

データセンターにおける冷却方式 の最新動向





CONTENTS

- Chapter 1 サステナビリティが求められるデータセンター
- Chapter 2 空調による現在の冷却方式における限界
- Chapter 3 データセンターにおける新たな冷却方式
- Chapter 4 NTTグループにおける取り組み事例

Chapter1

サステナビリティが求められるデータセンター



革新的な冷却技術の導入により、データセンターの持続可能性を高める。

情報通信技術（ICT）の進展と共に、データセンターは現代社会におけるデジタルインフラストラクチャーの中核を担っています。クラウドコンピューティング、ビッグデータ分析、そしてジェネレーティブAIなどの最先端技術は、膨大なデータ処理能力を要求し、これに応えるためには、高性能で信頼性の高いデータセンターが不可欠です。これらの技術の普及はデータセンターの需要を急激に増加させ、その結果、データセンターの建設と運用は年々拡大しています。

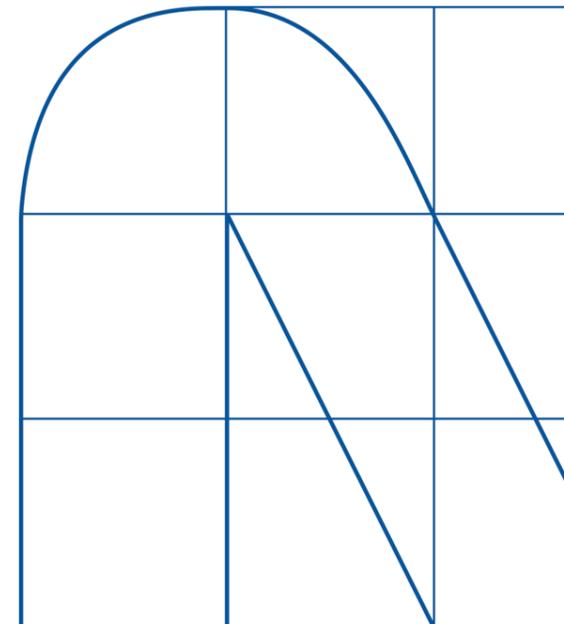
しかし、このような拡大はエネルギー消費の増大という新たな課題をもたらしています。データセンターの高集積化が進むにつれ、サーバーラック当たりの発熱量が増加し、従来の冷却方式では対応が難しくなっています。データセンターは大量の電力を消費し、それに伴い大量の熱を発生させます。この熱を効率的に管理し、冷却することは、データセンターの持続可能な運用において重要な要素となっています。

さらに、データセンターのエネルギー消費は、地球温暖化の主要な原因であるCO2排出量の増加に直結しています。

国際エネルギー機関（IEA）の2024年1月の報告によると、データセンターの電力消費量は2026年までに2022年の2倍以上に増加すると予測されています。このような状況はデータセンターに対するサステナビリティ、すなわち持続可能性の観点からの要求を一層高めています。

データセンター事業の拡大と高集積化はエネルギー消費と熱問題を引き起こし、それがさらなるサステナビリティへの要求を生み出しています。この問題に対処するためには、革新的な冷却技術の開発と導入が急務となってきています。データセンターのサステナビリティを実現するためには、エネルギー効率の高い設計、再生可能エネルギーの利用、廃熱のリサイクル、そして環境に配慮した運用が求められます。

これらの取り組みは、データセンターが社会に与える環境への影響を最小限に抑えると同時に、将来にわたって持続可能な運用を可能にすることでしょう。これらの課題に対応するため、データセンター業界は継続的な技術革新と環境への配慮を進めていく必要があります。そして、その中心には革新的な冷却技術の開発と導入が挙げられて、この技術はデータセンターの持続可能性を高める鍵となるでしょう。



Chapter2

空調による現在の冷却方式における限界

データセンターにおける現在の空調方式は、限界を迎えつつある。

データセンターの冷却は、従来、空調によって行われてきました。しかし、その限界が明らかになってきています。空調による冷却は、大量の電力を消費し、効率的な冷却が困難であることが問題となっています。特に、サーバの高密度化に伴う発熱量の増加に対応するのが難しくなっています。

また、空調による冷却は、エネルギー効率の指標であるPUE(Power Usage Effectiveness)の改善にも限界があります。これらの問題を解決するためには、新たな冷却方式の導入が必要となっています。

PUEが1に近いほど効率が高いが、現実には難しく冷却技術の改善が必要。

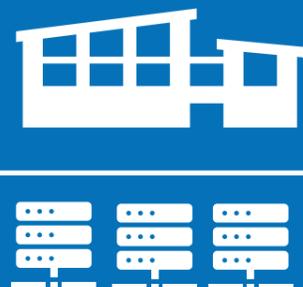
2.1 電力使用効率(PUE)

電力使用効率(Power Usage Effectiveness、PUE)は、データセンターのエネルギー効率を評価するための指標です。PUEは、データセンター全体の電力消費量を、IT機器の消費電力で割った値で、この値が1に近いほど効率が良いとされています。具体的には、PUEは以下の式で計算されます。

ここで、データセンター全体の電力消費量とは、サーバーやストレージなどのIT機器だけでなく、冷却方式や照明、変換損失など、データセンターの運用に必要な全ての電力を含みます。

一方、IT機器の消費電力とは、サーバーやストレージなど、データ処理に直接関わる機器の消費電力を指します。PUEの値が1に近いということは、データセンターで消費される電力の大部分が、データ処理に直接使われ、冷却や照明などの非IT負荷に使われる電力が少ないことを意味します。つまり、エネルギーが無駄になっていない、効率的なデータセンターであると言えます。

しかし、現実的には、PUEの値を1にすることは難しく、特に空調による冷却では大量の電力を消費するため、PUEの値を理想的な1に近づけることは困難です。これは、データセンターのエネルギー効率向上のための課題となっており、新たな冷却技術の開発が求められています。

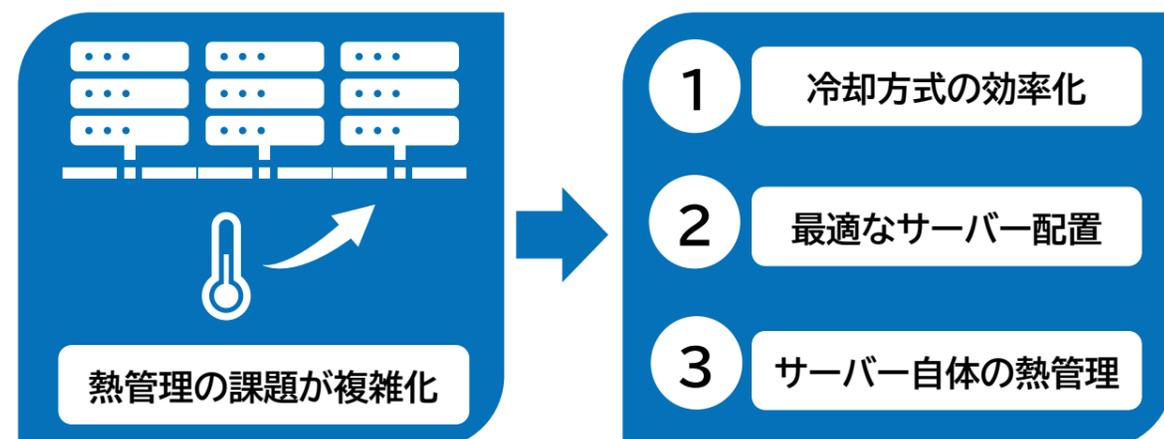
$$PUE = \frac{\text{データセンター全体の消費エネルギー}}{\text{IT機器の消費エネルギー}}$$


熱管理の最適化はデータセンターのパフォーマンスを最大化し、方式の長期的な安定稼働を保証するための鍵となる。

2.2 データセンターにおける熱管理

データセンターにおける熱管理は、その運用の効率性と信頼性に直結する極めて重要な要素です。サーバーはデータ処理の過程で熱を発生させ、この熱を効率的に排出することが、サーバーの持続的な性能維持と故障の予防に不可欠です。熱管理の最適化は、データセンターのパフォーマンスを最大化し、システムの長期的な安定稼働を保証するための鍵となります。データセンターの高集積化と需要の拡大が進む中で、熱管理の課題はより複雑化しています。高集積化によってサーバーラック当たりの発熱量が増加し、局所的な温度上昇が生じることが多くなります。これにより、冷却が困難になり、サーバーの故障率が上昇するリスクが高まります。このような状況は、データセンターの全体的な信頼性に悪影響を及ぼす可能性があります。データセンターの熱管理を最適化するためには、まず冷却方式の効率化が求められます。冷却システムは、データセンター内の温度と湿度を適切に制御し、サーバーの最適な運用環境を維持するために不可欠です。しかし、冷却は大量のエネルギーを消費するため、その運用はデータセンターのエネルギー効率に大きな影響を与えます。したがって、冷却システムの運用を最適化することで、エネルギー消費を抑えつつ、データセンターの効率を向上させることができます。

次に、サーバーラックの配置は、データセンターの熱管理において基本的かつ重要な要素です。サーバーラックは、冷却効率を最大化するために、ホットアイルとコールドアイルの配置を用いて設置されます。ホットアイルは、サーバーから排出される熱を集める通路であり、コールドアイルは、冷たい空気をサーバーに供給する通路です。この配置により、サーバーの冷却と熱の排出が効率的に行われ、熱による性能低下や故障のリスクを軽減します。最後に、サーバー自体の熱管理も重要な役割を果たします。サーバー内部のCPUやメモリなどのコンポーネントは、運用中に熱を発生させるため、これらの熱を効率的に排出する仕組みが必要です。一般的には、サーバー内部にファンを設置して、熱を発生するコンポーネントから熱を吸い取り、外部に排出することで、サーバーの温度を適切に管理します。これらの熱管理の手法は、データセンターの運用効率と信頼性を大きく向上させるものであり、継続的な改善と技術革新が求められます。新たな冷却技術の開発や冷却システムの最適化は、データセンターのさらなる進化を支える重要な要素です。CPUやGPUの高集積化が進むにつれて、これらの熱管理技術は、データセンターの持続可能な運用にとってますます不可欠なものとなっていくでしょう。



サーバーの高集積化・高性能化に伴い、従来の空調方式では局所的な熱の蓄積に対応できず、冷却方式に課題が生じている。

2.3 データセンターにおけるサーバー冷却方式の課題

データセンターの冷却方式は、その運用の歴史を通じて大きな進化を遂げてきました。一般的な空気冷却方式は、サーバーラックの前面から冷たい空気を導入し、背面からの排熱を利用するというシンプルながら効果的な方法で、サーバーの発熱量が比較的小さかった従来のデータセンターでは、この方式で十分な冷却を実現していました。

しかし、サーバーの高集積化と高性能化が進む現代では、この伝統的な冷却方式は多くの課題に直面しています。従来の空調方式は、サーバーラック全体を均一に冷却することを目的として設計されていましたが、サーバーの密度が増すにつれて、局所的な熱の蓄積を効果的に処理できなくなっています。

高集積化による課題

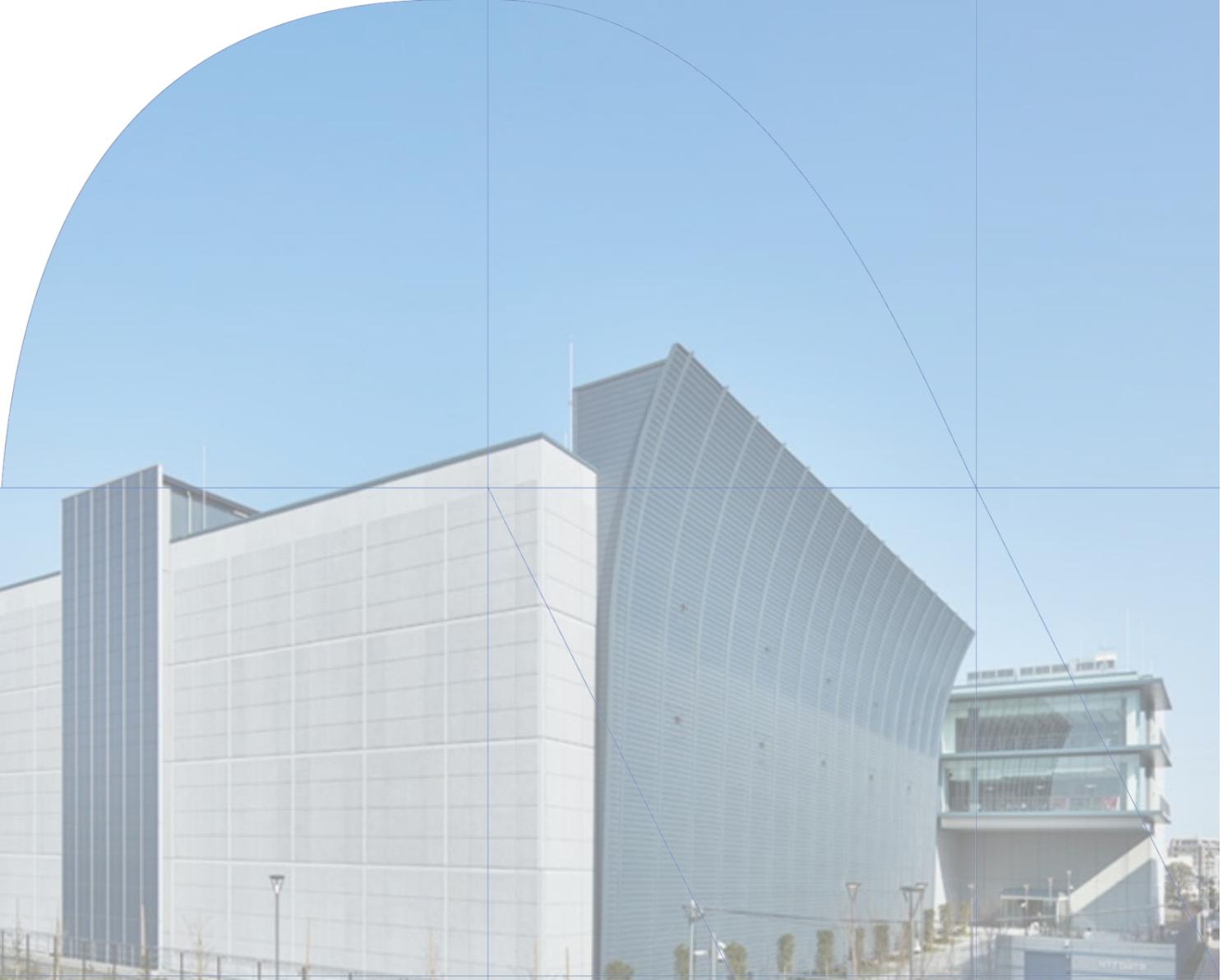
サーバーの高集積化は、データセンターの総発熱量を大幅に増加させています。高性能なサーバーが密接に配置されることで、冷却方式が追いつかず、過熱による機器の故障や性能低下のリスクが増大しています。特に、CPUやGPUなどの高発熱部品が集中するエリアでは、従来の空調方式では十分な冷却を実現することが困難になっています。サーバーの高集積化は、冷却方式への負荷だけでなく、冷却に必要なエネルギー消費も増加させ、運用コストの増大と環境への負担の増加をもたらしています。

冷却の非効率性

さらに、従来の冷却方法は、冷気が必要ないエリアまで冷却してしまうため、エネルギーの無駄遣いとなります。この非効率性は、エネルギーコストの増大と環境への影響をもたらす、データセンターの持続可能性に対する課題を一層複雑化させています。冷却方式の設計においては、エネルギー効率を最優先するアプローチが求められています。

データセンターの冷却方式は、サーバーの進化と共に、より効率的で環境に優しい方法へと進化を続ける必要があります。新しい冷却技術の開発と導入、エネルギー効率の高い設計の採用、そして持続可能な運用への取り組みが、今後のデータセンター運用の鍵となるでしょう。これらの進歩は、データセンターが直面する現代の課題に対応し、未来への道を切り開くために不可欠です。





Chapter3

データセンターにおける新たな冷却方式

従来の空調方式の限界を超える冷却効果とエネルギー効率の実現を目指し、新たな冷却技術は、今も進化を続けている。

データセンターの冷却方式は、サーバーの運用効率と寿命に直接影響を与えるため、その重要性は計り知れません。現代のデータセンターでは、サーバーの高集積化と高性能化が進むにつれて、従来の冷却方法では対応しきれないほどの熱問題が発生しています。このため、より効率的で効果的な冷却ソリューションが急務となっており、新たな冷却技術の開発が盛んに行われています。

従来の空調による冷却方式は、サーバーの発熱量に比例してエネルギー消費が増大するため、エネルギー効率の観点から見直しが求められています。これに対し、新たな冷却技術は、空調の限界を超える冷却効果とエネルギー効率の向上を実現することを目指しています。

<p>リアドア空調方式</p> 	<p>リアドア空調方式は、サーバーラックの背面に設置される冷却装置を通じて、サーバーからの排熱を直接捕捉し、冷却する技術です。この方式は、冷却効果を大幅に向上させるだけでなく、エネルギー消費を削減し、データセンターの運用コストを低減する可能性を秘めています。</p>
<p>液冷方式</p> 	<p>液冷方式は、サーバー内部の熱を直接液体で冷却する方法で、特に高発熱部品の温度管理に効果的です。この技術は、空調に比べて高い冷却効果を実現し、エネルギー効率の向上にも寄与します。</p>
<p>液浸冷却方式</p> 	<p>液浸冷却方式は、サーバーを特殊な非導電性液体に完全に浸すことで冷却する革新的な方法です。この方式は、非常に高い冷却効果を提供し、エネルギー効率も極めて高いため、大規模なデータセンターにおいても効率的な冷却が可能です。</p>

これらの新しい冷却技術は、データセンターの持続可能性と経済性を大きく向上させることが期待されています。エネルギー消費の削減は、運用コストの低減だけでなく、環境への影響を減らすことにも貢献します。

今後も、これらの技術はさらなる研究と開発を通じて、データセンターの冷却問題に対する最適な解決策として進化し続けるでしょう。データセンターの新たな冷却方式は、エネルギー効率と環境への配慮を両立させるための重要なステップとなります。



3.1 リアドア空調方式

冷却方式の概要

リアドア空調は、データセンターのサーバーラックの背面に取り付けられる冷却装置です。サーバーから排出される熱を直接冷却するため、従来の空調方式と比べて効率的に熱を取り除くことが可能です。HPC (High Performance Computing) やスーパーコンピューターなど、他の冷却方式では対応できない高発熱のサーバーで使用されます。リアドア空調方式には熱交換器のみで構成されたパッシブ型と、熱交換器に加えてファンも内蔵したアクティブ型の2種類があります。

従来の冷却方式との違いや利点

従来の空冷方式と比べて、リアドア空調方式には以下のような違いや利点があります。

- ・ラック背面でサーバーの排熱を直接冷却することで、マシン室内の温度ムラや空気の混合を防ぎ、冷却効率を高めることができます。これにより、サーバーの性能向上や、高密度な配置も可能です。
- ・冷却に必要な冷水の温度が比較的高くても問題ないため、フリークーリングシステムとの相性がよく、省エネルギー化にも貢献できます。フリークーリングシステムとは、外気温度の低い時期に冷却塔のみで空調用の冷水を製造・供給する方式のことです。
- ・冷却装置がラックに組み込まれているため、データセンターのスペース効率の向上や、設置や移動の柔軟性の向上が期待できます。また、冷却装置の故障時にも、ラック単位での交換が可能です。

課題やデメリット

リアドア空調方式には多くのメリットがある一方で、以下のような課題やデメリットも存在します。

- ・冷却装置がラックに組み込まれているため、ラックの重量やサイズが大きくなり、耐震性や搬入性に影響が出る場合があります。また、冷却装置のメンテナンスや交換の際には、サーバーの停止やラックの移動が必要になる場合があります。
- ・冷却装置にファンが搭載されている場合、消費電力や騒音が増加する場合があります。また、ファンの故障時には、サーバーの排熱が冷却装置に吹き込まれることで、冷却効果が低下する場合があります。

3.2 液冷方式

冷却方式の概要

液冷方式は、サーバーのヒートシンクやチップに直接冷却液を流すことで冷却する技術です。この冷却方法では、サーバー内部の熱源に近い位置で熱を取り除くことができるため、空冷方式よりも高い冷却効果を得ることができます。冷却液には、水やエチレングリコールなどの導電性の低い液体が用いられます。この方式は高い処理能力を持つサーバーの冷却に適しており、熱密度の高さが最大の長特です。また、液冷方式にはサーバーの一部のみを冷却する部分式と、サーバー全体を冷却する全面式の2種類があります。全面式の方が冷却効果が高いとされています。

従来の冷却方式との違いや利点

従来の空冷方式と比べて、液冷方式には以下のような違いや利点があります。

- ・空気に比べて液体の方が熱伝導率が高く、従来の空冷方式よりもサーバーを効果的に冷却することができます。これにより、サーバーの性能向上や、高密度な配置も可能です。
- ・空冷方式に比べて、冷却液の流量や温度を制御することで、サーバーの温度をより細かく調整することができます。また、冷却液の循環にポンプを利用することで、冷却効率を高めることができます。
- ・サーバー内部の熱源に近い位置で熱を取り除くことで、サーバーの故障率を低下させることができます。空冷方式では、サーバー内部の温度差が大きくなり、

冷却装置の冗長性の担保が難しい場合があります。冷却装置が故障した場合、高温の排熱がサーバーに戻ってしまうことで、サーバーの温度上昇や故障のリスクが高まる場合があります。この問題に対処するためには、冷却装置の冗長構成や、排熱のミキシングやキャッピングなどの気流設計が必要になります。

リアドア空調方式は、これらの課題を解決することで、データセンターの高効率化と省エネルギー化を実現することが期待できます。

熱応力や熱膨張による機器の劣化が起こりやすいですが、液冷方式では、サーバー内部の温度差を小さくすることができます。

・空冷方式に比べて、ファンの数やサイズを減らすことができ、冷却にかかる電力消費や騒音を液冷方式では削減できます。

課題やデメリット

液冷方式は多くのメリットがある一方で、以下のような課題やデメリットも存在します。

・液冷方式の導入には、冷却液や配管などの初期投資が必要です。また、冷却液の入手や管理にもコストや手間がかかります。

・液冷方式では、サーバーのメンテナンスや交換が困難になる場合があります。冷却液の漏れや汚れに注意する必要があります。また、サーバーの構造や設計にも変更が必要になる場合があります。

・液冷方式では、冷却液の環境への影響や廃棄方法にも配慮する必要があります。特に、水やエチレングリコールなどの冷却液は、生物への影響や水質汚染のリスクがあります。液冷方式がこれらの課題を克服することで、データセンターの持続可能性と効率性を大幅に向上させることが期待できます。



3.3 液浸冷却方式

冷却方式の概要

液浸冷却は、サーバーなどのIT機器を非導電性の液体に完全に浸すことで冷却する技術です。この冷却方法では機器から発生する熱を液体が直接吸収し、その後、外部の冷却方式によって液体自体を冷却することで熱を排出していきます。液体には、フッ素系不活性液体やシリコンオイルなどが用いられます。この方式は特に高密度で熱を発生する機器の冷却に適しており、熱交換効率の高さが最大の特長です。

また、液浸冷却方式には液体の状態を変えずに循環させる单相式と、液体を気化させて蒸気を液化させる二相式の2種類があります。二相式の方が冷却効果が高いとされています。

従来の冷却方式との違いや利点

従来の空冷や水冷方式と比べて、液浸冷却方式には以下のような違いや利点があります。

- ・空気に比べて液体の方が熱伝導率が高く、従来の空冷方式よりもサーバーを効果的に冷却することができます。これにより、サーバーの性能向上や、高密度な配置も可能です。

従来のサーバーに備わっていた冷却ファンが不要となり、サーバー自体の消費電力やファンによる騒音を削減できます。

- ・ファンによる空気搬送が必要となる従来の冷却方式と比べ、冷却液の循環に自然対流や気化熱を利用することで、冷却効率を高めることができます。

- ・サーバーを一定の温度かつ密閉された環境で運用できるため、液浸冷却方式ではサーバーの故障率を低下させることができます。液体によってサーバーを保護することで、空気中のホコリや湿度、酸素などの影響を受けにくくなります。

- ・従来の空冷方式に比べて、システムの設置サイズを小さくすることができ、データセンターのスペース効率の向上が期待できます。

- ・冷却に必要な冷水の温度が比較的高くても問題ないため、フリークーリングシステムとの相性がよく、省エネルギー化にも貢献できます。

課題やデメリット

液浸冷却方式には多くのメリットがある一方で、以下のような課題やデメリットも存在します。

- ・液浸冷却方式の導入には、高価な冷却液や専用のタンクなどの初期投資が必要です。また、冷却液の入手や管理にもコストや手間がかかります。

- ・液浸冷却方式では、サーバーのメンテナンスや交換が困難になる場合があります。液体からサーバーを取り出す際には、液体の漏れや汚れに注意する必要があります。

- ・液浸冷却方式では、冷却液の環境への影響や廃棄方法にも配慮する必要があります。特に、フッ素系不活性液体は地球温暖化係数が高いため、温室効果ガスの排出量を抑えることが課題となっています。液浸冷却方式がこれらの課題を克服することで、データセンターの持続可能性と効率性を大幅に向上させることが期待できます。



Chapter4

NTTグループにおける取り組み事例

NTTグループはデータセンターへ新たな冷却方式へ取り込み、カーボンニュートラルの実現を目指していく。

NTTグループは新たな環境エネルギービジョン「NTT Green Innovation toward 2040」を策定し2040年度までにカーボンニュートラルの実現をめざすことからデータセンターの脱炭素化が欠かせません。その為様々な冷却方式にアプローチしています。

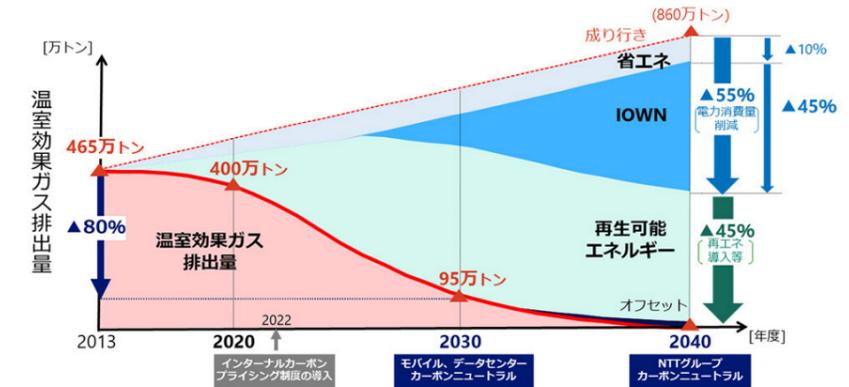


図4-1.NTTグループ温室効果ガス排出量の削減イメージ(国内+海外)
出典:NTT「NTTグループ温室効果ガス排出量の削減イメージ(国内+海外)」

リアドア空調方式により、ハイパフォーマンスコンピューティングは次のステージへ進化していく。

4.1 リアドア空調方式

NTTデータでは、製造業での需要をきっかけとし、生成AI等の高負荷・高集積を必要とするニーズの拡大に応える為、今後一層高まる高発熱サーバーの冷却に対応できる最適な設置環境をリアドア空調方式によるコロケーションサービスとして提供しています。1ラック当たり最大で23kWまでのサーバー搭載が可能で、今後需要が高まるAI/GPU用途に適しています。

リアドア型空調機の最大の懸念材料の一つであった空調方式としての冗長性についてはミキシングアイルキャッピングを採用することでN+1を実現しています。本サービスエリアはミキシングアイルキャッピングに加え、専用の空調用UPSと蓄熱槽を設けることで機器故障時や停電時にもSLAを維持する設計がされており、模擬負荷試験をもってその性能が検証されています。



図4-2.NTTファシリティーズ CyberAir® リアドア型
出典:NTTファシリティーズHP「CyberAir® リアドア型」



図4-3.NTTデータ三鷹ビルEAST
リアドア空調方式によるコロケーションサービスエリア

高負荷データセンター向けの革新的な冷却方式として、液冷方式への注目が集まっている。

4.2 冷方式

NTTコミュニケーションズでは、液冷方式によるコロケーションサービスを準備中です。1ラック当たり理論値では最大で80kWまでのサーバー搭載が可能であり、加えてクラスタ構成に向いており今後需要が高まるAI/GPU用途に適した冷却方式です。屋上チラーで冷却した水がサーバーラックに送られ、液冷対応ラック内の冷却水サプライ(冷水管)を循環して、CPU/GPU上に配置されるコールドプレートを冷却します。

これにより、サーバー冷却に要する消費電力を従来に比べて最大で30%削減できる見込みです。NTTコミュニケーションズでは、川崎市にあるPoC環境であるNexcenter Labにおいて、2017年から空調

機を搭載したリアドア空調方式、液浸冷却方式、そして液冷方式など、様々な冷却方式の性能などを比較検討してきました。これらの中から、商用としてラック単位で提供しやすい方式と同社が判断したのが、液冷方式です。当面の提供スケジュールとしては、既存の横浜第1データセンターの一部をリノベーションし、液冷方式に対応したラックを2024年度第4四半期頃に提供していく予定です。また、新規データセンターとしては、2024年度内に液冷方式を標準装備した新棟を大阪第7データセンターで提供する予定であり、加えて京阪奈データセンター(仮称)を、2025年度内に提供する予定です。さらに、今後の新設データセンターにおいては、Green Nexcenter®を標準装備として提供していきます。

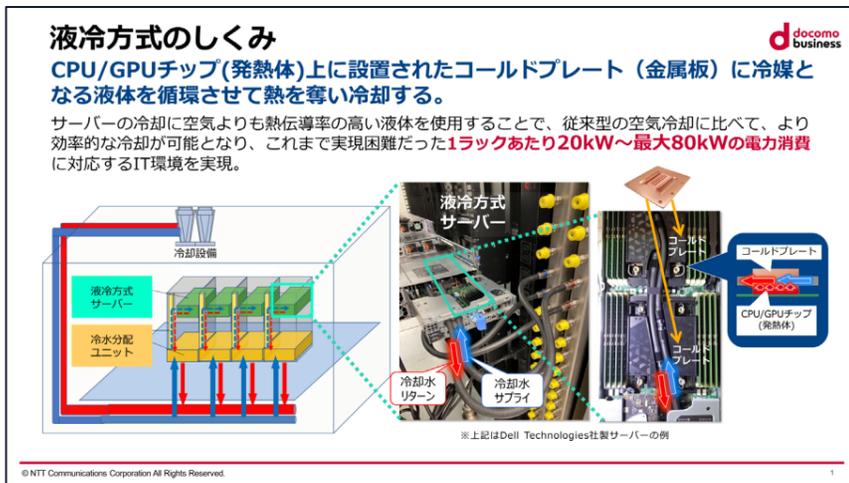


図4-4.NTTコミュニケーションズ 液冷方式説明

Green Nexcenterの提供予定

横浜第1データセンター	大阪第7データセンター	京阪奈データセンター (仮称)
STEP1: 2024年度4Q: 300kW 以後、順次拡張予定 既設施設の一部エリアをリノベーション、 早期に旺盛な首都圏ニーズに対応	2024年度4Q 液冷方式に標準対応した新棟を建設	2025年度4Q 液冷方式に標準対応した新データセンター を建設

IOWN APN

将来的には、NTTグループが研究開発に取り組む、IOWN APN (Innovative Optical and Wireless Network All Photonics Network)でつなぎ、さらなる消費電力の低減を実現し、持続可能なICT基盤の提供をめざす。

図4-5.NTTコミュニケーションズ Green Nexcenter

従来の空調方式とも併用可能なラック型液浸冷却方式は、容易に既存データセンターへ導入できる。

4.3 ラック型液浸冷却方式

NTTデータでは、ラック型液浸冷却方式によるサービス提供を視野に入れた検証をしています。フッ素系不活性液体などの非導電性の液体を採用し、サーバー冷却に要する消費電力を従来に比べて92%削減できる見込みです。2022年3～4月に、NTTデータでは液浸冷却装置として一般的なタンク型液浸冷却方式も検証しています。しかしタンク型はサーバー冷却に要するエネルギーが従来比で97%削減できる一方、格納するIT機器をクレーンで吊る必要があるなど、メンテナンスに手間がかかるという課題がわかりました。それに対して、2023年3～5月にかけてNTTデータが検証したラック型では、タンク型に比べて運用が容易であることが確認できました。検証したラック型はIT機器に合わせた小型槽をラック内に複数配置する構成です。タンク型がラック全体で運用保守する必要があるのに対して、ラック型ではユニット単位での運用保守が可能になります。具体的にはタンク型の場合、従来の空冷方式で使用していた運用手順のうち約8割の項目を修正する必要がありました。

それに対してラック型の場合、従来の運用手順にある約7割の項目をほぼ修正しなくて済んだため、運用効率の向上が見込めます。また、今回検証したラック型一相式の液浸冷却方式では、空冷方式の運用基準におおむね準拠した形で運用がスタートでき、導入時の負担が軽減できます。例えば、同一ラック内に、空冷方式と液浸冷却方式の両立運用が可能となります。発熱性の高いサーバー機器(液浸対応)や低負荷のネットワーク機器、ストレージ機器(液浸非対応)を同一ラックに収めた場合など、ラックユニット単位で異なる冷却方式がハイブリッドに活用できます。このため、余分な配線コストや管理工数の削減が期待できます。

このように、メンテナンス時間がタンク型に比べて短縮できるほか、ラック型液浸冷却方式は従来の空冷方式との併用が可能であることが最大の特徴です。すなわち、ラック型液浸冷却方式は既存のデータセンター設備との親和性も高まってくることで予想され、今後の普及が期待できます。

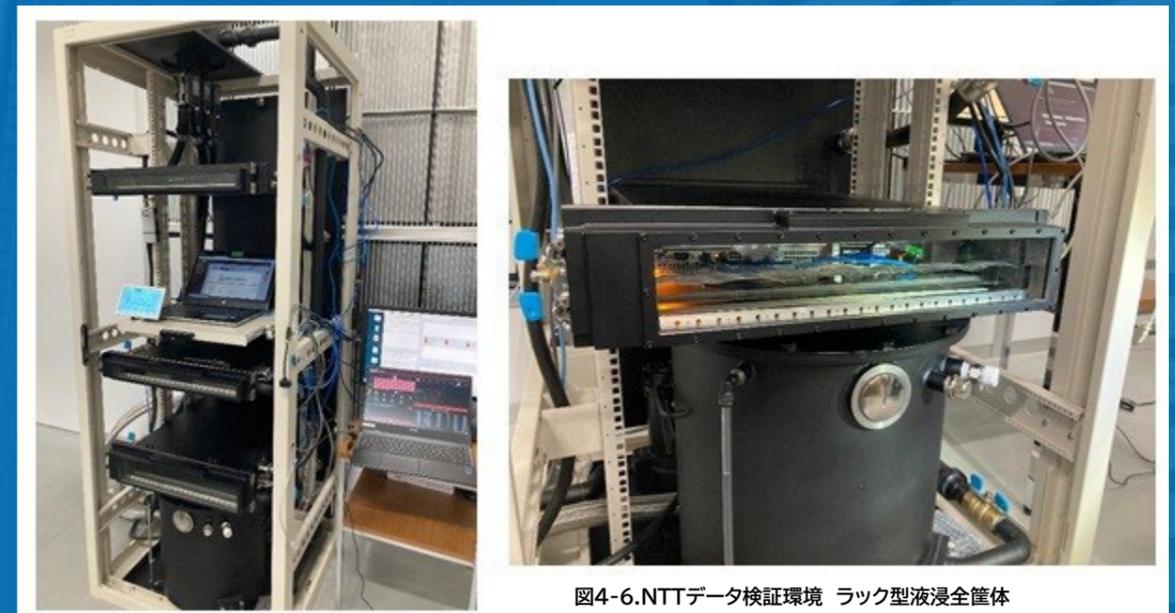


図4-6.NTTデータ検証環境 ラック型液浸全筐体