

ORACLE

Oracle Exadata

意思決定者のためのガイド

2021年10月

バージョン2.4

Copyright © 2021, Oracle and/or its affiliates

Oracle Exadata Database Machine^[1] (Exadata) は、Oracleデータベースの実行に特化したコンピューティングおよびストレージ・プラットフォームです。

Exadataの目標^[2]は、あらゆるレベルでハードウェアとソフトウェアを統合して最適化し、データベースのアルゴリズムとインテリジェンスをストレージおよびネットワークに移行することにより、従来の汎用サーバー^[3]のトラディショナルなレイヤーをバイパスして、コストを削減しながらパフォーマンスと可用性を引き上げることです。

Exadataはハードウェアとソフトウェアを組み合わせたプラットフォームで、スケールアウト型コンピューティング・サーバー、スケールアウト型インテリジェント・ストレージ・サーバー、超高速ネットワーク、パーシステント・メモリ (PMEM)、NVMeフラッシュ、専用のExadata Software^[4]を搭載しており、さまざまなシェイプと価格で提供されています。Exadata Storage Serverは高性能サーバーで、データを保存するだけでなく、データ集中型のデータベース処理用にExadata Softwareを共有ストレージ層で直接実行します。

Exadataは、2008年にオラクル初のエンジニアド・システム・ファミリー製品^[6]としてリリースされ^[5]、当初は“プライベート・クラウド”としてデプロイされる企業データセンターでの使用向けでした。2015年、Oracle Cloudのサブスクリプション・サービスとして、Exadata Cloud Service^[7]の提供が開始されました。

Exadata Cloud Service^[8]にデプロイされるOracle Databaseは、オンプレミスのExadataにデプロイ済みのデータベースと互換性が100 %あるため、顧客はアプリケーションを一切変更することなくOracle Cloudに移行することができます。このサービス（ハードウェア、ネットワーク、Linuxソフトウェア、Exadata Softwareを含む）はオラクルによって管理されますが、顧客データベースは顧客側で完全なコントロールを維持できます。

2017年の早期に、3番目となるExadataのデプロイ・オプションが提供されました。Exadata Cloud@Customer^[9]は、オンプレミス（顧客のファイアウォール内）にデプロイされ、Oracle Cloudエキスパートによって管理されるExadata Cloud Serviceテクノロジーです。Exadata Cloud@CustomerもExadata Cloud Serviceと同様、オラクルによって所有および管理され、従量課金制のサブスクリプションで利用されます。Oracle Cloud@Customer^[10]プログラムは、オラクルのパブリック・クラウドが持つメリットをすべて生かしながら、潜在的なネットワーク待機時間、セキュリティ、規制に関する問題に対処しています。

2018年、オラクルはOracle Autonomous Database^[64]を発表しました。クラウドベースで自己稼働、自己保護機能を備えたこの自律型データベースは、管理コストを削減しながら、ミッション・クリティカルな可用性とセキュリティを提供します。Oracle Autonomous Databaseは、Exadata Cloud ServiceおよびCloud@Customerで使用できます。

2019年のExadata X8Mリリースでは、パーシステント・メモリ (PMEM) とRDMA (Remote Direct Memory Access) over Converged Ethernet (RoCE) ^[65]という2つの重要な画期的技術が追加され、Exadataのパフォーマンスが大幅に向上しました。Oracle Exadata X8MはRDMAを直接使用して、データベースからスマート・ストレージ・サーバー内のパーシステント・メモリにアクセスし、OS、I/O、ネットワークソフトウェア・スタックはすべてバイパスします。これにより、飛躍的に待機時間が短縮され、スループットが向上します。



圧倒的な業界採用率

Exadataの成功を裏付けているのは、ほぼすべての業界で、最大規模かつもっとも影響力の大きい組織に採用されているという事実です。金融サービスでは、小売銀行、保険会社、クレジット・カード発行会社の上位10社のうち9社と、投資銀行の上位10社のうち7社がExadataを使用しています。また、大手ヘルスケア・プロバイダ10社すべてと、小売企業上位10社のうち9社も同様です。ExadataはFortune Global 100企業の87%に採用されており、そのうちの1/3近くがOracle CloudにExadata Cloud Serviceをデプロイしています^[11]。

2021年、Exadata X9MリリースでPCI Expressバージョン4.0が追加され、更にパフォーマンスが向上し、RoCEネットワーク・ファブリックとNVMeフラッシュのネットワーク・スループットとストレージ・スループットが向上しました。Exadata Softwareのバージョン21.2には、顧客によるExadataへの投資を強化する新機能だけでなく、X9Mハードウェアを補完する、圧縮解除および復号化アルゴリズムなどの機能も含まれています。X9Mでハードウェアとソフトウェアの両方が強化された結果として、OLTP処理と分析処理がそれぞれ70 %と87 %改善されています。

Exadataのユースケース

Exadataは、どのようなOracle Databaseワークロードでも、ワークロードの組み合わせ（OLTPアプリケーションと分析処理の同時実行など）でも、最適に実行するように設計されています。Exadataプラットフォームは、それまで専用データベース・サーバーで実行されていた多数のデータベースの統合によく使用されます。Exadataのスケールアウト・アーキテクチャは、当然、コンピューティング要件を動的に増減できるOracle Cloudでの実行に適しています。

従来、特化型のデータベース・コンピューティング・プラットフォームは、データウェアハウスなどの特定のワークロード専用設計されており、OLTPを含むその他のワークロードでの使用はできないか、できても不十分でした。Exadataには、あらゆるデータベース・ワークロード向けの最適化機能が実装されているため、混合ワークロードでシステム・リソースが公平に共有されます。また、リソース管理機能により、システム・リソースの割当てに優先順位を付けることができるため、たとえば、同じデータにアクセスする場合でも、インタラクティブ・ユーザーに対応するワークロードをレポートおよびバッチよりも常に優先することができます。

データウェアハウス、レポート、バッチ・ジョブ、アナリティクスに特有の長時間実行リクエストの実行が、Exadata以外の従来型データベース・サーバーと比較して何倍も高速になります^[2]。顧客事例の紹介では、10倍以上のパフォーマンス向上が挙げられることがよくあります。また、分析ワークロードでExadataのOracle Database In-Memory^[3]オプションを使用すると、さらなる高速化が可能です。Exadata上のインメモリ・データベースは、DRAMの何倍もの容量を持つフラッシュ・メモリのメリットを生かして拡張されています。ExadataのHybrid Columnar Compression^[4]機能は、データウェアハウスとアーカイブ・データのストレージ消費を減らすとともに、I/O回数の削減によってパフォーマンスを高めることを目的としています。

Exadataのトランザクション（OLTP）ワークロードでは、Exadataのストレージ階層に組み込まれたパーシステント・メモリおよびフラッシュ・メモリと、DRAM、パーシステント・メモリ、フラッシュ/ディスク・ストレージ間でのデータの自動"階層化"が活用されます。ログ書き込みなど、応答時間が重視されるデータベース操作では、特別なアルゴリズムによってパーシステント・メモリとフラッシュが最適化されます。要求の非常に厳しいOLTPでは、オールフラッシュ・ストレージによってディスク・メディアの待機時間が完全に解消されます。

Exadataの設計コンセプト

Exadataの設計をよく理解するには、それぞれが独自に動作する別々のハードウェアとソフトウェアを組み合わせた従来のデータベース・コンピューティング・プラットフォームと比較すると良いでしょう。

従来のコンピューティング・プラットフォームは汎用型

標準的なデータベース・コンピューティング・プラットフォームを構成するハードウェア・コンポーネントは、ネットワーク経由でストレージ・アレイに接続されるコンピューティング・サーバーです。このコンピューティング・サーバーでデータベース・ソフトウェアが実行されて、ネットワーク経由でストレージ・アレイとの間でデータを送受信します。ハードウェア・コンポーネントの相互通信には標準ソフトウェア・プロトコルが使用されます。このように標準インタフェースを介して分離されているため、汎用コンピューティング・プラットフォームは、多種多様なワークロードと各種ベンダーのソフトウェアおよびハードウェアを実行することができます。あらゆるアプリケーション・ロジックとデータ処理がコンピューティング・サーバー上で実行され、そこにすべてのデータを送信する必要があります。このアプローチにより、さまざまなソフトウェア・アプリケーションに1つのコンピューティング・プラットフォームを使用できますが、特定のアプリケーションに合わせた最適化は行われません。

Oracle Databaseに焦点を合わせたExadata

Exadataが目指したのは、Oracle Databaseに合わせて最適化したソフトウェアとハードウェアから成る完全な**スタック**を構築し、最適な場所で処理を実行することです。Exadataで処理するのはOracle Databaseリクエストだけであるため、ソフトウェア・レイヤー全体でOracle Databaseのメリットを生かすことができます。ハードウェア設計には、非常に高速なRoCEイーサネット・ネットワーク、**フラッシュ・メモリ**、**パーシステント・メモリ**などのテクノロジーが含まれ、Oracle Databaseアプリケーションにもっとも有利になるように、アーキテクチャに統合されています。オラクルはデータベースにとってのデータ・ストレージの重要性を踏まえ、特にこの観点からExadataプラットフォームを最適化することに注力しました。

オラクルが目指したのは、Exadataのストレージ・レイヤーを容易に**スケールアウト**できるものにし、Oracle Databaseのリクエストを並列化できるようにすることです。Exadata Storage Serverにフラッシュ・メモリと（後から）パーシステント・メモリが追加されたことで、ストレージ・レイヤーのパフォーマンスを最適化できる可能性がさらに広がりました。例を挙げると、フラッシュ・ストレージのパフォーマンスと容量が急速に引き上げられたことで、従来型のデータベース・プラットフォームではネットワークがボトルネックになりましたが、Exadataはデータベース処理をExadata Storage Serverにオフロードすることで問題を解消しています。後からExadataストレージ・レイヤーにパーシステント・メモリが追加されたことで、従来型プラットフォームの制限がいつそう際立っています。

ストレージにデータベース・インテリジェンスを

Exadataの考案段階で、オラクルはすでに数十年のデータベース・ソフトウェア開発経験があり、従来型コンピューティング・プラットフォームによる制限とパフォーマンス・ボトルネック^[16]を十分認識していました。Exadataの目的を果たすためには、容易にスケールアウトでき、Oracle Databaseリクエストを並列処理できるストレージ・レイヤーが必要でした。また、オラクルは、ストレージにデータを保存および送信するだけでなく、データベース・リクエスト処理との連携の可能性についても理解していました。たとえば、少数のレコードを検索するためにデータベース表全体をネットワーク経由でコンピューティング・サーバーに送信するのではなく、ストレージ側でデータ・フィルタリングを実行することで、結果レコードのみをネットワーク経由で送信できるようになります。

つまり、オラクルは、ストレージ・アレイの役割を果たしながら、インテリジェント・データベース・ソフトウェアを実行できるパワフルなサーバーが必要であり、データベースの拡張に合わせて簡単に容量とパフォーマンスを拡大できるモジュール式設計でなければならないと理解していました。このため、データベース・リクエストの実行時にコンピューティング・サーバーと連携する"データベース認識型"ストレージ・サーバーを構築することが重要な課題となりましたが、オラクルは、Oracle Databaseに合わせてExadataを最適化することでこれを実現しました。

従来型ストレージ・アレイを置き換える目的でオラクルが開発した、このデータベース認識型のExadata Storage Server^{[17][18]}がExadataの基礎となっています。

フルスタックでの最適化

Exadataが最大の効果を発揮できるようにするため、オラクルは、時と場所を選ばず、全体が緊密に統合される状態で改善が協調的に実施されるように、プラットフォームのソフトウェアとハードウェアのコンポーネントを制御しなければなりません。

Exadataを考案したとき、オラクルはすでに広範なソフトウェア製品のポートフォリオを有しており、データベース・プラットフォームの実行に必要なソフトウェア・レイヤーの大部分（Oracle Linuxオペレーティング・システム、ストレージ管理ソフトウェア、監視および管理ツール、仮想マシン・ソフトウェア、Oracle Database、オプション・ソフトウェアなど）が含まれていました。

2008年のExadata（V1）初期リリースは、オラクル（ソフトウェア）とHewlett-Packard（ハードウェア）による共同開発でした。第2世代（V2）のハードウェアはSun Microsystemsに切り替えられましたが、その後もなくオラクルはSun Microsystemsの買収を通じて、Exadataのメイン・ハードウェア・コンポーネントの所有権を獲得しました。

オラクルはExadataのメイン・ハードウェア・コンポーネントの所有者となったことで、コンピューティング・プラットフォーム全体をOracle Databaseに合わせて最適化できるように開発する能力を手に入れました。これにより、Exadataプラットフォーム全体が社のベンダーによりサポートされるという新たな利点が顧客にもたらされました。これは、さまざまなベンダーのハードウェア・コンポーネントとソフトウェア・コンポーネントで構成される従来型コンピューティング・プラットフォームでは実現できないメリットです。

Exadataスマート・ソフトウェア

Exadataのコンセプトがもたらす価値が初期バージョンで実証されたため、オラクルは、新たなソフトウェア機能の定期的リリース・スケジュールを最先端ハードウェア・コンポーネントのリリースおよび組み込みと緊密に連携させて開始しました。

Oracle Databaseの形式およびアルゴリズムとアプリケーション・ワークロードの知識を利用して拡張された"スマート"なソフトウェア機能を、プラットフォーム上のOracle Databaseおよびすべてのソフトウェア/ファームウェアで実行することで、従来型データベース・プラットフォームの性能を大きく上回る可能性が見込まれました。Exadata Storage Server SoftwareでOracle Databaseルーチンを実行できる機能が、この利点の主要な実現要因となりました。

Exadata専用のソフトウェア機能強化によって、ハードウェアとソフトウェアが統合された結果として、いくつかの領域でパフォーマンス向上が達成されました。たとえば、OLTPアプリケーションでデータベース・ソフトウェアにトランザクションがコミットされる時、Exadataはそのリクエストを重要な操作と見なし、ネットワークとストレージ・サーバー上で適宜処理を優先します。これにより、コミット・リクエストは、ネットワーク上とI/Oキュー内で緊急度の低いメッセージを追い越します^[15]。

もう1つの例は、分析アプリケーションからアクセスされるデータを、フラッシュ・メモリを使用してキャッシュする方法です。分析ワークロードでは列形式データの方が効果的なので、Exadataがディスクからフラッシュに行データを移動すると、データは自動的に列形式に変換されます^[16]。

これらの例は、Oracle Databaseがどのようにアプリケーションの意図を理解し、ネットワークおよびストレージ・ソフトウェアに伝え、それに応じた処理を行うかを表しています。

2008年の登場以来、Exadata Softwareは毎年2回以上の重要リリースを行っており、合わせて数十もの"スマート"なソフトウェア拡張機能を提供しています。これらの拡張機能の大半は、少数の重要な技術的基盤に基づいています。ここからは、それらの基盤について説明します。

技術的基盤

ストレージへのオフロードとは、データ集中型のデータベース操作（データ・スキャン、表結合、行または列のフィルタ）をExadata Storage Server内で実行することを指します。操作の記述だけを送信して結果を取得できるため、コンピューティング・サーバーとストレージ・サーバーの間のネットワーク・トラフィックが大幅に減少します。このため、従来型アーキテクチャのデータ集中型操作により、コンピューティング・サーバーとストレージの間で大量データの送信が必要になるネットワーク・ボトルネックを回避できます。オフロードが可能になるのは、Exadataストレージが標準サーバー上に構築されており、コンピューティング・サーバーと連携してストレージI/Oと同時にデータベース機能を実行できるからです。オフロードできるデータベース機能とデータ型は、時間とともに増えています。さらに、Exadataストレージが過度にビジー状態になると、"リバース・オフロード"によって処理がコンピューティング・サーバーに戻されます。

ストレージ索引は、列の値を小さいストレージ領域内で追跡することでI/Oを回避します。ストレージ索引は自動的に維持され、Exadata Storage Serverのメモリ内に保持されます。ストレージ索引により、ある領域へのI/Oで一致が見つからないことが示されると、そのI/Oを省略できるので、大きなパフォーマンス上のメリットになります。当初、ストレージ索引は少数の列に含まれる値の範囲を追跡していました。やがて、より多くの列とより複雑な値が追加されるようになったため、回避できるI/O操作クラスが多くなりました。サーバー再起動後も一貫したパフォーマンスを維持するため、ストレージ索引はExadata Storage Server上のローカル・ストレージに保存されます。

フラッシュ・キャッシュとPMEMキャッシュは、フラッシュおよびパーシステント・メモリの待機時間を短縮しながら（高速な応答）、低コストのディスクを利用して大規模データベースを保存することで、最小限のコストで最大のI/Oパフォーマンスを実現します。一般に、任意の時点でアクティブになるのはデータベースのごく一部です。たとえば、アクティブ・データだけがフラッシュに格納されている場合、大幅に低いコストでありながら、そのパフォーマンスはオールフラッシュ・ストレージと同一になります。Exadataは現在のワークロードを監視して、もっともアクティブなデータを最適な形式でフラッシュまたはパーシステント・メモリ内に保持します。例として、ExadataはI/Oがデータベース・バックアップの一環である場合、それを踏まえてアクティブ・データ・ブロックとは見なしません。従来型プラットフォームはすべてのI/Oを"ホット"ブロックと見なします。フラッシュ・キャッシュは、データが分析用にアクセスされている場合、フラッシュ内で行から列形式に変換します。当初、フラッシュ・キャッシュはデータ読取りのみに使用されていましたが、ログ書き込みに拡大され、その他すべての書き込みI/Oでも使用されるようになりました。その後、フラッシュは、オラクルのDatabase In-Memory列形式データ・ストアの拡張として使用されるようになり、DRAM容量だけで実現できるものよりも大幅に大きいインメモリ・データベースを可能にしています。Exadata X8Mで導入されたPMEMキャッシュは、さらに高速なキャッシュをストレージに追加し、IOPS（1秒あたりのI/O）と待機時間を大幅に向上しました。

Hybrid Columnar Compression (HCC) は、(サイズが非常に大きくなりうる) データウェアハウスなど、更新頻度の低いデータによって消費されるストレージ容量を削減します。従来のデータ圧縮アルゴリズムが実現するのは2倍から4倍の圧縮率ですが、HCCの場合、列形式の圧縮率が高いため、平均で10~15倍を実現します。このような大幅なI/Oサイズの縮小により、パフォーマンスも大きく向上します。当初、HCCの表では行レベル・ロックがサポートされていなかったため、OLTPアプリケーションでの使用には制限がありました。2016年、ExadataのHCCに行レベル・ロックが追加され、HCCデータとの混合ワークロードのパフォーマンスが向上しました。HCCのハイブリッド形式により、列形式のみのデータベースで発生するパフォーマンス低下が回避されます。

リソース管理機能は、CPU、I/O、ネットワーク帯域幅などのExadataシステム・リソースを、優先順位に基づいてデータベース、アプリケーション、またはユーザーに割り当てます。多数のデータベースをExadataに統合する場合、リソース管理機能によって適切なサービス品質が保たれます。I/Oリソース管理はExadata V1で導入されており、ネットワーク・リソース管理はExadata X4で追加されました。

インメモリ・データベースは、コンピューティング・サーバーのDRAMを利用して分析ワークロードで卓越したパフォーマンスを実現することで、ストレージとネットワークに置かれたExadataの重点を補完します。2014年にExadataに搭載されたOracle Database In-Memoryは、高速InfiniBandネットワークを利用してインメモリのフォルト・トレランスを実現しています。より大きいインメモリ・データベースをサポートするため、Exadata Storage Serverでは、コンピューティング・サーバーで実行される同じインメモリ処理の拡張として、インメモリ・ルーチンとインメモリ・データ形式がExadataフラッシュ内に実装されています。

スマート・ソフトウェアの機能拡張

以下に、ソフトウェア機能拡張の詳細なリストを、分析ワークロード向けの価値とOLTPワークロード向けの価値、またデータベース可用性への影響とセキュリティへの影響に分けて示します。これらの機能拡張には、ソフトウェアおよびAPIの変更に加えて、データベース・ソフトウェア、オペレーティング・システム、ネットワーク、ストレージにわたる統合が必要になるため、類似機能をほかのプラットフォームで再現することはできません。

各機能の詳細については、Exadataのドキュメント[\[17\]](#)とデータ・シート[\[18\]](#)を参照してください。

分析ワークロード向け	OLTPワークロード向け
自動並列処理とストレージへのデータ・スキャンのオフロード	データベース認識型NVMe PCIeフラッシュ・インタフェース
'where'句に基づいたストレージの行フィルタリング	Exadata Smart Flash Logging
選択した列に基づいたストレージの行フィルタリング	Write-Back Flash Cache
表の結合に基づいたストレージの行フィルタリング	QoSを保証するためのデータベース、ユーザー、ワークロード別のI/Oリソース管理
JSONおよびXMLのオフロード	ネットワーク・リソース管理
Hybrid Columnar Compression	Exafusion Direct-to-Wireプロトコルによるノード間のデータ転送
ストレージ索引のデータ・スキッピングによるI/O回避	EXAchkフルスタック検証
フラッシュ・キャッシュのインメモリ列形式への自動変換	Active AWR (エンド・ツー・エンド監視のためのストレージ統計を含む)
大規模な分析クエリおよび負荷でのフラッシュ・キャッシュへの一時I/O	セル間のリバランスによるフラッシュ・キャッシュの保持
高速全索引スキャンのオフロード	インメモリ・コミット・キャッシュ
暗号化データのスキャンのオフロード (FIPS準拠)	メモリ最適化されたOLTPおよびIoTルックアップ
LOBとCLOBでのストレージ・オフロード	Persistent Memory Data Accelerator (PMEMキャッシュ)
min/max操作でのストレージ・オフロード	Persistent Memory Commit Accelerator (PMEMログ)
Data Mining Offload	データベース固有のPMEM使用制御
全ポートがアクティブのInfiniBandメッセージング	セル間のリバランスによるPMEMキャッシュの保持
ストレージCPUがビジー状態の場合のDBサーバーへのリバース・オフロード	Smart Flash Logのライトバック
ジャスト・イン・タイムのスマートな列暗号化	
列キャッシュによるスマートな集計	
高速なインメモリ列形式キャッシュ作成	

可用性向け	セキュリティ向け
ノードまたはセルの障害の即時検出	高速のハードウェアベース (AES) 暗号化/復号化
スタック・ディスクまたはフラッシュでのI/Oの1秒未満でのフェイルオーバー	フルスタック・セキュリティ・スキャン
増分バックアップのストレージ・サーバーへのオフロード	最小限のLinuxディストリビューション (攻撃対象領域の縮小)
Hardware Assisted Resilient Data (HARD) による検証	データベースおよびASMスコープのセキュリティ
即時データファイル作成	ディスクおよびフラッシュのセキュアな高速消去 (暗号化の消去)
優先順位付けされた重要ファイルのリバランス	InfiniBandパーティション化
ハード・ディスクの自動的なスクラブと修復	すべてのログオンおよび構成変更の監査レコード
障害発生ドライブの自動電源再投入によるドライブ障害誤検出の解消	ファイアウォールで保護されたExadata Storage Serverのセキュア・ネットワーク・アクセス
障害が予測されたディスクの読取り回避	IPv6サポート
セル・ソフトウェアの透過的再起動	セキュア・ブートによるバイナリを使用したシステム起動の制限
フラッシュとディスクのライフサイクル管理のアラート	データベースおよびストレージ・サーバーのIntegrated Lights Out Management (ILOM)
ミラー・サーバー停止時のシャットダウン防止	サーバー、ネットワーク、データベース、ストレージのレイヤーでの包括的な監視と監査
1回の操作でExadataシステムのフリート全体を自動ソフトウェア更新	高度な侵入検知環境 (AIDE)
ホット・プラグ可能なフラッシュ・カード	FIPS 140-2認証
機械学習を使用したCPU、ネットワーク、メモリの自動監視	PCI-DSS準拠
ExadataのI/O待機時間の制限	最小権限：タスク実行に必要な最低限の権限でプロセスを実行
Exadata Storage ServerのI/Oタイムアウトしきい値	強く制限されたパスワードの適用
低パフォーマンス・ディスクの自動識別	セキュアなコンピューティング・フィルタによるシステム・コールの制限
障害が予測されたディスクの自動リバランス	分離ポリシーによるネットワーク・トラフィック、データベース、ストレージの保護
Exadataストレージのスナップショット	セキュアなRDMAファブリックの分離
セル間のリバランスによるフラッシュ・キャッシュ・データの保持	ディスクおよびフラッシュのセキュアなマルチパス消去
セカンダリ・ミラー・フラッシュ・キャッシュへのOLTPデータのプリフェッチ	メモリ保護キーによるExadata Storage Server Softwareプロセスの保護
オンラインでのLinuxパッチ適用 (Ksplice)	

データベース・ソフトウェア

Exadataコンピューティング・サーバーは、[Oracle Linux 7](#)オペレーティング・システムに加えて、Oracle Database 11g Release 2 Enterprise EditionからOracle Database 19c（オラクルのLong Term Supportリリース）までをサポートしており、現在はOracle Database 21c Enterprise Editionも追加されています。

Oracle Databaseはコンバインド・データベースとしても知られています。これは、オラクルが過去数十年にわたってOracle Databaseに組み込んだマルチデータ・モデルのストレージおよび処理サポートを指します。Exadataでは、オラクルのコンバインド・データベースに含まれる多くのデータ型と処理方式が最適化されており、たとえば、JSON/XMLのオフロードやExadata Storage Serverでのデータ・マイニング・スコアリングにより、リレーショナル・データタイプと非リレーショナル・データタイプの両方を使用するアプリケーションのパフォーマンスが向上します。

Exadataのシステム・リソースは、XenベースのOracle VM（X8Mより前）またはKVMベースのOracle VM（X8M以降）を使用して、任意で仮想化することができます。また、Oracle Real Application Clusters、Oracle Multitenant、Oracle Database In-Memory、Oracle Advanced Compression、Oracle Advanced Security、Oracle Partitioning、Oracle Active Data Guard、その他などのすべてのOracle Databaseオプションを、必要に応じてExadataで使用できます。アプリケーションがOracle Databaseのサポート対象バージョンとして認定されていれば、自動的にExadataとの互換性もあります。追加の変更や認定は不要です^[18]。

オンプレミスのExadataで実行されるのと同じデータベース・ソフトウェアが、Exadata Cloud ServiceおよびExadata Cloud@Customerでも実行されます。また、オンプレミスのソフトウェア・ライセンスは、Oracle CloudまたはCloud@CustomerへのBYOL^[19]（Bring Your Own License）移行の対象です。

ネットワーク

Exadata X8M以降では、内部接続および外部接続用に高速ネットワークが提供されています。コンピューティング・サーバーとストレージ・サーバーの間の内部接続には、100 Gb/秒（100 Gbit/s）のアクティブ/アクティブRDMA over Converged Ethernet（RoCE）ファブリックが使用されており、データセンター接続用には、25 Gbit/sおよび10 Gbit/sのイーサネット・ポートが提供されています。RoCEファブリックは、コンピューティング・サーバー間のクラスター・インターコネクトとしても使用されています。以前の世代のExadataは、内部接続用に40 Gb/秒（40 Gbit/s）のInfiniBandネットワークを備えていました。Exadataのハードウェア/ソフトウェア・アーキテクチャは全体をオラクルが管理しているため、RoCEファブリックなどの新技術の導入は透過的に実施され、変更に伴う統合やテストが顧客の妨げになることはありません。

Exadataは、カスタム設計されたデータベース指向のプロトコルをイーサネット・ファブリックで使用して、高いパフォーマンスを達成しています。[Remote Direct Memory Access](#)を広く使用し、サーバー間のデータ移動で生じるオペレーティング・システムのオーバーヘッドと余分なコピーを解消することで効率を高めています。また、Exadataには、Direct-to-Wireプロトコル^[20]が実装されており、データベースとRoCEハードウェアとの直接通信が可能です。

ほかにも、Exadataはネットワーク・リソース管理^[6]機能でRoCEサービス・クラスを活用して、ネットワーク全体で重要なトラフィックを優先しています。この機能で、Oracle Databaseソフトウェアは、トランザクションのコミット、メッセージのロック、インタラクティブ・ユーザー発行のI/O操作など、待機時間を抑える必要のあるネットワーク・メッセージにタグを付けて、レポート作成やバッチなどの重要度の低い高スループット・ワークロードが発行するメッセージを追い越せるようにしています。その結果は、サイレンを鳴らした緊急車両が混雑した道路を素早く通り抜けるのと同様で、優先度の高いネットワーク・メッセージは、低優先度のメッセージをバイパスしてサーバー、ネットワーク・スイッチ、ストレージ・キューの前に移されるため、応答時間が短縮され、予測もつきやすくなります。

管理ソフトウェア

Oracle Enterprise Manager Cloud Control（Oracle EM）は、Exadata Database Machineを含むOracleのソフトウェアおよびハードウェアを管理します。Oracle EMにはExadata管理ツールが組み込まれており、顧客の既存管理ツールやヘルプデスク・ツールも統合できます。Oracle EM用のExadataプラグインを使用すると、コンピューティング・サーバー、ストレージ・サーバー、スイッチ、トポロジを1つの統合ビューで確認できます。また、検出、監視、アラート機能をExadataシステム管理に提供します。

Exadata Cloud ServiceプラットフォームとExadata Cloud@Customerプラットフォームを管理するのはオラクルですが、コンピューティング・サーバー上で実行されるソフトウェアとデータベースは顧客が管理および制御します。これらのプラットフォームには、Webベースのプロビジョニング・ウィザードが搭載されており、顧客はこれを使用して、選択したExadataシステムとその後のデータベース・インスタンスを手早くプロビジョニングすることができます。また、通常のデータベースとOSの管理作業では、バックアップ、パッチ適用、アップグレードにクラウド自動化を利用できます。

ハードウェア

Exadataには、2ソケットのコンピューティング・サーバーを搭載したモデルと、8ソケットのコンピューティング・サーバーを搭載したモデルがあります。2つのモデルの違いは、コンピューティング・サーバーに使用されるハードウェアのみであり、ネットワーク、ストレージ・サーバー、ソフトウェアは同じです。

Exadata Database Server

最新のOracle Exadata Database Machineは、2021年9月にリリースされたX9M^[2]世代です。

X9M-2コンピューティング・サーバーは、高さ1 RU（ラック・ユニット）のsmall・フォーム・ファクタを特長としています。各ソケットに32のコンピューティング・コアを搭載した2ソケットのIntel Xeonプロセッサを採用しており、合計でコンピューティング・サーバーあたり64コアを提供します。最小メモリは512 GBで、2 TBまで拡張可能です。

Exadata Database Machineの基本構成は、2台のコンピューティング・サーバーと3台のストレージ・サーバーで構成され、クォーター・ラックと呼ばれます。同じハードウェアでEighthラック構成の場合、プロセッサ能力とストレージ容量がそれぞれ半分になります。データベース・ワークロードやデータ量が増加した場合、Exadataのエラスティック構成を使用してコンピューティング・サーバーとストレージ・サーバーを追加し、処理量を増やして並列処理することができます。

X8M-8コンピューティング・サーバー（X8M-8 Exadata Database Machineから継続）は、高さ5 RUの8ソケット・コンピューティング・サーバーを使用し、サーバーあたり3~6 TBの大容量メモリと192のコンピューティング・コアを搭載しています。これにより、1台のコンピューティング・サーバー内で大規模データベース・ワークロードを容易にスケールアップでき、同時に、複数サーバー間でのExadataのスケールアウト拡張性もサポートされます。X8M-8の大容量メモリは、インメモリ・データベースに加え、非常に大規模なOLTP、統合、データウェアハウスのワークロードに適しています。Exadata X9M-8の基本構成はX9M-2と同様に、2台のコンピューティング・サーバーと3台のストレージ・サーバーで構成されますが、スペース消費はハーフ・ラックです。フル・ラックになるまで、コンピューティング・サーバーとストレージ・サーバーを追加できます。

Exadata Storage Server

Exadata Storage Serverには、Extreme Flash（EF）、High Capacity（HC）、Extended（XT）という3つの構成があります。

X9M-2 Extreme Flashストレージ・サーバーは、8台のPCIeフラッシュ・ドライブを搭載したオールフラッシュ・ストレージで、合計51.2 TBの物理ストレージ容量と1.5 TBのパーシステント・メモリを提供します。

X9M-2 High Capacityストレージ・サーバーは、12台の18 TBディスクで合計216 TBの物理ストレージ容量を提供します。また、アクティブ・データ・ブロックをキャッシュするために、25.6 TBのPCIeフラッシュと1.5 TBのパーシステント・メモリを備えています。ExadataのPersistent Memory Data Accelerator、Persistent Memory Commit Accelerator、Smart Flash Cache、Smart Flash Log、Columnar Flash Cache、Write-Back Flash Cache機能により、パーシステント・メモリおよびフラッシュ上のデータが自動的に階層化されます。

X9M-2 Extendedストレージ・サーバーは、12台の18 TBディスクで合計216 TBの物理ストレージ容量を提供します。

Exadata Database Machineでは、ストレージ・サーバーの追加だけでなく、Exadata Storage Expansion Rack^[2]を使用してストレージ・サーバーを増やすことができます。

フル・ラックのExadata構成でのストレージ・パフォーマンス仕様を次に示します。

EXADATA STORAGE SERVER	スキャン速度	読取りIOPS	書込みIOPS
X9M-2 Extreme Flash	1,050 GB/秒	27,600,000*	8,596,000
X9M-2 High Capacity	630 GB/秒	22,400,000	8,596,000

* 10台のコンピューティング・サーバーと12台のストレージ・サーバーから成るエラスティック構成に基づいています。その他すべてのレートは、8台のコンピューティング・サーバーと14台のストレージ・サーバーから成る標準フル・ラック構成に基づいています^[2]。

注：IOPS = 1秒あたりの8KI/O操作（SQL実行時）

Exadata Storage Server Extended（XT）は、頻繁にはアクセスしないデータを保管する低コスト・ストレージとして、Exadata X8で導入されました。X9M-2 XTストレージ・サーバーはX9M-2 High Capacityストレージ・サーバーと同じディスク容量を備えています。フラッシュ・ストレージやPMEMは搭載していません。Exadata Storage Server Softwareライセンスなしで構成することもできます。

共有ストレージでメモリ・レベルのパフォーマンスを実現

従来型コンピューティング・プラットフォームのアーキテクは常に、システム設計に影響するテクノロジー変更に対処する必要がありました。その目標は、ボトルネックを解消することで、ストレージ出力がネットワークを通過し、パフォーマンス低下なしでコンピューティング・サーバーに処理されるようにすることです。アンバランスな状態を解消するには、通常、ネットワーク接続またはコンピューティング・サーバーを高速化するか、数を増やすやり方があります。これは、超高速PCIeフラッシュ・メモリやNVMeフラッシュ・インタフェース、またパーシステント・メモリが登場する前の話です。

フラッシュ・メモリが企業コンピューティングの主流になり始めたのは2010年頃で、ハード・ディスクの手前のキャッシュとして、またはディスク全体を置き換える役割として使用されました。その後年を追うごとに、フラッシュの容量とパフォーマンスは大きく引き上げられました。2017年、最先端フラッシュのパフォーマンスがしきい値を超え、もっとも進んだネットワークでもフラッシュのパフォーマンスに追いつかなくなったため、ネットワークが実質的なボトルネックになりました。たとえば、480基のフラッシュ・カードを搭載した一般的なオールフラッシュ・ストレージ・システムのデータ・スループットは、わずか75 GB/sとみなされていますが、ネットワーク・ボトルネックがなければ、これだけの数のフラッシュ・カードは2,600 GB/sを超えるデータ・スループットを達成するはず。Exadataストレージへのオフロードは、ネットワーク経由でデータを送信する前にストレージ内で不要なデータを除外することで、このネットワーク・ボトルネックをバイパスします。フラッシュよりも高速なパーシステント・メモリが追加されたため、Exadataオフロードの価値がさらに高くなりました。通常、フラッシュをコンピューティング・サーバーに直接接続すると、ネットワーク・ボトルネックは解消されますが、複数のコンピューティング・サーバーでストレージを共有する能力も失われます。Exadataのアプローチなら、この制限は当てはまりません。

ハードウェア仕様

Exadata世代 (2ソケット) *	V1	V2	X2-2	X3-2	X4-2	X5-2	X6-2	X7-2	X8-2	X8M-2	X9M-2
発売日	2008年9月	2009年9月	2010年9月	2012年9月	2013年11月	2015年1月	2016年4月	2017年10月	2019年4月	2019年9月	2021年9月
最終出荷日	2009年10月	2010年10月	2012年9月	2014年2月	2015年3月	2016年7月	2017年11月	2019年6月	出荷中	出荷中	出荷中
仕様	なし	データ・シート [24]	データ・シート [25]	データ・シート [26]	データ・シート [27]	データ・シート [28]	データ・シート [29]	データ・シート [30]	データ・シート [31]	データ・シート [66]	データ・シート [11]
オペレーティング・システム	Linux	Linux	Linux	Linux	Linux	Linux	Linux	Linux	Linux	Linux	Linux
ディスク・ストレージ (物理容量、TB)	168	336	504	504	672	1344	1344	1680	2352	2352	3024
フラッシュ・キャッシュ (物理容量、TB)	なし	5.3	5.3	22.4	44.8	89.6	179.2	358.4	358.4	358.4	358.4
パーシステント・メモリ (TB)	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	21	21
Extreme Flash (物理容量、TB)	なし	なし	なし	なし	なし	179.2	358.4	716.8	716.8	716.8	716.8
コンピューティング・コア	64	64	96	128	192	288	352	384	384	384	512
最大メモリ (GB)	256	576	1,152	2,048	4,096	6,144	12,288	12,288	12,288	12,288	16,384
RDMAネットワーク・ファブリック (Gb/s)	20	40	40	40	40	40	40	40	40	100	100
イーサネット (Gb/秒)	8	24	184	400	400	400	400	800	800	800	800

* 8台のコンピューティング・サーバーと14台のストレージ・サーバーを搭載したフル・ラック1台あたり

Exadata世代 (8ソケット) *	X2-8	X3-8	X4-8	X5-8	X6-8	X7-8	X8-8	X8M-8	X9M-8
販売開始日	2010年9月	2012年9月	2014年7月	2015年11月	2016年4月	2017年10月	2019年4月	2019年9月	2021年9月
最終出荷日	2012年11月	2014年12月	2015年10月	2016年3月	2017年11月	2019年6月	出荷中	出荷中	出荷中
仕様	データ・シート [52]	データ・シート [53]	データ・シート [54]	データ・シート [55]	データ・シート [56]	データ・シート [57]	データ・シート [58]	データ・シート [59]	データ・シート [62]
オペレーティング・システム	Linux								
ディスク・ストレージ (物理容量、TB)	504	504	672	1344	1344	1680	2352	2352	3024
フラッシュ・キャッシュ (物理容量、TB)	5.3	22.4	89.6	89.6	179.2	358.4	358.4	358.4	358.4
パーシステント・メモリ (TB)	なし	21	21						
Extreme Flash (物理容量、TB)	なし	なし	179.2	179.2	358.4	716.8	716.8	716.8	716.8
コンピューティング・コア	96	160	240	288	288	384	384	384	384
最大メモリ (TB)	4	4	12	12	12	12	12	12	12
RDMAネットワーク・ファブリック (Gb/s)	40	40	40	40	40	40	40	100	100
イーサネット (Gb/秒)	176	176	180	180	180	540	540	540	540

** 2台のコンピューティング・サーバーと14台のストレージ・サーバーを搭載したフル・ラック1台あたり

エラスティック構成

X5-2より前の世代のExadataシステムは、Eighthラック、クォーター・ラック、ハーフ・ラック、フル・ラックという固定サイズ構成のみで提供されていましたが、2015年1月のExadata X5-2リリースで、エラスティック構成が導入されました。エラスティック構成では、データベース・サーバーとストレージ・サーバーの組み合わせを顧客が指定でき、物理的にラックがいっぱいになるまで、ストレージ・サーバーやコンピューティング・サーバーを個別に基本構成に追加することができます。

コンピューティング・サーバーとストレージ・サーバーの比率は、目的のワークロードの特性によって変えることができます。例として、インメモリ・データベース処理向けに最適化されるExadataシステムの場合、コンピューティング・サーバーの台数を多くして、それぞれに最大のメモリを搭載するでしょう。対照的に、大規模データウェアハウス向けに最適化されるExadataシステムであれば、大容量のストレージ・サーバーを多数追加すると考えられます。また、エラスティック構成により、最新の互換サーバーを使用して旧世代のExadataシステムをスケールアウトすることもできます。たとえば、既存のExadata Database Machine X8M-2にExadata X9M-2のデータベース・サーバーとストレージ・サーバーを追加し、必要に応じて容量を拡大することができます。以前からずっと、Exadata Database Machineは、内部ネットワーク・ファブリック接続を使用して複数のラックを接続し、1台の物理ラックを超えるスケールアウト設計を実現してきました。

Exadataの進化

オラクルは、新世代のExadataを12～18か月ごとに発表しています。リリースごとに大半のハードウェア・コンポーネントが新しくなり、最新のCPU、プロセッサ、メモリ、ディスク、フラッシュ、ネットワーク・テクノロジーが搭載されます。このようなハードウェアの更新により、リリースのたびにパフォーマンスが向上しています。Exadataのソフトウェア刷新は、各世代のリリース時とその間で定期的に行われ、パフォーマンス、可用性、セキュリティ、管理機能、ワークロード統合が絶えず強化されています。2015年10月、Oracle Cloudのサポート機能が導入されました。

Exadataの進化を十分理解できるようにするため、ここからは、各世代で導入されたイノベーションを紹介します。

Exadata V1は2008年にリリースされ、データウェアハウスの高速化に重点を置き、ストレージのフル・スループットをデータベースにもたらすことを目指しました。Exadataは、全データをコンピューティング・サーバーに送信してそこでフィルタする代わりに、データベース・フィルタ処理をストレージに移動することでこれを達成しました。この機能はExadata Smart Scan^{[40][41]}と呼ばれています。Exadata V1では、データベースまたはワークロード間でI/O帯域幅を割り当てるための統合機能であるIORM (I/O Resource Manager)^[42]もサポートされました。Exadata V1は、フル・ラックまたはハーフ・ラック構成で提供され、High PerformanceまたはHigh Capacityストレージ・サーバーの選択が可能でした。

Exadata V2^{[24][43][44]}は2009年にリリースされ、クォーター・ラック構成が追加されました。また、フラッシュ・ストレージとデータベース認識型フラッシュ・キャッシュによりOLTPワークロードがサポートされました^[45]。

また、大規模なデータウェアハウス表によって消費されるストレージ容量を削減するために、Hybrid Columnar Compressionが導入されました。

Exadata V2のストレージ索引^[46]は、領域に含まれる値をストレージ・サーバーが把握することで、ストレージ領域全体を読み込む必要性を解消してパフォーマンスを引き上げました。

Exadata X2-2^[25]は第3世代として2010年にリリースされ、第2モデルの**Exadata X2-8**^[32]が導入されました。X2-8とこれに続く“8ソケット”モデルには、大容量メモリとスケールアップ・ワークロードをターゲットにしたインテル・プロセッサが搭載されています。このリリースで、Smart Flash Logging^{[47][48]}が導入され、キャッシング以外の目的にフラッシュ・ストレージが使用されるようになりました。10 Gb/秒のイーサネット・コネクティビティのサポートも追加されました。

Exadata X2-2で導入されたハードウェアによる復号化^[49]は、ソフトウェアによる復号化で生じるパフォーマンス・オーバーヘッドの大半を解消することで、暗号化を通じたデータ・セキュリティを推進しました。

2011年、急拡大する大容量データウェアハウスおよびアーカイブ・データベースに対応するために、Exadata X2-2にStorage Expansion Rack^[50]が追加されました。この後すべてのExadata世代で、2ソケット構成には新しいStorage Expansion Rackが含まれています。

Exadata X3-2^[26]および**X3-8**は2012年にリリースされ、新たに Eighth ラックのX3-2エン트리・レベル構成が追加されました。フラッシュ・ストレージ容量が4倍に拡大され、Write-Back Flash Cache機能によってOLTP書き込みスループットが20倍に増加したと報告されました。

低速または障害が発生したストレージ・メディアのバイパス^[52]、ストレージ・サーバーの一時停止時間の短縮、障害発生ディスクの交換簡略化など、多数の可用性向上機能が追加されました。

Exadata X4-2は2013年にリリースされ、フラッシュ容量が2倍に増加し、フラッシュ圧縮が追加されたため、事実上の容量がさらに倍増しました。ネットワーク・リソース管理^[15]が導入され、重要なメッセージが自動的に優先されるようになりました。アクティブ/アクティブ接続のサポートにより、InfiniBand帯域幅が2倍になりました。

Exadata X4-8は2014年にリリースされ、Capacity on Demand^[53]ライセンス、I/O待機時間の制限、タイムアウトしきい値が追加されました。

Exadata X5-2および**X5-8**は2015年にリリースされ、重要な一連の機能強化が追加されました。フラッシュ容量とディスク容量が2倍に増加し、エラストック構成^[54]の導入により、サーバーを1台ずつ追加できるようになりました。Trusted Partitions^[55]の導入によって仮想化オプションが追加され、仮想マシン内での柔軟なライセンスが提供されました。Exadataストレージでのデータベース・スナップショット^[56]により、効率的な開発とテストが可能になりました。ExadataのOracle Database In-Memoryに、フォルト・トレラント^{[57][58]}な冗長性が導入されました。High Performanceストレージ・サーバーをオールフラッシュ（Extreme Performance）ストレージ・サーバーに置き換え、大手ベンダーとして初めてNVMeフラッシュ・インタフェースを採用しました。Columnar Flash Cacheが導入され、分析データがフラッシュ内で自動的に列形式に変換されるようになりました。IPv6のサポートが完了しました。Oracle Cloudで、Exadata Cloud Service^[59]の提供が開始されました。

Exadata X6-2および**X6-8**は2016年にリリースされ、フラッシュ容量が2倍に増加しました。Exafusion Direct-to-Wireプロトコル^[60]により、クラスタ内のメッセージ・オーバーヘッドが削減され、Smart Fusion Block Transfer^[61]によって、クラスタ内のOLTPアプリケーションのログ書き込み遅延が解消されました。Exadata Cloud@Customerがリリースされ、企業データセンターでもOracle Cloudのメリットを活用できるようになりました。

Exadata X7-2および**X7-8**は2017年にリリースされ^[62]、フラッシュ容量が2倍に増加しました。フラッシュ・カードがホット・プラグに対応し、オンラインで交換できるようになりました。10 TBのディスク・ドライブと25 Gb/秒のイーサネット・コネクティビティが追加されました。Oracle Database In-Memoryの処理がフラッシュ・ストレージに拡大され、ストレージ・サーバーのDRAMを利用した高速OLTPが実現しました。

Exadata X8-2および**X8-8**は2019年4月にリリースされました。Exadata Storage Server Extended（XT）が、頻繁にはアクセスしないデータを保管する低コスト・ストレージとして導入されました。14 TBのディスク・ドライブが追加され、Exadataストレージ・サーバーのコンピューティング・コア数が60%増加しました。CPU、ネットワーク、メモリを自動的に監視する機械学習アルゴリズムが追加され、スタックしたプロセス、メモリ・リーク、信頼性の低いネットワークなどの異常が検出され、索引が自動的に作成（自動索引）、再構築、削除されるようになりました。DML実行時にリアルタイムで、オプティマイザ統計情報が自動収集されるようになりました。セキュリティ強化のために高度な侵入検知環境（AIDE）が追加され、未知の変更がシステム・ソフトウェアに加えられると、これが検出され、アラートが通知されるようになりました。

Exadata X8M-2^[66]および**X8M-8**は2019年9月にリリースされました。Exadata Storage ServerにIntel Optane DC パーシステント・メモリが追加され、RoCE（RDMA over Converged Ethernet）に基づく新しい100 Gbit/sの内部ネットワーク・ファブリックが以前のInfiniBandファブリックに取って代わったことで、大幅なパフォーマンス向上が実現しました^[63]。これらの変更により、読取り/Oスループットが2.5倍に増加し、I/O待機時間は1/10に短縮されました。さらに、新しいKVMベースの仮想マシンがXenベースの旧仮想マシンを置き換えたことで、ゲストVMが使用できるメモリ容量が2倍に増えました。

Exadata X9M-2^[1]および**X9M-8**^[67]は2021年9月にリリースされました。最新世代のIntel Optane パーシステント・メモリとPCIe Gen 4を搭載しているため、旧世代と比べて顕著にパフォーマンスが向上しています。OLTP読取り/Oスループットがさらに1.6倍に向上し、Smart Scanが単一ラック内で1 TB/sのしきい値を超えました。

参考資料

1. [データ・シート : Oracle Exadata X9M-2](#) (PDF)
2. Loaiza, J.およびその他、[Oracle Exadata:World's Fastest Database Machine](#) (動画)、2011年8月
3. Umamageswaran, K.およびGoindi, G., [Oracle Exadata:Architecture and Internals Technical Deep Dive](#) (PDF)、2018年10月
4. [Oracle Exadata System Softwareユーザーズ・ガイド 19.3.0](#)
5. [Exadata Turns 10](#), siliconangle.com、2019年6月
6. Hollis, C., [Chuck's Blog:Grown-up IT for Grown-Up Applications](#)、2015年9月
7. [Oracle Exadata Cloud Service X8Mデータ・シート](#) (PDF)
8. Spendolini, Brian, [Oracle Database Exadata Cloud Service:A Beginner's Guide](#) McGraw-Hill、2018年11月
9. [Oracle Exadata Cloud@Customer X8M上のOracle Exadata Database Service](#) (PDF)
10. [Oracle Cloud@Customerデータ・シートおよびリソース](#)
11. [Exadata Customer Success Stories](#)
12. [Gartner Peer Insights:Oracle Exadata Database Machine](#)、Gartner peer insights
13. [データ・シート : Oracle Database In-Memory](#) (PDF)、Oracle Technology Network
14. [Oracle Exadata Database MachineおよびOracle Exadata Storage Serverの技術概要](#) (PDF)
15. Loaiza, J., [Guaranteeing Fast Response for OLTP Messages](#) (動画)、2016年7月
16. Rivenes, A., [Columnar Formats in Exadata Flash Cache](#)、Oracle blogs、2017年10月
17. [Oracle Exadata Database Machineドキュメント](#)
18. [Oracle Exadata Statement of Direction](#) (PDF)、2021年10月
19. [クラウドの価格設定](#)
20. Loaiza, Juan, [Direct Access from Database to Network for Much Faster OLTP](#)、2016年7月
21. Loaiza, Juan, [Introducing Oracle Exadata X8M](#)、2019年9月
22. [データ・シート : Oracle Exadata Storage Expansion Rack X8-2](#) (PDF)
23. [Oracle Exadata Configuration Assistant \(OECA\)](#)
24. [データ・シート : Sun Oracle Database Machine](#) (PDF)
25. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X2-2](#) (PDF)
26. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X3-2](#) (PDF)
27. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X4-2](#) (PDF)
28. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X5-2](#) (PDF)
29. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X6-2](#) (PDF)
30. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X7-2](#) (PDF)
31. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X8-2](#) (PDF)
32. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X2-8](#) (PDF)
33. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X3-8](#) (PDF)
34. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X4-8](#) (PDF)
35. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X5-8](#) (PDF)
36. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X6-8](#) (PDF)
37. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X7-8](#) (PDF)
38. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X8-8](#) (PDF)
39. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X8M-8](#) (PDF)
40. Loaiza, J., [Exadata Smart Scan:Moving Queries to Data is Required to Realize Flash Performance](#) (動画)、2018年7月
41. Osborne, Kerry, [Understanding Exadata Offloading](#) (PDF) Kerry Osborne's Oracle Blog、2011年8月
42. Fusek and Spiller, [Oracle Exadata System Softwareユーザーズ・ガイド \(20.1.0\)](#)
43. [データ・シート : Sun Oracle Exadata Storage Server](#) (PDF)
44. [Oracle and Sun Unveil Exadata Version 2](#) (動画)、2009年9月
45. Subramaniam, M., [Exadata Smart Flash Cacheの機能とOracle Exadata Database Machine](#) (PDF)、2013年12月
46. Loaiza, J., [Storage Indexes:By Understanding Data, Exadata Can Radically Reduce I/O](#) (動画)、2016年7月
47. Loaiza, J., [Smart Logging Enables Fast OLTP on Flash](#) (動画)、2016年7月
48. Fusek, P., [Oracle Exadata Smart Flash Log](#) (動画)、2011年11月
49. Nguyen, K., [Securing Databases with Intel Advanced Encryption Standard New Instructions \(AES-NI\)](#)、Intel、2012年12月
50. 著者多数 (2017年)、[データ・シート : Oracle Exadata Storage Expansion Rack X7-2](#) (PDF) 2017年
51. Gorbachev, A., [A Brief History of Exadata Time](#) (PDF) NoCOUG Journal、2013年5月
52. Loaiza, J., [Instant Server Failure Detection](#) (動画)、2016年7月
53. Stern, J., [Oracle Exadata Database Machineライセンス情報ユーザーズ・ガイド](#)、
54. Stern, J., [Exadata Database Machineシステム概要](#)、
55. Goindi, G., [Controlling Software Costs on Exadata](#)、Oracle Blogs、2015年2月

56. Shah, M., [Storage Efficient Database Copy Options with Exadata](#) (PDF) Oracle Technology Network, 2015年3月
57. Loaiza, J., [Duplicating In-Memory Data Assures Availability](#) (動画)、2016年7月
58. Chavan, S., [Exadata High Availability In-Memory Fault Tolerance](#) (動画)、2019年6月
59. [データ・シート : Oracle Database Exadata Cloud Service](#) (PDF)
60. Loaiza, J., [Direct Access From Database to Network for Much Faster OLTP](#) (動画)、2016年7月
61. Loaiza, J., [Non-Blocking Transfers of OLTP Data on Clusters](#) (動画)、2016年7月
62. Loaiza, J., [Oracle's Next Generation Exadata Database Machine X7](#), 2017年
63. Brown, V., [オラクル、世界最速のデータベース・マシンを発表](#), 2019年9月
64. [Oracle Autonomous Database](#)
65. Loaiza, J., [New Exadata X8M PMem and RoCE Capabilities and Benefits](#), 2019年9月
66. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X8M-2](#) (PDF)
67. [データ・シート : Oracle Exadata Database Machine X9M-8](#) (PDF)

特に記載のない限り、すべての参考資料はオラクル提供です。

制作 : オラクル

カリフォルニア州レッドウッド・ショアーズ、2021年10月

Connect with us

+1.800.ORACLE1までご連絡いただくか、[oracle.com](#)をご覧ください。北米以外の地域では、[oracle.com/contact](#)で最寄りの営業所をご確認いただけます。

 [blogs.oracle.com](#)

 [facebook.com/oracle](#)

 [twitter.com/oracle](#)

Copyright © 2021, Oracle and/or its affiliates. All rights reserved. 本文書は情報提供のみを目的として提供されており、ここに記載されている内容は予告なく変更されることがあります。本文書は、その内容に誤りがないことを保証するものではなく、また、口頭による明示的保証や法律による黙示的保証を含め、商品性ないし特定目的適合性に関する黙示的保証および条件などいかなる保証および条件も提供するものではありません。オラクルは本文書に関するいかなる法的責任も明確に否認し、本文書によって直接的または間接的に確立される契約義務はないものとします。本文書はオラクルの書面による許可を前もって得ることなく、いかなる目的のためにも、電子または印刷を含むいかなる形式や手段によっても再作成または送信することはできません。

本デバイスは、連邦通信委員会のルールに基づいた認可を未取得です。認可を受けるまでは、このデバイスの販売またはリースを提案することも、このデバイスを販売またはリースすることはありません。

OracleおよびJavaはOracleおよびその子会社、関連会社の登録商標です。その他の名称はそれぞれの会社の商標です。

IntelおよびIntel XeonはIntel Corporationの商標または登録商標です。すべてのSPARC商標はライセンスに基づいて使用されるSPARC International, Inc.の商標または登録商標です。AMD, Opteron, AMDロゴおよびAMD Opteronは、Advanced Micro Devicesの商標または登録商標です。UNIXは、The Open Groupの登録商標です。1021

免責事項 : 本文書は情報提供のみを目的としています。マテリアルやコード、機能の提供をコミットメント (確約) するものではなく、購買を決定する際の判断材料にするものでもありません。オラクル製品に関して記載されている機能の開発、リリースおよび時期については、弊社の裁量により決定されます。