ホワイトペーパー

戦略的エッジコンピューティングは防衛システムを進化させます。

2021年9月

TELEDYNE e2v | Semiconductors
Everywhereyoulook™

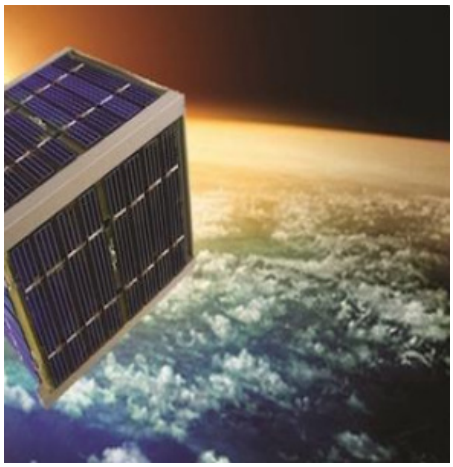
膨大な量のデータを送信しますか？ 防衛システム開発におけるこの問題を解決しましょう...

宇宙航空電子防衛システムの開発者は、**信頼性の高い正確な判断を瞬時に下す一方で、データ転送**や計算に関わる問題に対処しなければなりません。通常、防衛システム開発においては、商用技術を利用します。しかし軍事システムと商用システム間では、特に戦略的出発点に決定的に重要な違いがあります。商用システムとは異なり、軍用システムではヘテロジニアス・ネットワークの中で様々な処理、データの授受、意思決定を行うマルチホップ・ネットワークを使います。これらはすべて、電波妨害や電子戦などの攻撃者の行為に応戦する為に動的環境内に存在します。

そのため防衛システムネットワークが拡大するにつれ、**信頼性の高い戦略的エッジコンピューティングを利用して**ローカライズされたリアルタイムの計算分析と意思決定を通じて、送信**データ量の削減**が求められているのです。

このニーズに対応するには、基本的に電磁、放射線およびその他の**航空電子工学防衛システム環境に必要な課題と適応性を満たすコンピューティング速度、サイズ、重量、消費電力、およびコストを備えたデバイス**が必要です。

エッジコンピューティングとは？



エッジコンピューティングとは、拡張可能な分散型情報技術アーキテクチャです。データは全体ネットワークの中で可能な限り発信元の近くで処理されます。

高信頼性のエッジコンピューティングは、厳しい環境でデータが生成される場所にコンピューティングデバイスとストレージデバイスを導入します。コンピューティングとストレージをデータソースと同じ地点、つまり戦略的エッジに配置することが理想です。

エッジコンピューティングとは、高負荷なコンピューティングリソースやストレージリソースを中央のデータセンターから分離させ、データ自体のソースに近い場所に移すというだけのことなのです。未処理データを中央データセンターまで送信して処理や分析をするのではなく、ローカライズされた生データに対して大量の計算を実行します。その計算結果はその後、中央のデータセンターに送られ更にレビューと評価が行われます。

したがってエッジコンピューティングは場所のキーポイントなのです。宇宙空間・航空電子防衛システムの開発者は、全体システムで中央データセンターからシステム周辺の戦術的エッジに重点を移し、主要データセンターに戻すのは分析結果のみにするよう常に求めていました。

エッジコンピューティングの原理は非常にシンプルです。データをデータセンターの近くに置けないのであれば、データセンターをデータの近くに配置します。このためエッジコンピューティングでは、データが収集される場所にヘビーコンピューティングとストレージを置きます。エッジコンピューティングモジュールは、極端な温度・湿度、その他の環境条件から回路を保護するため、シールドおよび強固なエンクロージャ内に配置されます。そのため、高信頼性である必要があります。

ホワイトペーパー

戦略的エッジコンピューティングは防衛システムを進化させます。

2021年9月

TELEDYNE e2v | Semiconductors
Everywhereyoulook™

エッジコンピューティングはネットワークにおける主な3つの規制要件(帯域幅、レイテンシおよび信頼性) に対応しています。

- **帯域幅**とはネットワークが単位時間に伝送できるデータ量です。通常はビット毎秒で表します。すべてのネットワークの帯域幅は限界があります。つまり、ネットワーク経由でデータ通信可能なデータ量(またはデバイス数)には限界があるのです。

- **レイテンシ**とは、ネットワーク上の2点間でのデータ送信にかかる通信遅延時間です。レイテンシにより、分析計算や意思決定の遅延が生じ、システムのリアルタイム応答能力が下がります。

- **信頼性**の制約により、時間のかかるデータの再送信やネットワークの停止が必要となり、防御システムが完全にシャットダウンしてしまう可能性があります。

エッジコンピューティングは、ネットワークにおける主な制限をかなり取り除け、**自律性、データ主権、データセキュリティのようなローカライズされた固有の利点もあります。**

- **自律性:** エッジコンピューティングは、環境等の条件に起因する接続信頼性が低い場合や帯域幅が制限されている場合に役立ちます。エッジコンピューティングはオンサイトで膨大な計算作業を行います。データをローカルで処理できれば、送信されるデータ量が大幅に削減でき、必要な帯域幅を削減し接続時間を短くできます。

- **データ主権:** 国や地域の境を越えてデータを送信する場合、データのセキュリティやプライバシー、また法的にも重大な問題が発生することがあります。エッジコンピューティングは定義上、データをソースの近くに配置するため、一般のデータ主権法の範囲内にあります。これにより、生のデータをローカルで処理すれば重要なデータを隠して保護してからプライマリデータセンターに転送できるのです。

- **データセキュリティ:** エッジコンピューティングは、データセンターに送信されたデータはすべて暗号化で保護されるので、カウンター攻撃から保護されます。

エッジ防衛システムのヘビーコンピューティング要件

高度な宇宙・航空電子防衛開発システムの限界は基板に実装されたハードウェアの処理能力で決まります。ほとんどの衛星は、オンボードマイクロプロセッサで、基本的にデータを変換してリレーするという単純な動作をします。**オンボード・マイクロプロセッサは、任務遂行時に高速で信頼性が高く、放射線耐性に優れていなければなりません。**また、衛星を軌道に乗せた後に、その衛星が自律的に修理・交換する機能も必要です。さらに最近の電力効率の向上およびデジタル処理能力の向上が、オンボード処理能力の強化を可能にしました。これにより意思決定のためのエッジコンピューティングによる高度な計算が実現し、柔軟なルーティング/チャネル化、ビーム形成、自由空間光通信、信号再生などの通信機能も提供されています。

テレダインe2vのSpace Quad Core ARM® Cortex A-72放射線耐性スペースマイクロプロセッサ (LS1046-Space) は、 こうしたコンピューティング要件に対応するソリューションを提供します。これは3ウェイのデコード、投機的実行、スーパースカラパイプライン技術を利用しています。LS1046-Spaceは、宇宙用途に強化したARMソフトウェアモジュールと組み合わせることで、オンボードの通信専用処理を可能にしアップグレードすることもできます。

ホワイトペーパー

戦略的エッジコンピューティングは防衛システムを進化させます。

2021年9月

TELEDYNE e2v | Semiconductors
Everywhereyoulook™

軍事戦略的エッジシステムは、高度な複雑かつ精緻な計算により、迅速な結果と意思決定を提供します。このようなアプリケーションでは、I/Oデータ転送ではなく実行時間のほとんどを大量の計算分析に費やしているため、データ転送量は少なくなります。「計算負荷の高い」エッジアプリケーションでは、同時に複数の作業が実行され、各作業で不具合にも対処します。「大量のデータを処理する」コンピューティングの根本的な課題は、急増するデータ量の管理と処理、実用的かつタイムリーなアプリケーションをサポートするための関連データ分析サイクルの大幅な削減、大量のデータを検索・処理するための拡張可能な新しいアルゴリズムの開発です。

軍事防衛システムの開発は、戦略的エッジコンピューティングに移行しています。この動きは単にデータ伝送トラフィックの大幅な増大に起因します。 データトラフィックは年々急増しているため、データの転送からデータのローカル処理へ移行するニーズはすぐに結果が得られます。Cisco GCIレポートの主要構成部である**グローバルデータセントートラフィック予測は**、サービスプロバイダーおよび企業が運用する世界中のネットワークデータセンターを対象にしています。Cisco GCIは

1. 世界のデータセンター年間IPトラフィックは、2021年末までに20.6ゼタバイト(ZB)(1か月あたり1.7ZB)　に達する見込みと報告しています。これは、2016年の年間6.8ゼタバイト(568エクサバイト(EB/月))から増えています。
2. グローバルデータセンターのIPトラフィックは、今後5年で3倍に増加します。

データセンターのIPトラフィックは全体的に、2016年から2021年にかけて25%の年平均成長率 (CAGR) で増加する見込みです。 データセンターのトラフィックは、今後もしばらくインターネット・トラフィックを支配し続けますが、データセンターのトラフィックの性質はクラウドアプリケーション、サービスおよびインフラによって根本的に変化しています。

宇宙空間・航空電子工学における防衛システムアプリケーション

米国軍第6番目軍種の宇宙軍務拠点としての米国宇宙軍 （USSF） の創設は歴史的な節目です。これは世界初の独立した宇宙軍であり、国家安全保障に対する宇宙企業の重要性の高まりを反映しています(2019年12月20日編成)。USSFは数千人規模の兵士で構成され、77機のスペースクラフトを運用しています。主な衛星システムには、地球測位システム、軍用衛星通信、ボーイングX-37B宇宙機、米国ミサイル警報システム、米国宇宙監視ネットワーク、衛星制御ネットワーク (SCN) などがあります。

2020年8月10日、宇宙軍はドクトリンを発表しました。**スペースパワー:　宇宙軍のためのドクトリンです**。宇宙安全保障、戦闘力計画、空間機動性と後方支援、情報機動性、空間領域認識の5つの中核的能力を具体化しています。スペースパワーには、軌道武力衝突、空間電子機動戦、空間戦闘管理、空間アクセスと維持、情報部、サイバー運用、エンジニアリング/買収など、中核的能力に必要な7分野もリストアップされています。

USSFに加えて、**米国国防総省の理事を務める宇宙開発局（SDA）は、**2022年10月ごろにUSSFに移る予定です。

SDA
SPACE DEVELOPMENT AGENCY

SDAプロジェクト:
1. 衛星間の光通信を含む通信において、
2. 人工衛星から軍用ドローン機まで、
3. 弾道ミサイル検出に、回復力のある持続的応答を提供します。
4. 米国国家防衛宇宙体系 (NDSA) の迅速な対応開始の急増を利用して、JADC2 (統合全領域指揮統制) 衛星バックボーンを構築します。

戦略的エッジコンピューティングは防衛システムを進化させます。

2021年9月

TELEDYNE e2v | Semiconductors
Everywhereyoulook™

またフランスでは2010年創設の統合宇宙司令部に代わり、空軍内に「宇宙軍　　(CDE: Commandement de l'Espace, CdE)」 を創設するなど、他国も宇宙軍を急速に展開させています。フランス軍は現在、衛星への脅威に対処するため、宇宙司令部の能力を試す訓練を実施中です。この演習は世界第3位の宇宙力となるためのフランスの戦略の一部です。

重要な軌道上の資産や航空資産に対する脅威の進化に向き合うには、回復力と俊敏性にさらに優れたシステムアーキテクチャを構築する革新的なアプローチと継続的なリーダーシップが必要です。

2020年の国防権限法の成立により、高レベルの優先事項と統率体制が規定されましたが、軍の最新部門がどう形成され、宇宙における米国の利益が最終的にどのように発展するかは、今後数か月から数年かけて明らかになるものと思われます。潜在的な敵が対衛星兵器を開発し、成長する商業市場が宇宙空間の新たな可能性を解き放つ中で、意思決定者は急速に変化する状況を切り抜けなければなりません。
たとえば、宇宙空間の戦略的エッジサーバーは、次のようなもので大きく改善されています。

- 軍のモノのインターネット
- 戦場のモノのインターネット
- JADC2戦略的エッジネットワーク

通常であれば困難かつ時間がかかるため人の直接関与が必要だった危険な任務であっても、戦略的エッジサーバーであれば、地理データを迅速かつ効果的に取得し、オブジェクト認識技術で標的を特定・追跡し、敵と交戦できます。エッジコンピューティングは、戦場からのセンサーで収集したデータの転送や処理のレイテンシを軽減し、状況認識力を瞬時に向上させます。

戦略的エッジサーバーは低レイテンシと高信頼性を提供します。これは戦場での監視、情報収集、中継作業をより迅速に行えるため、軍用レベルのヘビーエッジコンピューティングにおける最も重要なファクタです。通常、センサーが取得したデータを計算や意思決定のために長距離転送させると、データ転送に大きなレイテンシが発生します。エッジコンピューティングはローカルに配置されるインテリジェンスのため、よりスムーズかつ効率的なデータ分析プロセスを実現します。**ローカルデータ分析が向上し、ネットワークのレイテンシとトラフィックが減少することで、軍指導部は、拡張された共通状況図 (COP) を活用できます。**海外の敵が戦場における人工知能 (AI) と機械学習 (ML) の機能を進化させ続ける中**エッジコンピューティングは第二の意思決定を可能にし、戦場での競争力を高める中核技術となります。**

その他、**米国空軍では次世代のOPIR (長距離および戦域弾道ミサイル発射の早期警報を提供する**衛星システム)**を開発中です。** 衛星静止軌道からの生存可能性と回復力の高いミサイル警告を提供することで、SBIRS (宇宙赤外線システム) の代替となります。

次世代OPIRプログラムは、**3台の静止軌道衛星（GEO）と2台の極軌道衛星で構成されています**(最初の静止軌道衛星の打ち上げは2025年、その他の衛星は2029年までに軌道に乗せる予定)。さらに国防省国防高等研究計画局 (DARPA) は、途絶えることのないグローバルな受信地域を更に拡げるブラックジャックプログラムの開発にも取り組んでいます。ブラックジャックは、地球低軌道衛星 (LEO) で動作するように設計されており、複数のセンサーをネットワークで接続します。ブラックジャックの任務 (最終的にはミサイルの警告システム) は、OPIRセンサーを含む小型・軽量・高出力センサーの実証です。これらのセンサーは、1ペイロードあたり200万米ドル未満で、さまざまなプロバイダーのさまざまなバスに合わせた大量生産が可能です。エッジコンピューティングでブラックジャックは自立した任務を行い、その健全性を認識できます。つまりオペレータの介入なくエンドユーザーに情報を提供するよう自動で調整できるようになるのです。

TELEDYNE e2v | Semiconductors
Everywhereyoulook™

弾道ミサイルに対する軍事防衛システムのもう1つの例が、宇宙で長距離弾道ミサイルを破壊できる**大気圏外の撃墜弾(EKV)**です。ミサイル先頭から発射されたEKVは、センサー、レンズ、ロケットスラスタを使用して、弾頭を取り出し、軌道へと誘導します。EKVは、衝突して標的を破壊するために、オンボードエッジコンピュータと標的方向に誘導するロケットモータを利用して、マルチカラーセンサで標的を捉えます (従来の弾道は不要)。

最後に、第18宇宙制御飛行隊 (18 SPCS) は、人工物がいつどこに地球の大気圏に再突入するかを予測する戦略的部隊です。米国国防総省および世界中の省庁、商業、国際的パートナーのため、基礎を成す**宇宙状況監視(SSA)**を維持・提供する責任を負っています。

18 SPCSの中核機能は次のとおりです。
- 米国宇宙監視網 (SSN) から受信した宇宙空間監視データおよび追跡データによるスペース・カタログの維持
- 宇宙飛行安全データの生成
- 打ち上げ、再突入、分離など関心の高いイベントの処理。

18 SPCSのアナリストは、スペース・カタログ内のすべての人工物の状況を毎日スクリーニングし、墜落する可能性が最も高い人工物を判断して、再突入評価プロセスへの登録リストに追加します。18 SPCSは、地上設置型電子光学式深宇宙探査 (GEODSS) システムを利用して任務を遂行しています。

テレダインe2vの宇宙空間・航空電子システム向けエッジコンピューティング・デバイス

テレダインe2vは、宇宙空間ペイロードおよびプラットフォーム用の**耐放射性デジタルコンピューティング用のコンポーネントを開発・製造**しています。**QML-Y**(ベアチップからスタックオプションまでテレダインe2vで製造される堅牢なセラミックパッケージ)と**ECSS/NASA宇宙認定に基づく根本的なパッケ**ージソリューションの両方を提供します。

スペースマルチコアPowerArchitecture®マイクロプロセッサはお客様に継続的に出荷されており (図1参照)、**オンボード宇宙空間システムの打ち上げの成功**に貢献しています。その宇宙空間品質、信頼性、および耐放射性機能により、宇宙空間の厳しい用途に適したシステムが提供されています。

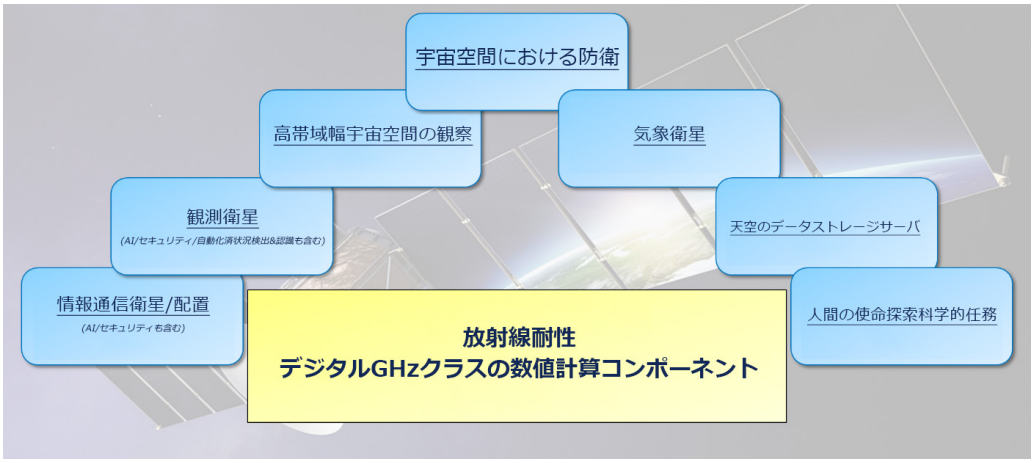


図1:
テレダインe2vが
提供する宇宙空間
アプリケーション例

戦略的エッジコンピューティングは防衛システムを進化させます。

2021年9月

TELEDYNE e2v | Semiconductors
Everywhereyoulook™

最近、テレダインe2vは宇宙空間市場で最も強力なCPUであるクアッドARM® CortexR-A72 (30,000 DMIPS) および高速高密度DDR4メモリ (4GB) を発表しました。

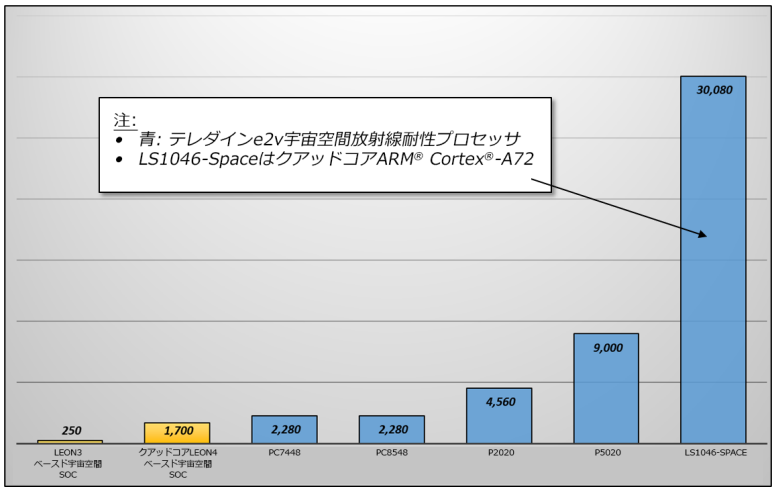
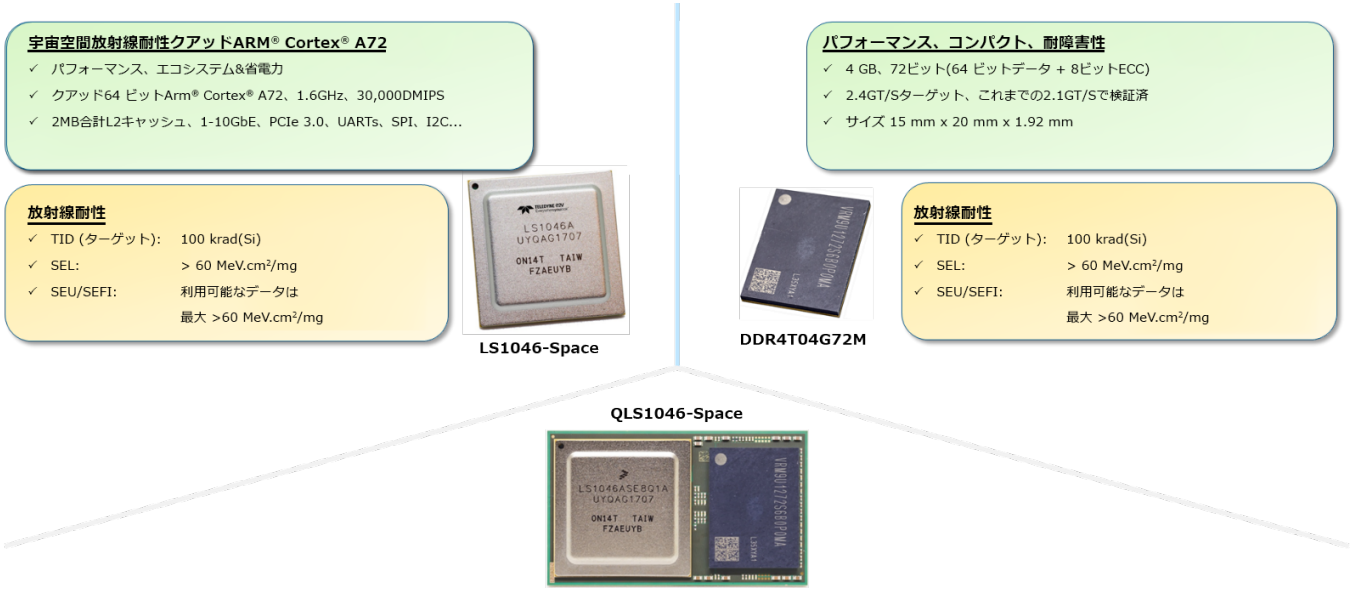


図2: テレダインe2vが提供する宇宙空間アプリケーション例



PCBの実装スペースを削減して市場投入までの期間を短縮するため、テレダインe2vは宇宙空間用途向けのコンポーネントと統合した最適化バージョンも提案しています。

図3: テレダインe2v次世代宇宙空間放射線耐性計算特化型ソリューション

DDR4T04G72はKU060、Zync UltraScale+、RT PolareFireなどの通常のSpace FPGAとの完全な互換性もあります。

LS1046A-Spaceは、45,000CoreMarks®を超える計算性能を備え、デュアル10GBイーサネット、PCIe Gen3、SATA Gen3インターフェイスと組み合わせて使用できます。高信頼性、コンピューティング、使用可能な周辺機器、および放射線耐性とともに、これらのコンポーネントは、高信頼性のさまざまな宇宙空間レベルのエッジアプリケーションに最適です。

結論

現在、宇宙空間・航空電子防衛システムの設計者は、戦略的ヘビーエッジコンピューティング・マイクロプロセッサとストレージモジュールの重要な開発フェーズに入っています。各設計の中核となるのがスタンドアロンで高信頼性、耐放射線性を備えたマイクロプロセッサとメモリコンポーネントです。これらの開発で重要になるのが、高負荷のコンピューティング処理、ストレージ、速度、信頼性、サイズ、重量、出力および費用です。

テレダインe2vの次世代の宇宙空間放射線耐性を備えた計算集約型コンポーネントにより、インテリジェントなヘビーエッジコンピューティングと航空電子防衛システムの開発が可能になり、戦闘中にリアルタイムで再構成できます。ローカルデータ分析能力が向上し、ネットワークのレイテンシとトラフィックが減少したことで、軍指導部は、拡張された共通状況図 (COP) を活用できます。

Yuki Chan
マーケティング＆コミュニケーション
マネージャー
yuki.chan@teledyne.com

Marc Stackler
アプリケーションエンジニア
シグナルプロセシングソリューション
marc.stackler@teledyne.com