーを提供するのがデータセンターである。

スマート工場の普及が進むとともに、5 年後のデータセンターに起きると考えられる質的变化は、製造業の通念に合わせて「信頼性」の考え方が変わることだ。製造業では、製造設備を絶対に止めてはならないという認識が業界全体に深く根付いている。この認識を前提に製造システムや製造工程の維持管理を図るという考え方は、製造業全体にすっかり定着しており、製造にかかわるクラウドにも、同じ認識に基づく安定したシステムの運用やサービスの提供が求められる。システムの稼働に関する信頼性だけでなく、取り引きの仕方も含めたサービスの「信頼性」も製造業の認識に合わせて変える必要が出てくる。

さらにスマート工場が普及すると、クラウド、およびその基盤となるデータセンターの役割が高度化する。つまり、つながる仕組みを利用して、データだけでなく、制御機器のプログラムや生産システムの制御ロジック、装置の設定情報（レシピ）といった「コンテンツ」をクラウドでやりとりすることが増える。すでに、製造設備で必要な機能を、クラウドを利用した『SaaS

(Software as a Service)』の形で提供しているクラウドベンダーが出てきている。このような動きが、ここ数年でさらに進展する可能性がある。

⑤デジタル防災による影響

防災分野におけるデジタル化の取り組みを概況する。これに令和 6 年 1 月 1 日に発生した能登半島地震への対応を含めながら、デジタル防災がデータセンターに与える影響を考察する。

内閣府が令和 3 年（2021 年）5 月に「防災・減災、国土強靱化時代の実現のための提言」を公表した。この中で、デジタル防災技術ワーキンググループが「防災デジタルプラットフォーム」という構想を描いている。

防災デジタルプラットフォームとは、現在稼働している各種の防災関連情報システムや、将来整備すべき「防災デジタルツイン」「リアルタイム情報収集システム」「デジタル化された行政機能（デジタル行政システム）」などを相互につなげる、連携・統合処理を可能にした情報環境を指す。

現在、このような防災デジタルプラットフォームの構想を含めた新しい情報システムの一つとして「次期総合防災情報システム」の開発が進められている。政府の「デジタル社会の実現に向けた重点計画 工程表」によれば、令和 6 年（2024 年）度からの運用開始を予定している。

次期総合防災情報システムは、必要なシステムとの連携および情報共有を図れるようにする。例えば、各自治体の防災関連システムと、気象庁や国土交通省など関連省庁のシステムを相互に連携させながら、防災関連の情報を総合的に収集し、また各システムへと情報を共有する形を取る。このように自治体および各省庁などの情報システムが組み合わさって協調動作できるという姿が、先にも触れた防災デジタルプラットフォームで目指している在り方のひとつである。

このシステムと対になる形で「データ連携基盤」というシステムを構築する計画。こちらは、平時、災害の警戒時、災害発生後の応急時、復旧・復興時という 4 段階をカバーする個別アプリケーションとの相互接続を確保。併せて共通的なデータストアを用意する。これによりアプリ側で防災に関するデータが網羅的に活用できるようにする。データ連携基盤は令和 8 年（2026 年）からの構築を予定している。

以上のような構想に基づいて開発や検討が進められている中、令和 6 年（2024 年）1 月 1 日に能登半島地震が発生した。

今回、従来から指摘されてきたデータ流通・共有に関する必要性が改めて明らかとなった。例えば、避難所の情報の集約において、自治体、自衛隊、DMAT（災害派遣医療チーム）などの組織や活動内容の違いに由来する、避難所に関する情報が分散する状態が続いた。避難所と人数に関する情報を正確に把握できないと、物資支援や医療活動などに遅滞が生じる。今回は、防災分野のデータアーキテクチャの設計やデータ連携基盤の構築等の検討を行っている「防災 DX 官民共創協議会」メンバーの 1 社が、避難所データ集約・可視化アプリケーションを構築して対応できるようにした。集約された避難所情報に基づき、物資の支給、医療ケアなど様々な活動に活用している。

本来、こうした一連の仕組みは、災害発生の中核で実行可能な状態である必要がある。なお、内閣府は「全国共通避難所・避難場所 ID」という仕組みを構築済み。石川県など今回の地震に関

係している自治体はこれを使ったシステムを準備する必要がある、準備をしている最中に地震が起きた。

防災に向けたデジタル技術の活用においては、サーバーの二重化、回線の二重化など、必要十分な対策の実施が必要だ。これは従来から指摘されており、また、現在取り組みが進められている事項である。なお能登半島地震の初動では、防災 DX 官民共創協議会も提供した衛星通信の「Starlink」が役に立った。

デジタル技術の活用という点では、異なる組織間における確実な情報共有（データ流通路の確保、気象・道路・医療など異種データの統合利用など）や、意思決定者に向けた的確な情報提示（災害状況を端的に示した可視化など）が求められる。このアクションの重要性は、今回の能登半島地震でもあらためて明らかになった。なお国としては防災に必要なデータがすべて流通し活用できるという姿を目指している。ただし、それがいつ実現できるのかを確定するのは難しい。これらはハードウェア面での問題というよりはソフトウェア側の仕組み、あるいはユーザーの運用方法、あるいはリテラシーの課題である。

一方で近年は興味深い動きも見られている。IoT の発達等により、人流や交通流についての精度の高いリアルタイムデータが得られるようになったことだ。特にスマートフォンは誰でも持つデバイスになりつつある。スマートフォンに着目して人流や滞留を把握するシステムの有効性は、ますます高まると考えられる。もちろん精度についてはまだ課題がある。その改善も含めて、今後これにまつわる技術はさらに発展していくと思われる。

5 年後のデータセンターに求められるハードウェア上の性能要件は、現状とはそれほど変わらないと考えられる。ただし先にも触れたように、データの取得や反映におけるタイミングのズレを極小化することが、対策の現場での混乱を減らすうえで極めて重要である。これらの情報の取得・加工・流通・利用において、自動化や同期がきちんと実行できるようにする技術の開発が求められている。そこにはデータセンターも何らかの形で関わる可能性がある。

⑥データ連携による影響

データ連携基盤とは、国や地域、企業の枠を超えてデータを共有する仕組みのことである。企業内でデータを共有するシステムもデータ連携基盤と呼ばれているが、ここで言及するデータ連携基盤は企業をまたぐ規模の仕組みの話である。データ連携基盤は、産業の DX を進める環境を提供する仕組みとして産業界では近年重視されている。つまり、データを介して産業の構造やプロセスを再構築するために、従来の枠にとらわれずにデータを共有できるデータ連携基盤が必要になる。最近では DX の前段として、カーボンニュートラルのスコップ3 や、サプライチェーンの高度化といった企業や組織をまたがる課題を解決するための仕組みとして利用する動きも進んでいる。

データ連携基盤を構築するクラウドの物理的なインフラストラクチャーを提供するのがデータセンターである。クラウド上でデータを共有する仕組みには、共通のサーバーにデータを集める統合管理型や、複数のサーバーに分散して存在しているサーバー間で「ピア・ツー・ピア」の形でデータをやりとりする「分散型」などが考えられている。

企業間でデータを共有するデータ連携基盤は、まだ普及期に差し掛かろうとしている段階なの

で 2024 年の段階ではデータセンターに与える影響はまだ小さいが、今後データ連携基盤の普及に伴って生じる 5 年後のデータセンターの質的な変化として考えられることは、データ管理の厳格化が求められるようになることだ。

例えば、データが管理されている「場所」を明確にする仕組みが必要になる。国の重要インフラや国家安全保障に関わる重要技術にかかわる情報を国外に持ち出すことについて規制を厳しくする国や地域が増えている。データを移動するに当たってはデータを格納するサーバーがどこにあるかが分かるようにする必要がある。

データの所在も含めてデータ連携基盤を利用するユーザーが、より厳格にデータを管理するために、「ソブリンクラウド」を導入する動きが進む。ソブリンクラウドは、データ所有者が自分のデータを制御および管理する権利、いわゆる「データ主権」を保護するためのクラウドである。ソブリンクラウドの条件が明確に定められているわけではないが、多くの場合、国内の事業者・組織が運営し、データのセキュリティを確保するのはもとより、国内に設けたサーバーだけで保管・処理するように管理することで、他の国や地域の法令の影響を受けないようにすることになる。データセンターには、こうした要件に対応できる環境を提供することが求められるようになる。

厳しい管理は、データセンターにアクセスする人にまで及ぶ可能性もある。米国では政府関係のシステムについては、一般の情報システムに比べて人のアクセスが非常に厳しく管理されている。高度なセキュリティを確保すべき情報を扱う人員としての適格性を審査するセキュリティクリアランスを通過した人でないと、情報システムを設置した領域に立ち入ることができない。データ連携基盤を構築するデータセンターにも、このレベルの管理が求められるようになることが考えられる。

⑦宇宙による影響

ビジネスの手段として宇宙空間の活用が急速に注目を集めている。これまで国や政府主導で進められてきた宇宙空間における研究開発やビジネスに、民間企業の参入が相次いでいることも宇宙ビジネスの活況を後押ししている。

宇宙ビジネス市場は拡大の一途をたどると予測されるが、それをけん引するのは衛星インターネットサービスだ。米国会計検査院によれば、地球周回軌道上で運用される全衛星基数は 2013 年の 1000 基程度から 2022 年には 5 倍強の 5500 基に増えている。今後、さらに増加することは間違いない。

そして、これらの衛星から得られるデータもまた、種類や容量が飛躍的に増大していく。そうしたデータを活用することで、新たに事業を立ち上げることや、既存のビジネスを高度化・効率化するなど、これまでの宇宙ビジネスとは一線を画す事業領域が広がっていく。

このような背景から、宇宙ビジネスが 5 年後のデータセンターに影響を与える領域は、大きく分けて二つ考えられる。一つはアルテミス計画を代表とする宇宙空間においてデータを活用するという観点。そしてもう一つは、衛星からのデータを地上で利活用するという観点だ。

アルテミス計画においては、米航空宇宙局（NASA）を中心に月に再び宇宙飛行士を送り、月面において持続的な探査活動を行うことを目指している。そのような宇宙に進出する上で、データ

が重要なことはいうまでもない。月面のデータを地球に持ち込むというのはもちろんのこと、例えばレゴリスのようなその場で取得したものを解析するということも必要となってくる。

解析データは、いちいち地球に送るのではなく、宇宙上で蓄積していった差分を見たり、あるいは解析データからさらに実験を重ねていったりといった使い方が、今後ますます盛んになっていくことが想像できる。すなわち宇宙の中でデータの処理を早くして、その場での意思決定や判断に生かして、そして科学的な発見を行うための仕組みの構築が求められる。このニーズを満たすためには、データセンターを衛星上に構築することが望ましい。

この場合のデータセンターは、地上にあるデータセンターのようにネットワークで繋がれているわけではなく、スタンドアロンで構築されている形態に近い。実際に搭載されるのは大型の衛星になると考えられるが、その衛星が地上と通信できるのには周期がある。オンライン性がないので、通常はスタンドアロンで処理をするということがメインの役割となる。

スタンドアロン型のデータセンターに必要なのは、取得した膨大なデータから地上に送るために本当に必要なデータを取捨選択でき、さらにはそれを圧縮できる機能の搭載。例えば、画像データであればAIによって認識させ、必要なものだけを選択するなどのことが考えられる。

また、宇宙でデータセンターを構築する場合は、例えばマザーボードを交換するなどのメンテナンスが頻繁に行えない。このため、必要となる要件などを予めはっきりとさせて、一気に設備を構築することが必要だ。

一方の、衛星からのデータを地上で利活用するという観点では、前述のように5年後には間違いなく衛星の数が多くなっているため、衛星からの大量のデータを効率的に管理する仕組みが、地上のデータセンターには求められる。ただし、データセンターの多くのユーザーが闇雲にデータを蓄積しているわけではなく、このような要求に対する対応は随時進んでいくと予測される。

衛星データの利活用は様々な分野で進んでいくと予測できるが、最も進展すると考えられるのが衛星からの観測データを防災の分野で活用すること。特に震災が起きた直後の二次災害の発生を防ぐのに、衛星からの観測データが活躍する可能性はある。ただ、現状はリアルタイム性に欠けるので、複数の衛星からタイミングよくデータを取得できる構成を構築するとともに、航空機やドローンなどのデータを組み合わせて防災に活かす必要がある。

また、環境対策に関しても進展が予測される。環境という点では、すでにGOSAT（温室効果ガス観測技術衛星、愛称「いぶき」）が温室効果ガスであるCO₂とメタンの濃度を宇宙から観測することを主目的とした衛星として稼働しているように、様々な面から衛星データの活用が進むと考えられる。例えば、街づくりなどを進めると、ヒトやモノが集まるという反面、活動が盛んになるためにCO₂濃度は上がる。環境には負荷がかかることになるため、街づくりを進めた不動産会社などは非化石証書を購入して、負荷をかけた分だけCO₂削減にコストを掛けなくてはならないが、このような指標に衛星データは活用できることになる。地球温暖化の対策は、人類が一致団結して取り組まなくてはならないことなので、CO₂濃度の活用は、より一層進むと考えられる。

大量の衛星から宇宙に関する大量のデータが地球に注がれ、そしてそのデータを災害や環境対策に活かす時代はすぐそこまで来ている。そのデータを蓄積、管理、加工するデータセンターの役割も重要だが、より膨大なデータを効率よくさばくためには、データセンターにも用途に特化した姿が求められるだろう。

⑧その他の質的観点（用途面）による影響

情報処理ニーズの観点として、これまで列挙してきたアプリケーション以外に将来的にデータセンターに影響を与える用途として考えられる一つが、金融システムだ。元々、金融機関の勘定系システムなどは「電算センター」などと呼ぶ自前の基幹業務システムを保有していたが、自前ではすべてを管理しきれないことからデータセンターに頼るようになってきたという歴史がある。

その金融系システムだが、情報の流出などはあってはならないので、セキュリティが再重視される。このセキュリティ重視の考えにより、最先端の技術を導入するのは、金融系システムが最も早いと思われる。加えて、レイテンシーに関しても厳しい条件が求められる。例えば、金融商品の取り引きスピードは年々速くなっているため、それに対応したレスポンスが望まれる。

動画サービスに対する配慮が必要だという向きもある。Sandvine 社がとりまとめた調査によれば、世界におけるインターネットトラフィックの 50%以上を動画が占めているという。動画の圧縮技術も進化しているが、一方で動画の解像度もどんどん高精細のものになってきているため、この割合が極端に減ることはないだろう。

データセンターには、これらの動画を収容するだけのストレージ量が求められる。ストレージに関して、技術的にはこの 5 年で大きなブレークスルーが期待できないため、動画サービスの拡大に応じたストレージ量の確保が必要となる。

III. 量的観点からの情報収集・分析・考察

調査目的

データセンターにおける5年後（2028年）時点での使用アプリケーションおよび当該アプリケーションの要求性能について、データ流通量、許容遅延時間などに代表される量的な観点から、情報収集・分析・考察を行う。

調査方法

5年後の当該技術の進捗が見通せる識者に対してヒアリングを行うとともに、日経BPが発信するメディア等を介した情報を元に、日経BP 総合研究所の研究員が分析・考察を行う。

実施期間

2023年11月22日～2024年2月29日

調査結果

①データ流通量の考察

データ流通量は、ここではデータセンターと外部とのデータ通信量を指すものと定義する。データ流通量は、社会におけるデータ活用度の指標であると同時に、データセンターに求められる処理能力を表す重要な指標の一つである。今後、生成AIや自動運転／MaaSをはじめとする多様なアプリケーションの実装が進むにつれ、データ流通量も増加していくことが予想される。5年後のデータセンターにおけるデータ流通量は、これらの新規技術／アプリケーションの普及度合いに依存する。

データ流通量を増やすアプリケーションとしては、自動運転や医療、宇宙ビジネスなどが挙げられる。大量の画像や動画を扱うため、それぞれのアプリケーションが本格的に利用され始めたとき、データ流通量に与える影響は大きい。

自動運転分野では、自動運転に関わる処理にリアルタイム性が求められるため、自動運転処理の多くはエッジ（自動運転車）側で実行されるはずだ。エッジからデータセンターに上がってくるデータはその一部になると考えられる。しかし、自動運転車側で撮影した動画を記録し、それをデータセンターに送るという用途が考えられる。走行中に何が起きていたのかを後で確認したり、自動運転の学習の際に利用したりするためだ。この動画を一定の頻度で無線伝送するとなれば、データ流通量は大幅に伸びる。

医療分野の創薬用途では、生成AIを含むAI関連アプリケーションがデータセンターに要求するデータ流通量が、今後5年間で少なくとも現在の5～6倍に増える見込まれている。また、医療機器・設備を連携させるスマート治療室の活用が進むことで、各医療機関で扱うデータ量は、手術中の動画・画像を中心に大きくなると考えられる。リアルタイムのAI解析で執刀医を支援するようなアプリケーションが普及すると、データセンターの通信やコンピュータのリソースがより一層必要になる可能性がある。ただし、AIで的確な結果を出すためには長期のデータ保存が必要だ。例えば予後にどうなったかというデータは数年にわたるデータ保存が求められる。

宇宙ビジネスでは、衛星の観測精度が上がり用途開発が進む一方で、高解像度かつ広域のデータを取得することでデータ量が膨大になることが指摘されている。宇宙・衛星関連の市場調査およびコンサルティングを手掛けるNSR（Northern Sky Research）は、2030年の宇宙関連のデータ

トラフィックが年間 130 ペタバイト程度になると報告した。これは 2020 年比でおよそ 15 倍という数字である。

衛星通信網の整備によるデータ流通量への影響もある。米 SpaceX の衛星ブロードバンドインターネット Starlink をはじめとする衛星通信網の整備が進むと、いままで通信設備を設置できなかったエリアからでもインターネットにアクセスできるようになる。これによってデータ流通量が増え、データセンターのコンピュータリソースがさらに求められる。

このほか、データ連携基盤の構築により、企業や業界、国境を越えたデータ連携が行われるようになると、データ流通量が爆発的に増えると考えられる。医療分野では、診療データや診断用の画像・動画のデータ連携によるデータ流通量への影響が予想される。従来、これらの大量の画像・動画は特定の病院内に保管されてきたが、マイナンバーカードの認証を基に別の病院から参照されるようになると、クラウド上のデータ連携基盤を介して相当量のトラフィックが発生する。国民の大多数がユーザーになる可能性があり、日本の国民 1 人当たりの年間外来受診回数は 12.6 回 (OECD Health Statistics 2019) という。ただし、医療データのデータ連携基盤を構築する動きは始まっているが、法規制が多いので、その対応には数年間かかるとみられている。

EU 圏の企業間データ連携基盤としては、EU のデータ連携基盤の枠組み（基本技術、認証などの運用ルールなど）を策定するプロジェクト「GAIA-X」が進行している。2024 年が GAIA-X ベースのデータ連携基盤の普及元年となり、2026 年くらいに仕組みが完成するだろう。ユーザーが本格的に増えるのはそれからだ。GAIA-X の仕様に準拠したデータ連携基盤では、自動車業界向けの「Catena-X」が 2023 年 10 月から稼働している。続いて製造業向けの「Manufacturing-X」が出てきたほか、エネルギー関連のプロジェクトが出てくるとみられている。

このように、データ流通量を増やす新しいアプリケーションは多い。ただし、5 年後にこれらのアプリケーションによってどの程度データ流通量が増えるのかは、法制度の整備を含めて、新アプリケーションの進展次第となる面がある。

一方、ネットワークトラフィックの伸びを緩和する技術があり、この技術が効果的な領域ではデータセンターのデータ流通量を抑えられる。例えば一般的なクラウド／ウェブサービスは、利用量が増えても、そのほとんどは CDN (コンテンツ・デリバリー・ネットワーク) を経由するので、データセンターのデータ流通量はあまり変わらない。

インターネットトラフィックの 2~3 割を動画配信が占めるようになり、解像度も 2K から 4K、8K へと進んでいるが、これもデータ流通量を劇的に増やす要因とはなりにくいという。解像度が高まれば動画に必要なネットワーク帯域も倍々で増えていきそうだが、並行して動画圧縮のコーデックが強化され、圧縮率が高まっている。CDN も利用できるのも、現状、データセンターのデータ流通量は極端には増えていない。リアルタイムで動画・画像データを大量に送る用途はなくはないが、衛星データなどの一部に限られる。

また、データセンター（クラウド）間の通信は飛躍的に増えると思われているが、基本的にビッグデータがそのまま共有されるわけではなく、エッジや中間である程度処理されたデータだけが共有されると考えられる。

データ流通量を増やす要因と抑制する要因を総合的に見た場合、自動運転や医療、宇宙ビジネスなどの新規アプリケーションが着実に進展した場合、5 年後のデータセンターにおけるデータ

流通量は劇的に増える。だが現実的には、新アプリケーションの進捗が期待するほど順調とは限らない。もし後者のケースとなれば、5年後のデータセンターのデータ流通量は、さまざまな調査会社が予測しているインターネットトラフィックの基調トレンド（年平均成長率 20%前半）と同程度の伸びになるとみられる。

②許容遅延時間の考察

今後 5 年間に於いて、今回調査の対象とした主要なデータセンターアプリケーションにおいては、許容遅延時間について特筆すべき対応、つまり 5 年以内に課題が顕在化し、早期に対応すべきとなる事象は発生しにくいと見られる。

ただし、各アプリケーションの活用状況の進展に応じて、5 年以内に、さらなる将来を見据えた検討事項が発生する可能性はある。

例えば自動運転が普及した将来においては、各地域の交通情報を担う「地域交通データセンター」のようなものを設置する可能性も出てくるだろう。5 年以内における具体的な対応は要求されないものの、布石を置く作業、つまり「データセンター側でのレスポンス性能をどう確保するか」という事項に関して、何らかの検討を始めるタイミングが 5 年以内にやってくる可能性はある」という認識は持っておくべきと考えられる。これと同様のことは、デジタル医療など他の分野においても当てはまる。

一方、高速性に対する要求とは異なるが、今後 5 年間に於いて CDN にあらためて注目が集める可能性がある。AI に要求した演算結果を現実的な時間内にユーザーに返すというニーズが高まることが考えられるためだ。具体的には、AI 活用の需要が高い地域から順に、キャッシュサーバーを配置し、併せてネットワーク回線を増強することになると考えられる。これは当然、データセンターの整備にも影響する。

③その他の量的観点での考察

2050 年のカーボンニュートラルを目指す日本。2021 年 10 月に発表された「第 6 次エネルギー基本計画」においてはそれを達成するまでの道筋が示され、2030 年には 2013 年比で温室効果ガスを 46%削減することを目標として掲げられた。

この高いハードルをクリアするために、省エネを推進するのはもちろんだが、よりクリーンなエネルギーを使用することが望ましい。エネルギー白書 2023 によれば、日本における 2021 年度の電源構成は LNG が 34.4%、石炭が 31.0%、石油等が 7.4%と、まだ火力発電が 7 割以上を占める状況。太陽光発電や風力発電などの新エネが 12.8%、水力が 7.5%と、再生エネルギー（再エネ）の割合はようやく 2 割を上回った段階。再エネに加えて原子力（6.9%）を含めたクリーンなエネルギーをどこまで増やせるかが、環境改善のためには重要だ。

そして、第 6 次エネルギー基本計画においては、2030 年の電源構成を、再エネ比率を 36~38%、原子力を 20~22%とすることを目標として定めている。そして 2050 年には再エネ比率を 50%以上に高め、残りは水素発電やアンモニア発電、火力発電+CCUS（CO₂の回収・利用・貯留）などの新技術の採用でカーボンニュートラル達成を目指すことになるが、その 2050 年を確実に迎えるためにも、2030 年の目標は達成必須だ。

一方で、日本においては原子力発電への不信感がまだまだ根強く、2030 年の原子力発電 20～22%という数字に懐疑的な向きも多い。従って再エネの比率として掲げている 36～38%をどれだけ上積みできるかが、現実的な解として求められるだろう。

このためデータセンターで利用する電力にも、今後は再エネを代表とされるクリーンなエネルギーの割合を高めることが求められる。科学技術振興機構が 2021 年に発表した「情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響」によれば、国内のデータセンターにおける電力消費量は 2018 年には約 140 億 kWh で、これは日本全体の消費電力量の約 1.4%を占めていた。一方、2030 年にはデータセンターの需要が急拡大することに伴い、約 6.4 倍の 900 億 kWh に増大すると推計されている。近年の日本の年間電力消費量が約 9000 億 kWh であるため、2030 年には日本の電力の約 10%がデータセンターに費やされているという事態にもなりかねない。このような状況において、データセンターが率先して再エネ使用を推進することは、日本のカーボンニュートラルを実現するためには必須ともいえる。

経済産業省は昨年、北海道と九州にデータセンターを設置する場合は、開設費用の半額を補助する制度を設けた。これはデータセンターが首都圏を中心に設置されていることが多いために、分散化するという意味合いもあるが、大きな狙いの一つは再エネの有効活用だ。太陽光発電の多い九州では電気を使い切れずに発電を止めることも多く余剰エネルギーがある。また北海道においても風力発電や地熱発電など幅広く再エネ電源の開発が進められている。加えて、寒い地域であるという特徴を活かせば、冷却に掛かる電力などの削減も可能だ。

海外のデータセンター事業者では、再エネの活用が進んでいる。米 Google は、2017 年の段階で年間電力使用量に相当する再エネを購入する 100%再エネを達成済み。また、米 Microsoft も 2025 年までに世界中で 100%再生エネを実現する公約を掲げるほか、AWS の親会社であるアマゾンも 2025 年までに事業で使用する電力の 100%を再生エネでまかなう目標を掲げている。このままでは環境問題を重視するユーザーは、ハイパースケーラーのクラウドを使えばいいという話にもなりかねない。

一方で、セキュリティの観点から、データセンターが国内にあることは重要で、機密性の高いデータは日本国内でしっかり安全に管理する必要がある。国内でデータセンターを維持するためにも、再エネ利用率を高いレベルで維持することが望まれる。

④カーボンフットプリントの考察

データセンターを稼働させるにあたって、これまでデータセンター事業者が重視していたのはストレージ量や処理能力、通信環境などをユーザーの要望に応じてどのように定めるのか、そして価格をどう設定するのか、といったことだった。ところがこれに加えて、近年、最重視しなくてはならないのが、環境への配慮だ。地球温暖化の抑制は、全人類が積極的に取り組んでいかななくてはならないのは明白だ。それに加えてデータセンターには乗り越えなくてはならない高い壁がある。

それが生成 AI の普及による環境への影響だ。「生成 AI による影響」でも述べているように、生成 AI の進化は目を見張るものがあり、そしてその用途は拡大する一方だ。技術的な観点からすれば、社会の中に生成 AI 技術が相当なスピードで普及する方向であることは間違いない。

ただその一方で、普及のうへで足枷となりそうなのが、旺盛な需要によって発生する膨大な計算能力を支えるための消費電力、そして発生する熱への対応だ。生成 AI においては、並列処理を得意とし、計算を高速で繰り返す GPU が用いられるが、主流の GPU では最大 300W 以上の消費電力を要するものも少なくない。当然、GPU を増やせば消費電力も増えるために、そもそも各種の電源に関する設備が増大する電力量に耐える設計になってなくてはならないし、また仮に耐えられるとしても、使用する電力が環境への負荷を考慮したものが求められる。

もちろん今後開発される GPU は、その処理能力と共にエネルギー効率も向上させ、消費電力を抑えながら高い性能を発揮できるようになっていくだろう。ただし、そういった対応にも限度があるため、増え続ける電力と環境への配慮といった相反する要求にバランス良く対応することが求められる。そのためには、カーボンフットプリントへの考慮が必要だ。

これらの背景もあり、データセンターサービス業がより効率良く電力を利用するよう、2022 年 4 月施行の改正省エネ法ベンチマーク制度によって、「年間のエネルギー使用量が原油換算で 1500 キロリットル以上」の企業は年間エネルギー使用量や PUE の値などを報告することが義務付けられた。PUE とはデータセンターにおける電力利用効率の指標であり、データセンター全体の消費電力を、サーバーなどの ICT 機器の消費電力で割った数値。1.0 に近いほど効率的である。

現在、2030 年に PUE1.4 をクリアすることが目標値として示されている。政府が一定の目標値を定めたことで、電力の有効利用に拍車がかかる。一方で、既に PUE1.4 をクリアしているデータセンターもあり、今後はその目標もシビアになる可能性はあるだろう。

上記はデータセンター事業者側に関連するものだが、一方で利用者側にも脱炭素への取り組みの圧力が高められている。2023 年 4 月施行の改正省エネ法によって、データセンター利用者に対しても、エネルギー使用量とともに非化石エネルギー転換計画の定期報告が義務付けられた。これによって、再エネ使用率の向上を柱とした非化石エネルギーへの転換に関しては、決してデータセンター事業者だけが推進する事項ではなく、利用者と協調しながら進めるべき課題となる。

こういった電力の課題と共に、熱の課題もデータセンターにとっては深刻だ。CPU や GPU は高性能化する一方で、多大な熱を発生するようになっている。熱を効率的に逃がさないと CPU や GPU の性能を最大限に発揮できない。

冷却に関しては、すでに現在一般的である空冷での冷却方法では限界が来ているとの見方が一般的で、これからのデータセンターには水冷での冷却方法が必須といわれている。ただし、データセンターに設置されている一部のネットワーク機器などは空冷の方が適しているために、空冷／水冷のハイブリッド冷却機能を備えることが必要とされる。

この場合は、電力の有効活用と同様に、水冷に対する水の有効利用も視野に入れるべきだ。このようなことを見越して、既に先進企業はいかに水を効率的に利用するかという方向に向かっていく。Microsoft では PUE と同様に、水の効率化を表す WUE という指標を定めている。今後、水冷が一般化すれば、サステナブルな社会を目指すために WUE が重要視される可能性がある。

⑤ サプライチェーンの考察

これまでのデータセンターは、インターネット上のデータを大規模な拠点に集約し、GPU やマイクロプロセッサを並べて集中処理する手法が主流だった。この方法がコスト的に優位だったか

らである。

5年後のグリーンデータセンターでは、生成AIをはじめとするアプリケーション側の質的な変化に伴って急増するデータ流通量に対して消費電力が爆発しないように、主に電力供給面におけるサプライチェーンに配慮する必要がある。そこでは、データセンターを地理的に分散配置することで、発電所当たりのデータセンターの数を当該地域で供給可能な電力で賄える水準に抑える必要がある。

データセンターを分散配置する際に強く求められるのが、2050年のカーボンニュートラル達成に向けた、グリーンな電力、すなわち再生可能エネルギーの活用である。具体的には、再生可能エネルギーの地産地消を意識してデータセンターを構築していく必要があるだろう。

再生可能エネルギーの地産地消という考え方の元でデータセンターを構築する上での課題は、エネルギーの安定性の確保である。太陽光や風力といった再生可能エネルギーには、出力が時間・天候・季節によって大きく変動してしまうという課題があるからだ。この課題を解決するには、再生可能エネルギーの出力変動を吸収する仕組みが必要になる。

その解決策として有力視されているのが、再生可能エネルギーと蓄電池、水電解装置（再生可能エネルギーの電力を使って水を電気分解し、高効率に水素を製造する装置）を組み合わせる方法である。太陽光や風力で作った電気を蓄電池で一時的に貯めておき、この電気で水電解装置を動かして水素を製造し、水素タンクに貯める方法である。蓄電池はスマートフォンで分かるように1-2日のうちに放電してしまうのに対し、水素は水素タンクに貯蔵しておけば長期保存が可能になる。このように、エネルギーを安定的にデータセンターに供給し続けるためには、このような電力面でのしっかりしたサプライチェーンの構築が不可欠になる。

IV. データセンター業務経験者・ユーザーへのアンケート調査

調査目的

質的観点（技術面）、質的観点（用途面）、量的観点から 5 年後のデータセンターに対する影響を分析する目的で、データセンター事業の経験者、およびデータセンターのユーザーからの意見を募る。

調査タイトル（回答者に提示した調査名）

データセンターの業界未来動向調査

調査方法

BtoB 向けナレッジプラットフォームを運営するビザスク（実名登録有識者数 56 万人超）の登録者の中から、データセンター事業の経験者、およびデータセンターのユーザーを抽出。その対象者に向けてインターネットを通じてアンケート調査

有効回答数

データセンター事業の経験者：17 名

データセンターのユーザー：24 名

調査機関

ビザスク

実施期間

2024 年 1 月 19 日～2024 年 1 月 30 日

調査結果

①質的観点（技術面）

アンケート回答者には、データセンターの要求性能に対して影響を及ぼすと想定される技術を予め三つ示し、回答可能な技術を選択してもらったうえで、その技術に対してコメントをもらった。複数選択は可能にしたが、最大で二つまでとした。三つの技術とは「生成 AI」「ブロックチェーン」「量子コンピューティング」である。またそれ以外にも影響を及ぼすような技術があれば、「その他の技術」を選んでもらったうえで、具体的に技術名を記載してもらうようにした。

回答可能な技術に関しては、まずその技術がデータセンターに対して求める、性能・機能要件とはどのようなものかを尋ねた。さらに 5 年後には、どのような性能・機能要件が求められるかを、その理由と共に尋ねた。

【データセンター事業の経験者】

データセンター事業の経験者 17 名が、回答可能として選んだ技術は「生成 AI」が 17 名、「ブロックチェーン」が 5 名、「量子コンピューティング」が 5 名で、その他の技術を挙げる回答者はいなかった（参照：図 1. データセンターへの性能要求に影響を及ぼしそうな技術（データセンター事業の経験者））。全回答者が生成 AI に関しては回答が可能という結果となった。

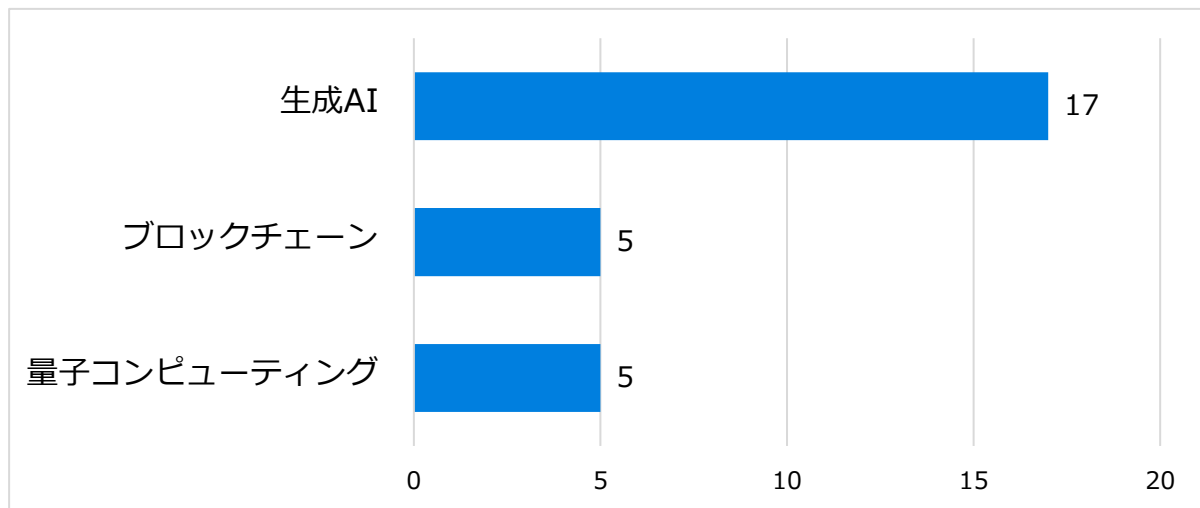


図1. データセンターへの性能要求に影響を及ぼしそうな技術（データセンター事業の経験者）

それぞれの技術が求めるデータセンターの性能・機能要件だが、生成 AI に関しては膨大な量のデータから学習させ、結果を取り出さなくてはならないため、高度な処理能力が要求されるという回答が多かった。また、そのような処理を実現するための電力供給性能や、大量のデータを送受信するためのネットワーク帯域、高度な処理を実行するために発生する熱の冷却など、データセンターを運用する側から見たハードに関する性能・機能要件が多く挙げられているのが特徴である。

ブロックチェーンに関しては、マイニングの処理を意識してか、やはり高速な処理能力が要求されるというコメントが目についた。量子コンピューティングについては、まだ黎明期ということもあり冷却機能や振動環境、電力の確保など、設備に関するコメントが目立った。

それぞれの技術が求めるデータセンターの性能・機能要件に関して特徴的だったコメントを以下に列挙する。

・生成 AI のパフォーマンスを最大化するためにも、GPU を起点とする高度の処理能力が求められる。また、AI が使用する周辺ハードウェア、特にデータ格納用の大容量ストレージが求められる。【生成 AI】

・生成 AI は秘匿性が求められるため、セキュリティレベルが高いことが求められる。加えて、発熱量が既存サーバーより大きくなるため、高い冷却能力が求められる。更に、サーバー重量も大きいため、平米あたりの積載荷重が大きいデータセンターが必要になる。【生成 AI】

・生成 AI では、大量のデータを取り込み学習させる必要があるため、ネットワーク費用が高額になる可能性が高い。通信コストがダイレクトにコストに跳ね返るため、高速なネットワーク要件が求められる。【生成 AI】

・マイニングはグローバルネットワーク上での競争で行われるため、インターネットアクセスが高速であることが重要である。そのためにはインターネットサービスプロバイダに直結するネットワークをデータセンターに引き込む必要がある。【ブロックチェーン】

・高電力消費、高温度の GPU を稼働させるため、冷房設備の強化と将来的には水冷式冷却が必要。

【ブロックチェーン】

・超低温環境。量子ビットは非常に壊れやすいといわれており、高い冷却機能と非常に安定的な冷却機能の導入（液浸等）が必須。【量子コンピューティング】

・量子コンピューティングではソルバーと呼ばれる専用の解析エンジンを利用することが求められる。

このため、まずこの専用エンジンの汎用化が普及の条件となり、この汎用的な解析エンジンをクラウドで提供することがデータセンター事業者に求められる条件になる。【量子コンピューティング】

続いて、5 年後にはどのような性能・機能要件が求められるかを、その理由と共に尋ねた結果だが、5 年後と近未来であることもあり、上記で掲げた性能・機能要件をさらに強化するといったニュアンスが全般的に多かった。一方でコメントとして目立ったのは環境への対応。膨大な電力を消費するデータセンターには環境に与える影響も大きいため、積極的に対策を打つことが要件に求められるという。具体的には再エネ利用率や電力効率を高めることが必要だ。

それぞれの技術において 5 年後はどのような性能・機能要件をデータセンターに求められるかに関して特徴的だったコメントを以下に列挙する。

・グローバルでの生成 AI の動向を考慮すると、2023 年はあくまでも生成 AI 元年であり、これから市場として立ち上がっていく。このため爆発的に計算能力と記憶容量が高まっていくことを考え、それを実現することができるハードとソフトの両面をまずは整えることができないと、その後のソリューションとしてサービスを提供することができない。【生成 AI】

・企業や団体単位でのプライベートクラウドを持つことは、コスト的に非常に厳しく、また運用に手間がかかる。このため、自治体・医療機関など業界共通の業務に対応した生成 AI 環境を持つことで、一気に市場が広がると考える。【生成 AI】

・データセンターで発生する熱容量は、環境面でも大きな問題になっているために、早急に解決する方法が必要であり、再生エネルギーによる運用が求められる。【ブロックチェーン】

・ブロックチェーンでは、データの一貫性が重要なため、これを確保するためのセキュリティ対策が必要。【ブロックチェーン】

・量子コンピューティングは研究者等の一部の技術者のみの世界であるため、ある程度のスキルを持った技術者も利用できるフレームワークが必要。【量子コンピューティング】

【データセンターのユーザー】

データセンターのユーザー 24 名が、回答可能として選んだ技術は「生成 AI」が 20 名、「ブロックチェーン」が 6 名、「量子コンピューティング」が 4 名で、その他の技術を挙げる回答者が 3 名いた（参照：図 2. データセンターへの性能要求に影響を及ぼしそうな技術（データセンターのユーザー））。回答者の割合が多いのは、データセンター事業の経験者と同様に生成 AI であり、割合

にして 83.3%。またその他の技術を挙げた 3 名の回答は、それぞれエッジコンピューティング、プライベートクラウド、IoT であった。

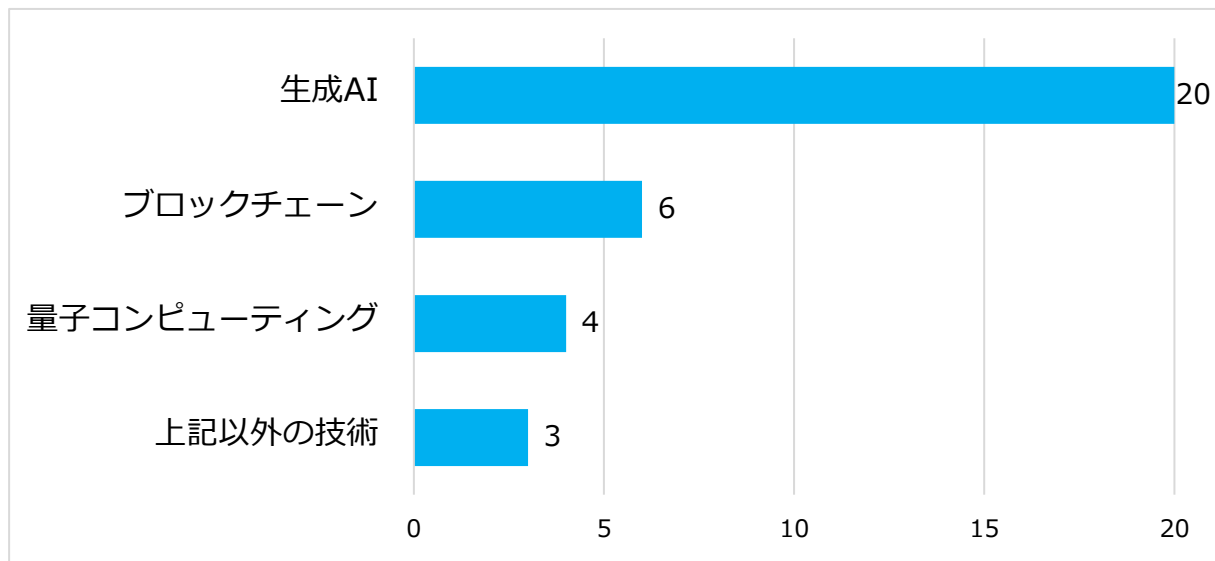


図 2. データセンターへの性能要求に影響を及ぼしそうな技術（データセンターのユーザー）

それぞれの技術が求めるデータセンターの性能・機能要件に関して、生成 AI に関してはユーザーという観点からデータセンター事業の経験者と比べて自分達の業務と照らし合わせた具体的な要件が多かった。テキストだけでなく画像や動画なども扱える高速性やデータ容量、情報の信頼性を担保できるセキュリティ、膨大な会社情報を学習させるためにストレージ費用を安くしたい、意識の低い利用者でも理解を促すユーザーインターフェースなど。はたしてデータセンター側が対応すべき要件かどうか判断が難しい部分もあるが、サービスを構築するうえでは参考になると思われる。

ブロックチェーンや量子コンピューティングに関しても、回答にこれといった方向性は見当たらず、ユーザーごとに要件はバラバラであることが見て取れた。

それぞれの技術が求めるデータセンターの性能・機能要件に関して特徴的だったコメントを以下に列挙する。

・パブリックなデータを用いて学習した AI と、プライベートなデータを用いて学習した AI とのハイブリッドな環境が必要になる。【生成 AI】

・特に医療分野での生成 AI の活用が進むと考えられる。用途としてはテキスト情報だけでなく、大規模な画像、映像の蓄積が見込まれる。医療分野では、法規制対応を含めてセキュリティのニーズが大きいため、セキュリティの機能強化が求められると考えられる。【生成 AI】

・ブロックチェーンでは、細かいパケットのやり取りが発生するため、ネットワークのレイテンシーが重要になる。データセンターを全国に分散させてレイテンシーを下げる工夫などが求められると考える。【ブロックチェーン】

・ブロックチェーンを用いたサービスの場合には、リアルタイムでの暗号処理が多数必要となるため、暗号ロジックに沿ったコプロセッサや、暗号アルゴリズムの高速化や省力化に特化したアルゴリズムなどを活用すると有用である。【ブロックチェーン】

・量子コンピューティング技術は急速に進化しており、新しい技術やアップグレードが頻繁に行われる。したがって、データセンターはスケーラビリティと柔軟性を持ち合わせ、技術の進化に迅速に対応できる構造でなければならない。【量子コンピューティング】

続いて、5年後にはどのような性能・機能要件が求められるかを、その理由と共に尋ねた結果だが、コストパフォーマンスのよいサービスや、処理を依頼してから長く待つことのない高速な応答性など、使い勝手の良くなるような要件を挙げているコメントが目についた。以下に特徴的だったコメントを列挙する。

・様々な業界で生成AIが利用されると、データセンターに掛かる負荷は急激に増加するため、多くのユーザーが利用しても、ジョブ待ちの時間が長くなったり、混雑する時間帯で計算スピードが低下したりしないことが必要。【生成AI】

・海外のSaaSとの戦いになってくると考えられるので、フルマネージドかつストレージやネットワークが安価で高性能なデータセンターが求められる。【生成AI】

・AIを利用した文書が偽装目的で利用される可能性があり、それを見分ける技術を身につけるための学習機能がデータセンターのマシンに必要な。現状の数倍以上の処理速度がないと、真偽判定を行いつつ、処理を行う事が出来ない。並列処理や分散処理の技術が重要になる。【生成AI】

・過半数を悪意あるノードに取られるとデータ改ざんが可能となりブロックチェーンの根幹が崩れるので、データの堅牢性を担保するためのセキュリティ要件や、公正な演算資源の過半数以上の確保等が必要となる。【ブロックチェーン】

・ケーブルをカップリングしてデータを抜き取る製品と技術は普及しているので、量子コンピューティングでの暗号化がキーとなる。オンプレミスサーバーには価格面からの優位性は極めて低いものの、量子コンピューティングでの防御は必須要件となる。【量子コンピューティング】

・量子コンピュータでは、極低温での安定した運用環境、強化された電磁干渉保護、高度な振動制御、進化する技術に対応するためのスケーラビリティと柔軟性が重要視される。【量子コンピューティング】

②質的観点（用途面）

アンケート回答者には、データセンターの要求性能に対して影響を及ぼすと想定される用途を予め八つ示し、回答可能な用途を選択してもらったうえで、その用途に対してコメントをもらった（最大二つまで）。八つの用途とは本調査の＜調査項目3＞に挙げた用途に準じている。ただし、「Society 5.0」は扱う対象が広範でかつ今回提示した他の用途との重複があり、回答者に分かりにくいとの判断から、Society 5.0の取り組みの中でも中核を成す「デジタル農業」と「エネルギー最適化」に選択肢を分けた。また提示した八つ以外にもデータセンターの在り方に影響を及ぼ

すような用途があれば、「その他のアプリケーション」を選んでもらったうえで、具体的に用途名を記載してもらうようにした。

回答可能な用途に関しては、まずその用途がデータセンターに対して求める、性能・機能要件とはどのようなものかを尋ねた。さらに 5 年後には、どのような性能・機能要件が求められるかを、その理由と共に尋ねた。

【データセンター事業の経験者】

データセンター事業の経験者 17 名が、回答可能として選んだ用途で一番多かったのは「自動運転」で 7 名、次いで「スマート工場」と「データ連携」が 5 名、「デジタル防災」が 3 名、「デジタル農業」、「エネルギー最適化」、「デジタル医療」、「宇宙」がそれぞれ 1 名だった。（参照：図 3. データセンターへの性能要求に影響を及ぼしそうな用途（データセンター事業の経験者））。その他のアプリケーションは 1 名が選択し、具体的な用途は「スーパーシティ」であった。

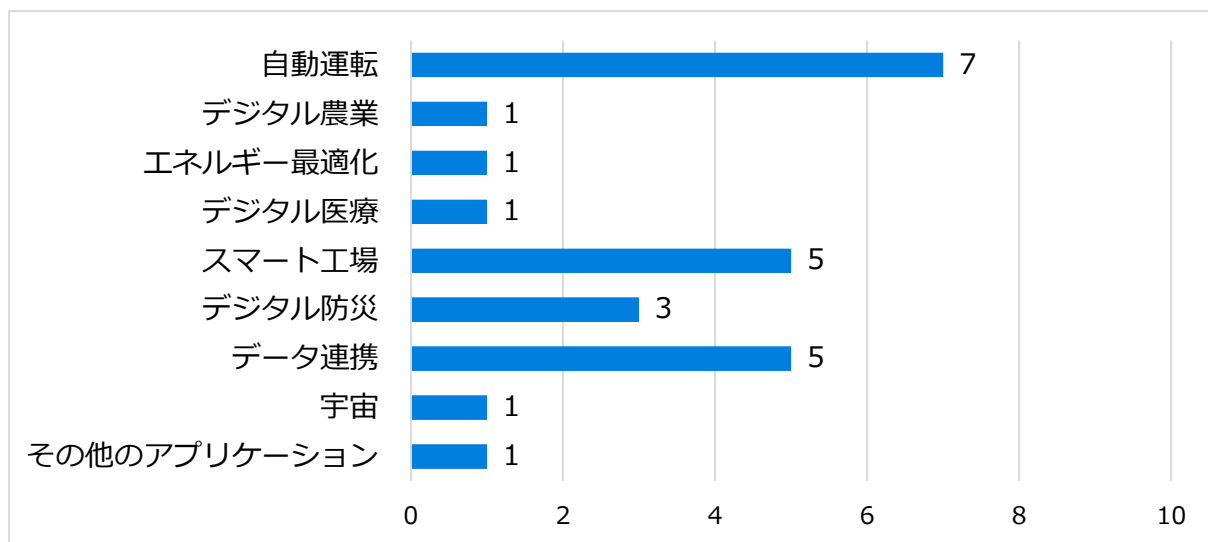


図 3. データセンターへの性能要求に影響を及ぼしそうな用途（データセンター事業の経験者）

それぞれの用途が求めるデータセンターの性能・機能要件だが、「自動運転」は低遅延を要件として挙げる回答者が多かった。また、「データ連携」はセキュリティを要件として挙げる回答者が多かった。多くの選択肢は回答者の数が少ないので、それ以外には主だった傾向は見られなかった。特徴的だったコメントを以下に列挙する。

・通信のリアルタイム性、遅延に対するシビアな要求が求められるために、安定した通信、および故障が発生した時のシームレスな切り替えが、システム要件として求められる。同時にそれが実現できない時の代替手段も予め講じる必要がある。【自動運転】

・自動運転で発生した事故の責任をデータセンターが負わないための仕組み。例えば、パケットロスが事故原因の一つといわれないようにするためのモニタリングシステム等。【自動運転】

・最適制御には高性能 AI の力を借りる必要があり、そのためには生成 AI に対応したデータセンターが必要である。【エネルギー最適化】

- ・数万におよぶ全国医療機関で実施している業務（例：医療費算出）を統一しクラウドリフトした場合に、数秒のレスポンスタイムで応答するための性能が求められる。【デジタル医療】
- ・多くのデバイス／センサーがデータを送受信／リアルタイムな制御や監視が行われるため、低遅延のネットワーク接続が必要。また、工場内の重要なシステムがデータセンターに依存することになるため、例えば、バックアップ電源や冗長化されたハードウェア、冷却システムなどを備えて、システムの中断や停止を最小限に抑えることが必要。【スマート工場】
- ・災害発生時には、データセンター自体の強固なインフラ設備（電源や冷却）に加えて、エッジコンピューティング活用（IoT やセンサー活用等）によりデータセンターへのアクセスを確保することが求められる。【デジタル防災】
- ・各社のデータが連携されるため、それぞれのデータ主権を担保するためのセキュリティ要件【データ連携】

それぞれの用途が5年後にはどのような性能・機能要件が求められるかを、その理由と共に尋ねた結果に関しては用途別に特に傾向が見つけられず、以下に特徴的だったコメントを列挙する。

- ・クラウド側の都合によって医療業務が停止するなどあり得なく、クラウド障害発生時にもリアルタイムで業務が引き継がれる必要があるため、より簡単に構築可能なマルチクラウド環境が求められる。【デジタル医療】
- ・スマート工場は、単純にIoT機器のデータを収集するだけではなく、センサー情報の管理、データ解析の自動化などが要求される。このため、専用の管理ツールの構築や運用体制が必要になる。一般的にこのような環境準備を企業側に求めることは厳しく、データセンター事業者側の基本インフラとサービス運用が求められる。【スマート工場】
- ・ネットワークや電源インフラはユーザー側で準備困難。そのため高速低遅延のネットワークと複数経路からの電力確保または発電設備がデータセンターに最も求められる。【デジタル防災】
- ・データの取り扱いに関してはより厳格化されており、EUのようなデータ民主主権の考えがある。このためどのデータがどこに保存され、また誰によって管理されているかを明示できる、また事業撤退リスクを考慮した出口戦略が求められる。【データ連携】
- ・宇宙データセンター構想では、多様な人工衛星との接続が求められるため、その接続形態等の標準化が必要。【宇宙】

【データセンターのユーザー】

データセンターのユーザー24名が、回答可能として選んだ用途で一番多かったのは「自動運転」で15名、次いで「スマート工場」と「データ連携」が7名、「デジタル医療」が4名、「エネルギー最適化」が3名、「デジタル防災」が2名、「デジタル農業」と「宇宙」が1名だった。（参照：図4. データセンターへの性能要求に影響を及ぼしそうな用途（データセンターのユーザー）。またその他のアプリケーションを選択する回答者はいなかった。「自動運転」は6割以上の回答者が選んだことになる。

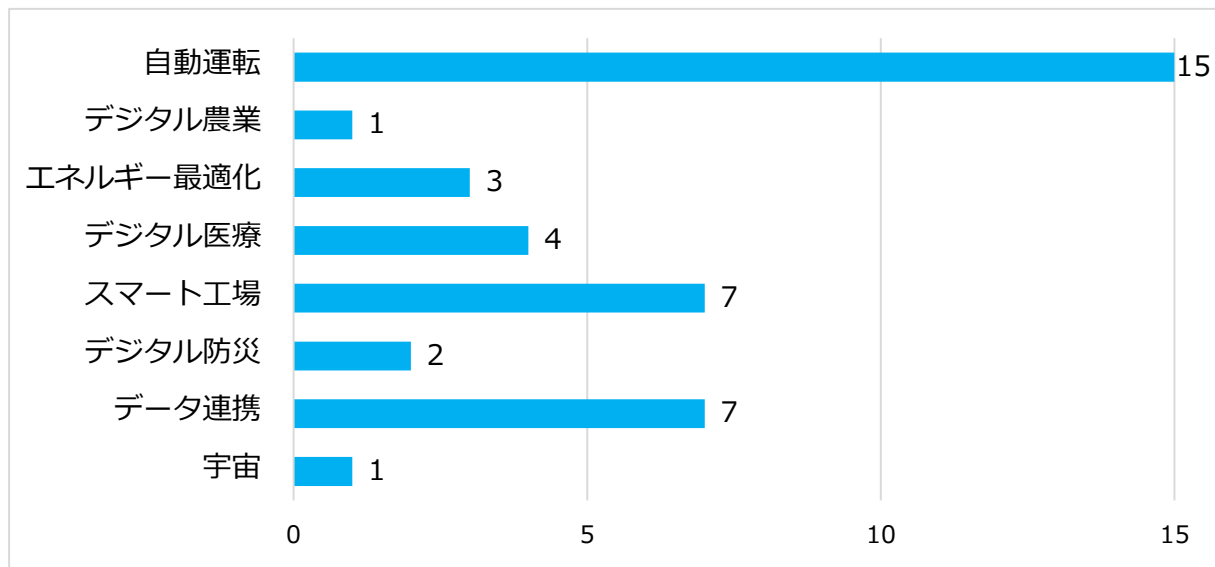


図 4. データセンターへの性能要求に影響を及ぼしそうな用途（データセンターのユーザー）

それぞれの用途が求めるデータセンターの性能・機能要件だが、「自動運転」ではデータセンター事業の経験者のコメントと同様に低遅延を要件として挙げる回答者と共に、膨大なデータを収納するためのストレージ量を挙げる回答者も多かった。また、「デジタル医療」では遠隔医療実現のためにリアルタイム性を求める声が多かった。特徴的だったコメントを以下に列挙する。

- ・自動運転においては、センサーデータおよび各種画像・動画を取り扱う必要があるため、大容量のデータを低レイテンシーで取り扱うことが必要になる。【自動運転】
- ・通信処理のリアルタイム性が求められるため、データセンターのネットワーク処理速度の速さや、データセンター障害による運転事故は致命的になるため、高い可用性が求められる。【自動運転】
- ・画像や農機具、農業など多様なセンサーからデータを収集し、期待する目的に対して明確な改善ポイントを示すことが必要となる。そのため、データフォーマットやロードする手法に縛られないシームレスな分析・処理の仕組みが重要になる。【デジタル農業】
- ・エネルギー最適化は、電力需要と発電能力を長周期、短周期でそれぞれ最適化演算による大規模な処理が必要になるため、データセンターのサーバー処理能力が重視される。【エネルギー最適化】
- ・デジタル医療においては、遠隔操作による診断や手術が容易に行えるというメリットがあり、ネットワークを含めたリアルタイム性が要求される。さらに大量の画像や映像情報を迅速に処理するためにメモリの活用が求められる。【デジタル医療】
- ・工場は、大多数の人が入ることができるため、データセキュリティの観点から、内部犯行のリスクが潜在的に高く、USB メモリなどによるマルウェア感染のリスクも高い。セキュリティの観点からは、原則、工場内にデータは溜めず、クラウドやデータセンターに標準仕様の暗号化の上で送信して、標準仕様の暗号データで保管しておくのが、ベストプラクティスとなる。よって、廉価な大容量ストレージが重視されると考える。【スマート工場】

・データ連携の要件は時間とともに変化するため、データセンターはスケーラブルで柔軟なシステム構成が重要。【データ連携】

それぞれの用途が5年後にはどのような性能・機能要件が求められるかを、その理由と共に尋ねた結果に関しては、用途別に特に明確な傾向はなく、以下に特徴的だったコメントを列挙する。

・電力はもとより、セキュリティ攻撃はより中枢への攻撃に集中してくると想定されるため、安定した電力供給と強固なセキュリティ基盤が求められる。【エネルギー最適化】

・ネットワークのランニング費用は非常に高額であるため、要件が高い方に仕様を合わせると、要件が低い方のコストパフォーマンスが低くなる。実現する用途に応じてリアルタイム性や帯域、遅延などが異なるので、その差分を柔軟に埋めて全方位対応したデータセンターとしていくか、もしくは用途特化型としていくか、いずれかの対応が必要と考える。【デジタル医療】

・スマート工場のユースケースは市場拡大傾向で、扱うデータ規模も拡大傾向にあるため、高い性能・機能要件が求められ続ける。このため工場IoTでは自動学習／追従できる異常検知アルゴリズムがトレンドになると考えられる。【スマート工場】

・デジタル防災ではデータのバックアップとリストアのための手順整備などが必要で、さらにこれらは自動化されるべき。【デジタル防災】

・データは顧客のものであり、その利用許諾の範囲内でのデータ連携に限定する必要があることから、データセンターには、データセキュリティ、一貫性、堅牢性、ノイズデータの除去などが求められる。【データ連携】

③量的観点（用途面）

アンケート回答者には、前問においてデータセンターの要求性能に対して影響を及ぼすと想定される用途を予め八つ示したものから選んでもらった。選んでもらった用途に対して、5年先を想定してアプリケーションの流通量がどの程度変化するか、加えて5年先を想定した際にアプリケーションの許容遅延時間（ネットワークレイテンシー）として、データセンターへどこまで要求するかを尋ねた。いずれの回答も、選択肢を複数用意する中から、最適なものを選んでもらった。

【データセンター事業の経験者】

データセンター事業の経験者17名が、回答可能として選んだ用途の数は合計すると25であった。回答者に対しては、それぞれの用途に対してデータ流通量がどれだけ変化するのか、許容遅延時間はどこまで要求するのかを尋ねた。回答結果を用途別に示すほど数は多くないので、ここではすべて足した結果を示す。

データ流通量の変化に関しては「現在の50%増」が1名、「現在の2倍」が2名、「現在の2～5倍」が3名、「現在の5～10倍」が3名、「現在の10倍以上」が16名という結果となった（参照：図5. 5年先を想定した際、アプリケーションのデータ流通量はどの程度変化すると考えるか

（データセンター事業の経験者）。6 割以上の回答が、データの流通量が 10 倍以上になると考えている。

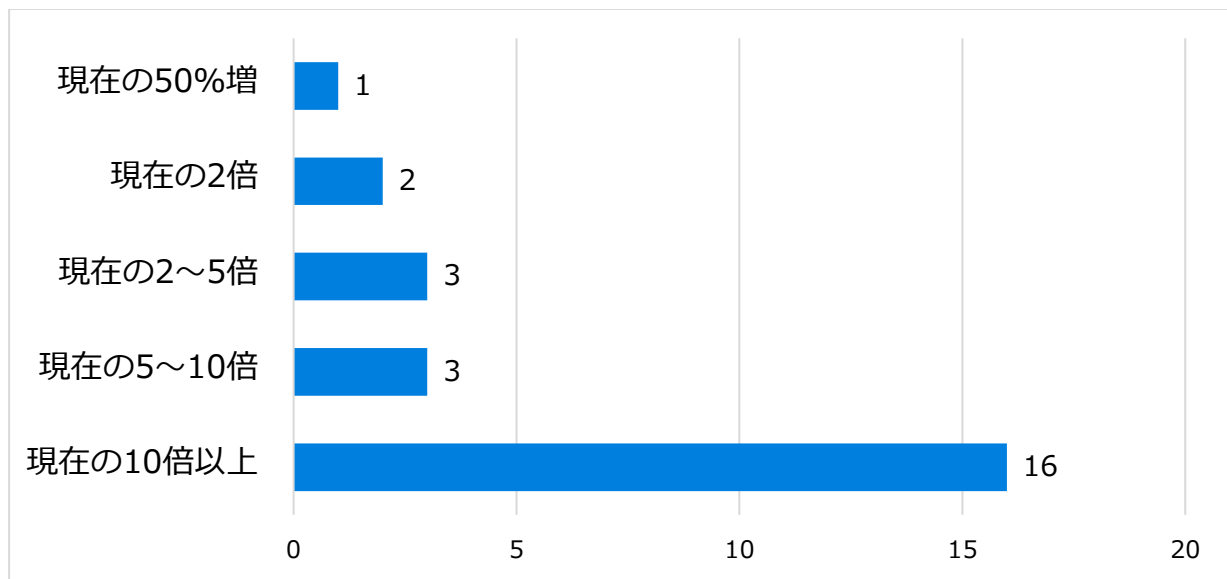


図 5. 5 年先を想定した際、アプリケーションのデータ流通量はどの程度変化すると考えるか（データセンター事業の経験者）

一方で、許容遅延時間として、データセンターへどこまで要求するかに関しては「100 ミリ/秒以上」が 5 名、「10 ミリ/秒～100 ミリ/秒」が 6 名、「1 ミリ/秒～10 ミリ/秒」が 4 名、「0.1 ミリ/秒～1 ミリ/秒」が 5 名、「0.1 ミリ/秒 以下」が 5 名という結果となった（参照：図 6. 5 年先を想定した際、アプリケーションの許容遅延時間としてデータセンターへどこまで要求するか（データセンター事業の経験者））。許容遅延時間の要求は、比較的分散しているという結果になった。

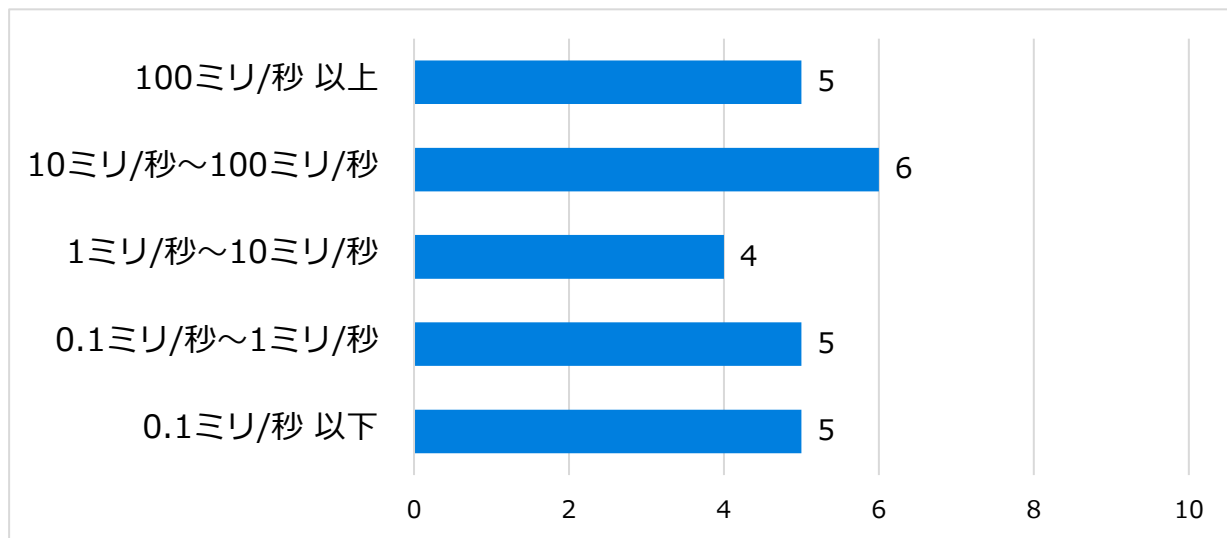


図 6. 5 年先を想定した際、アプリケーションの許容遅延時間としてデータセンターへどこまで要求するか（データセンター事業の経験者）

【データセンターのユーザー】

データセンターのユーザー24名が、回答可能として選んだ用途の数は合計すると40であった。データ流通量の変化に関しては「現在と変わらない」が2名、「現在の50%増」が2名、「現在の2倍」が1名、「現在の2～5倍」が11名、「現在の5～10倍」が12名、「現在の10倍以上」が12名という結果となった（参照：図7. 5年先を想定した際、アプリケーションのデータ流通量はどの程度変化すると考えるか（データセンターのユーザー））。データセンター事業の経験者の回答のように「現在の10倍以上」の数が圧倒的に多いわけではない。

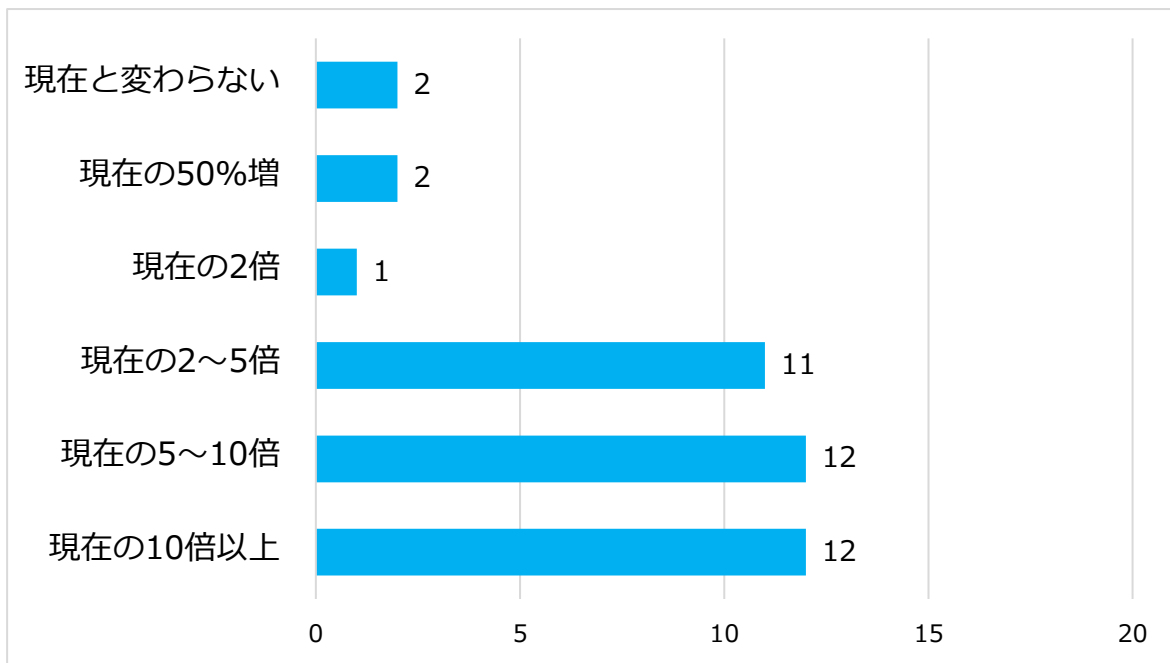


図7. 5年先を想定した際、アプリケーションのデータ流通量はどの程度変化すると考えるか（データセンターのユーザー）

一方で、許容遅延時間として、データセンターへどこまで要求するかに関しては「100 ミリ/秒以上」が5名、「10 ミリ/秒～100 ミリ/秒」が5名、「1 ミリ/秒～10 ミリ/秒」が20名、「0.1 ミリ/秒～1 ミリ/秒」が6名、「0.1 ミリ/秒 以下」が4名という結果となった（参照：図8. 5年先を想定した際、アプリケーションの許容遅延時間としてデータセンターへどこまで要求するか（データセンターのユーザー））。半数の回答が「1 ミリ/秒～10 ミリ/秒」に集中しており、用途によってはそこまで厳しい許容遅延時間は求めないという姿が明らかになった。

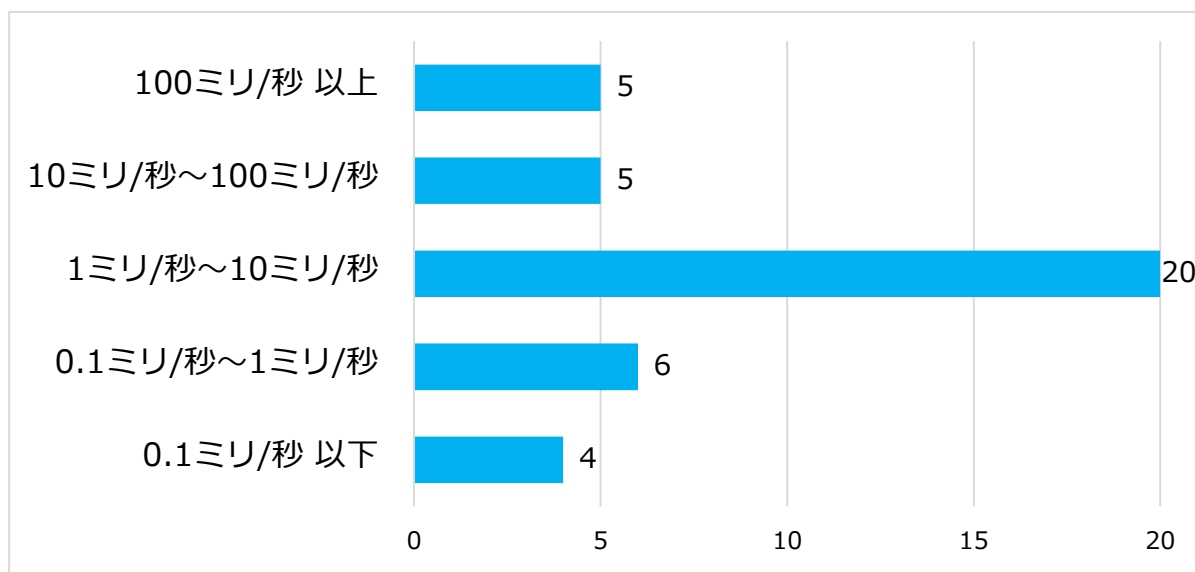


図 8. 5 年先を想定した際、アプリケーションの許容遅延時間としてデータセンターへどこまで要求するか（データセンターのユーザー）

2. 研究発表・講演、文献、特許等の状況

なし。

契約管理番号：	23201831-0
---------	------------