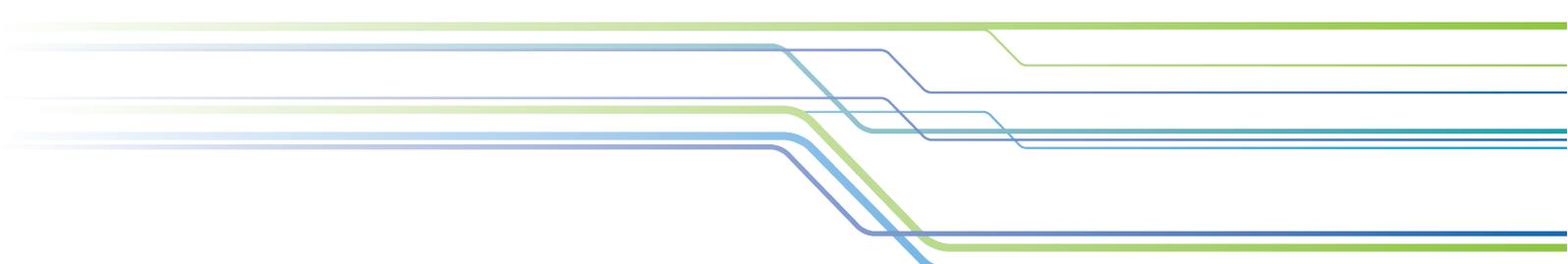


HPEC データロギング

レベル5 自動運転編



ホワイトペーパー

エグゼクティブ・サマリー

自動運転は、ドライバー(人)の運転タスクの量によって、レベル0（運転支援システムなし）からレベル5（完全自動運転）までに分類されています。

レベル5の完全自動運転を実現するためには、これまでの組込み型デバイスとエッジコンピューティングでは達成できない、かつてない高いレベルでのデータ収集・保存・処理といったプロセスが要求されます。

高解像度カメラやLIDARを含む数多くの車載センサから、大規模なデータフローが切れ目なく送られ、それを車内で、しかもリアルタイムで処理をしていくには、以下に挙げられるシステムの条件を、これまでにないレベルで組み合わせなければ実現は不可能です。

- 超高性能
- 超高キャパシティ・ストレージ
- 堅牢性
- 車載グレード電源
- 車載認証
- システムのコンパクト化

EurotechのDynaCOR 40-34はフレキシブルなプラットフォームでこのような厳しい条件をクリアする、いわば「車上のデータセンター」といった、他に類を見ないデバイスです。

自動運転の他にも、防衛システムなどの過酷な環境下のアプリケーションにおいて、最先端の高性能データロギング・ソリューションとして利用ができます。

レベル5自動運転の課題

レベル5の自動運転の定義は“完全に自動化された運転”で、ドライバー（人）が操作をする必要がなくなり、ハンドル・アクセル・ブレーキペダルなどが排除され、運転に関わる全ての操作をシステムが行います。

この自動運転技術の開発に、自動車業界だけでも何十億ドルと投資をしており、防衛を始めとした多くの垂直市場でも同様のロードマップが描かれ、積極的に取り組まれています。

これらのプレイヤーはすべて、技術のみならず物事の規律といった普遍的なテーマに関わる多くの課題に直面しています。このホワイトペーパーでは、そうしたまったく新しい要件に対して、Eurotechのハードウェアがどう対応しているのかに焦点を当てたいと思います。

性能

自動運転車で生み出されるデータの量は、たとえ自動化のレベルが「中」程度であっても、前例のないほど大規模な量となり、従来の組込み型コンピューターでは対応できません。

例えば、2017年のフラッシュメモリ・サミット¹で発表されたプレゼンでは、センサによる通常の帯域幅使用量を次のように示しています。

¹ 「Flash Memory in the emerging age of autonomy（新しい自律走行時代のフラッシュメモリ）」Stephan Heinrich、Lucid Motors – フラッシュメモリサミット2017（サンタクララ、CA）を参照

https://www.flashmemorysummit.com/English/Collaterals/Proceedings/2017/20170808_FT12_Heinrich.pdf

Sensor	Bandwidth per sensor	Number in vehicle
RADAR	0.1 – 15Mb/s	4 to 6
LIDAR	20 – 100Mb/s	1 to 5
Camera	500 – 3500Mb/s	6 to 12
Ultrasonic	<0.01Mb/s	8 - 16
Vehicle motion, GNSS, IMU	<0.1Mb/s	

ここでは、センサで使用される総帯域幅が、最もシンプルなケースで3~4Gb/s、最も高度なケースで40Gb/sに上り、これらのデータレートは現在の技術開発の段階から、今後さらに増加していく見込みです。

しかもこれらの値は、ピーク値だけではなく、持続的なセンシング・オペレーションを対象にしていることに注意が必要です。自動運転のアプリケーションでは、すべてのコンピューティングとネットワークにおけるリソースが、常時使える状態であることを要求され、レイテンシーも最小限に抑えられなければなりません。

超高キャパシティ

前述の通り、自動運転車は連続的にデータストリームを生成します。その量はシンプルなケースでも約4Gb/sで、これは1.8TB/hに相当し、最大40Gb/sの場合は18TB/hという大規模なものになります。よって自動運転では、従来の組込み型コンピューティング・デバイスよりも桁違いに大きなストレージ容量が要求されます。

堅牢性

現状、40Gb/sものデータストリームを自動運転車からデータセンターへ無線送信することは現実的ではありません。そこで、車両に搭載されているデータロガーが、走行中の非常に過酷な

環境下にさらされながらも確実に動作することが不可欠となります。ここでジレンマが生じます：高性能を謳う部品は、しっかりと管理された、条件の良い環境での使用を前提に設計されているのに対し、堅牢なデバイスは故障率を下げるためにファンやベント、その他の故障の原因になり得る部品の使用を避け、デバイス全体の性能を犠牲にしています。もう一つの悩みの種はサイズです。高い性能を持つデバイスはその分、放熱性も高くする必要があるので、堅牢型デバイスよりもかさばってしまいます。自動車の車内スペースは非常に限られているので、この問題は大きなインパクトになります。

このような問題を、データセンター向けに設計されたプラットフォームを応用することにより、解決を図る製品も一部には見られます。例えば衝撃吸収材や予備のファンは、デバイスのライフを少しでも長くするために付加されていますが、自動車の車内環境は極めて厳しく、このようなソリューションには多くの不都合が伴います。つまり、衝撃吸収材では広範囲にわたる振動に対応した微妙な調整が必要となり、その結果、実装が困難になるほど据付け面積が増えたり、逆に衝撃吸収の機能が低下してデバイスの耐用期間が短くなったりする場合があります。また、ファンとベントを付加する場合、適切な範囲の数であれば熱交換が改善されますが、これは空気の循環・交換が十分に行えるようなスペースがある場合で、通常のアプリケーションでは稀なケースと言えるでしょう。一方で、ファンとベントの欠点は、埃や異物がデバイス内部へ入り込み、システムの信頼性を低下させる可能性があることです。

認証

自動車に求められる性能と信頼性を満たすことはとても難しいことです。自動車の各認証制度は、特定のアプリケーションに対するシステムの適合性を、客観的かつ測定可能な要素で示し、評価をするという意味で、ファンダメンタルな役割を果たしています。E-Mark、ECE ONU R10、ISO 16750、IEC 60068-2-6/60068-2-27などの自動車認証では、実際の走行中にかかるシステムへの負荷に対して、システムが持つべき性能や特徴をまとめています。

システムのコンパクト化

前述の通り、車載システムの物理的なサイズは、データロガーが搭載できるように可能な限り小さくする必要があります。空冷システムの場合、狭い車内スペースがネックとなることが多々あり、その解決策としてデザインがコンパクトにできる液体冷却式への切り替えが考えられます。液体冷却は電気自動車を含むほぼすべての自動車で採用されている技術ですので、既存の車内インフラの一部を再利用できる上、動力源をより効率的にするというメリットがあります。

DynaCOR 40-34: Breaking Every Record

これまで25年にわたり、Eurotechは最先端の性能と信頼性を求めるお客様にHPC（High Performance Computing）とHPEC（High Performance Embedded Computing）のソリューションを提供してきました。その最新の製品ポートフォリオは、高度に洗練されたフィールド・コンピューティング・アーキテクチャーの構築を可能にする、さまざまなデバイスから構成されています。

- DynaCOR 50-35: AI及び高性能演算に対応した堅牢型コンピューティング・ユニット
- DynaCOR 40-34: 堅牢型ストレージ/ロギングユニット
- DynaNET 100G-01: 堅牢型16ポート・イーサネットスイッチ（16x 40/56/100GbE）
- DynaNET 10G-01: 堅牢型52ポート・イーサネットスイッチ（48x 1GbE + 4x 10GbE）

以下では、最高水準の性能且つ堅牢型の多目的デバイス、DynaCOR 40-34を中心に説明します。

DynaCOR 40-34の基本仕様は以下の通りです。

- ストレージ容量: 16TB NVMe（7.68TB×2）
- Read: 6.1Gbyte/s（シーケンシャル）
- Write: 4.4GB/s（ピーク）、4.0 GB/s（シーケンシャル - ワークロード）
- ネットワーク: 2x 40/56Gb/sイーサネット

- CPU: Intel Xeon E3-1281v3 @3.70GHz
- GPU: Nvidia GTX 1050Ti
- 消費電力: 最大350W
- 液体冷却機構
- ドッキングステーション・オプション
- サイズ: 157x162x455mm (HxWxD) – ドッキングステーションを除く
- 認証:
 - CE
 - E-Mark
 - ISO 16750
 - IEC 60068-2-6
 - IEC 60068-2-27

DynaCOR 40-34: 内部アーキテクチャー

DynaCOR 40-34の特長は、データフロー上にボトルネックを生じさせない合理化されたアーキテクチャーです。コアとなるのは計96レーンの第3世代PCI Expressスイッチ機能で、全コンポーネント間の通信をルーティングします。トポロジーは極限まで簡素化され、各デバイスはそれぞれx16レーンに接続、受信データストリームの帯域幅（2x 56Gb/s 或いは理論上で約14GB/s、実力値で約10GB）に沿ったおよそ13GB/sのネットワーク・トラフィックに対応しています。

NICとNVMe間のDMA（ダイレクト・メモリアクセス）は、ボトルネックを解消し、他のタスクからCPUをオフロードにします。例えば、RAIDセットの構成や、ミドルレンジまでのワークロード実行に使用できます。また、GPUも搭載されているので、受信または格納データで高度な推論モデルを実行させることも可能です。

DynaCOR 40-34は、お客様毎の幅広いニーズに（プロフェッショナル・サービスとして）応えることを目的に設計されています。例えば、オプションの一つである拡張ベイは、標準PCIeカードのホストとしてフィールドバス・インターフェイス、アクセラレーター、ストレージの他、ユーザー独自のハードウェアやさまざまな機能をサポートしています。

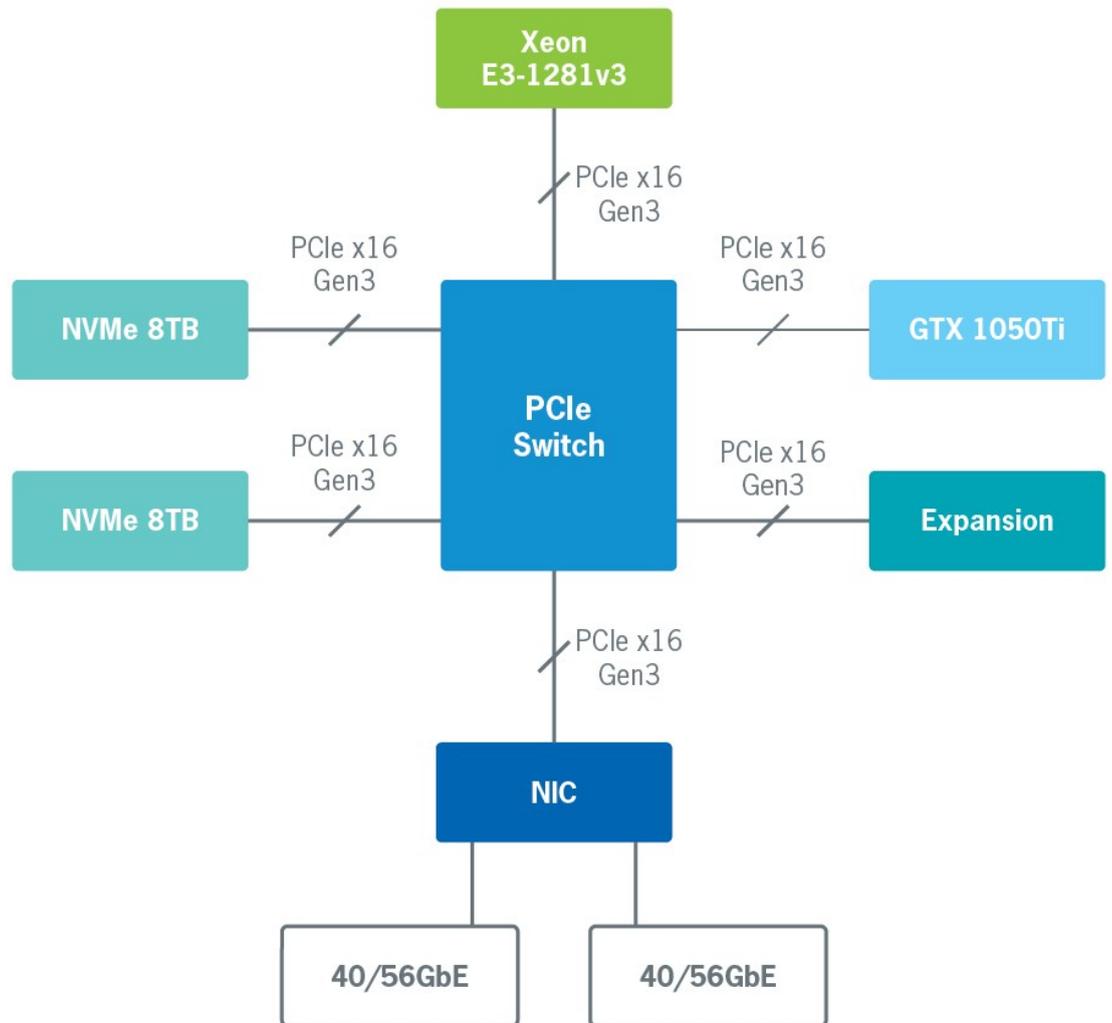


図1. DynaCOR 40-34: 内部アーキテクチャー

レベル5自動運転: システムアーキテクチャー

このセクションでは、どのようにしてEurotechのHPECシステムを自動運転の堅牢アプリケーション・アーキテクチャーへと落とし込み、かつてない高いレベルの性能が実現されるのかを説明したいと思います。DynaCOR 40-34と同様、以下に挙げるものはすべて液体冷却方式の製品です。車載向けのアプリケーションとして認証済で、ユーザー・アプリケーションへのシームレスなインテグレーションを可能にします。

スタンドアロン・アーキテクチャー

この事例では、DynaCOR 40-34がDynaNET 10G-01経由で多数の車載センサからデータストリームを受信し、合理的且つ高性能なデータロギングを実行しています。40GbEバックボーンと最大48x1GbEのデータソースといった、非常にバランスの取れたアーキテクチャーです。このセットアップは、実際に使用されている自動車を最小限の改造に留め、その走行条件を元に車両と周囲環境のデータセットを収集したいお客様にとって、とても大きなメリットがあります。この認証取得済のDynaCOR 40-34とDynaNET 10G-01は超小型であるため、一般小型車のトランクのほんの一部を使用すれば設置することができます。

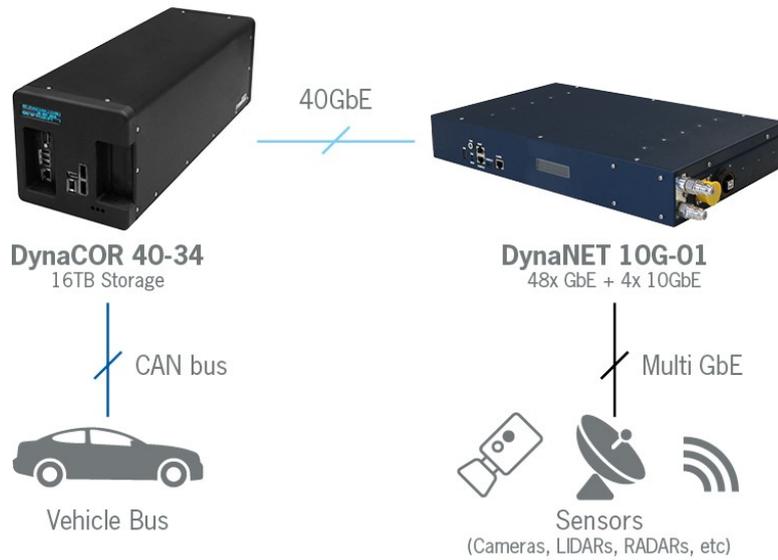


図2. スタンドアローン・アーキテクチャー

	Number of units	CPU (DP TFLOPs)	GPU (FP32 TFLOPs)	Storage (TB)	Bwidth (GbE)	Volume (m ³)	Weight (Kg)	Peak Power (W)
DynaCOR 40-34	1	0.8	2.1	16.0	112	0.01	11	450
DynaCOR 50-35	0	0.0	0.0	0.0	0	0.00	0	0
DynaNET 100G-01	0				0	0.00	0	0
DynaNET 10G-01	1				88	0.01	5	70
Totals	2	0.8	2.1	16.0	200	0.02	16	520

表1. アーキテクチャーの機能の概要 (DYCOR-40-34-02、DYNET-10G-01-01)

データプロセッシングアーキテクチャー

次の事例は、上記で紹介したスタンドアローン・アーキテクチャーのロギング機能にスケーラブル・コンピューティング機能を追加し、車載エッジAIを可能にする2つの新しいビルディング・ブロックを導入したものです。DynaCOR 50-35は、自動運転用エッジAI及びディープラーニング・アルゴリズムをサポートする、かつてないコンピューティング機能を持った堅牢なHPECサーバーです。また、DynaNET 100G-01は、双方向の大規模データを送信できる高性能100GbEイーサネットスイッチです。

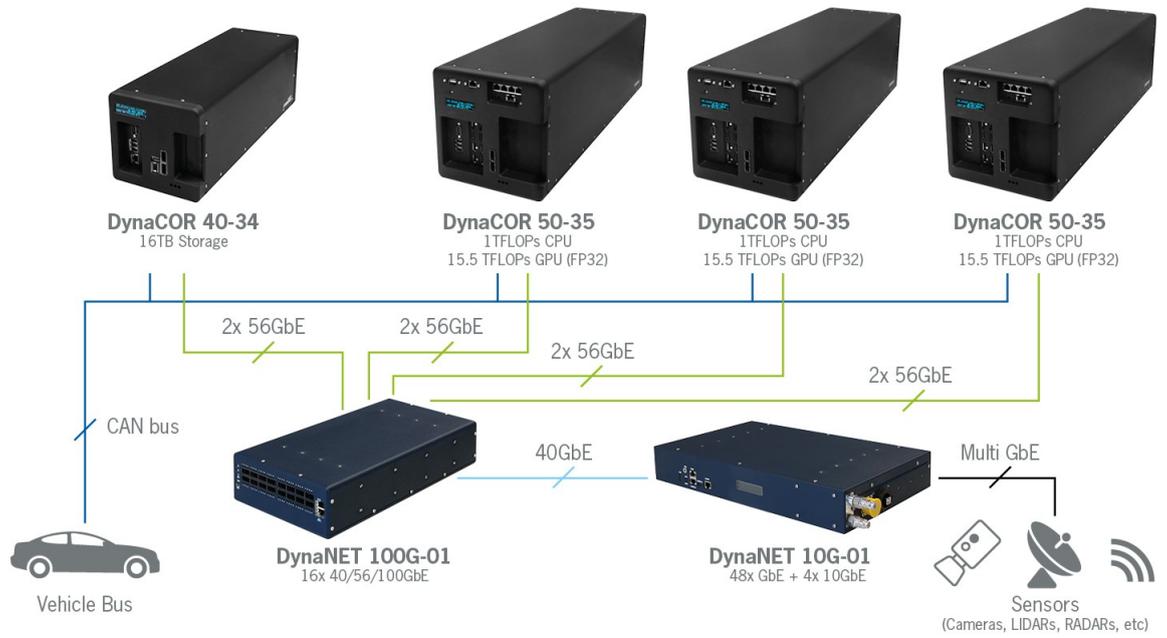


図3. データプロセッシングアーキテクチャー

	Number of units	CPU (DP TFLOPs)	GPU (FP32 TFLOPs)	Storage (TB)	Bwidth (GbE)	Volume (m ³)	Weight (Kg)	Peak Power (W)
DynaCOR 40-34	1	0.8	2.1	16.0	112	0.01	11	450
DynaCOR 50-35	3	3.0	46.5	1.5	336	0.09	60	3000
DynaNET 100G-01	1				1600	0.01	6	210
DynaNET 10G-01	1				88	0.01	5	70
Totals	2	3.8	48.6	17.5	2136	0.12	82	3730

表2. アーキテクチャーの機能の概要 (DYCOR-40-34-02、DYCOR-50-35-02、DYNET-100G-01-01、DYNET-10G-01-01)

この例ではDynaNET 10G-01がセンサからのデータストリームを集計し、バックボーンのDynaNET 100G-01へと情報を送ります。この構成では、すべてのDynaCORが2x56GbEリンクを使用しており、デバイス当たり112Gb/sというダイナミックな帯域幅を割り当てることができます。連続するリアルタイムのセンサ・データストリーム（最大40Gb/s）は1台目のDynaCORインタフェースに向けられ、2台目のDynaCORはタスクとメッセージを実行するという考え方は理にかなっていると言えるでしょう。

DynaNET 100G-01とDynaNET 10G-01の優れた特長はレイヤー3のネットワーキングで、これにより非常にこまやかなトラフィック管理が可能となります。これはレイテンシーを最小化し、アーキテクチャー全体の運用劣化を引き起こすデータ・スタベーションや同様のネットワークの不具合を避け、データストリームが正しいデバイスに向けられることを確保する上で極めて重要です。

DynaNET 100G-01には、40/56/100Gb/s対応の16ポートがあり、DynaCOR 40-34とDynaCOR 50-35は共に40/56Gb/sのデュアルインタフェースを持っているため、40/56Gb/sのリンクを持つ最大15台のDynaCORまたは80/112Gb/sのリンクを持つ最大7台のDynaCORと組み合わせることができます。40GbEのリンクを1~2使用する場合は、1~2台のDynaNET 10G-01に接続されたセンサ・ネットワークにリーチすることができます。

また、ビルディング・ブロックを組み合わせることで、（16台のストレージデバイスを使用した）最大256TBのNVMeストレージや、最大16TFLOP（CPU）+ 248TFLOP（GPU、FP32）の処理性能、あるいはその間のいずれかといった極めて高度なコンフィギュレーションが可能です。これにより、オンボードでのエッジAIとディープラーニングによる大規模データ処理が実現します。

DynaCORはそれぞれ2xGbEインタフェースを備えており、上記のような極端なケースでもセンサへの直接接続が可能であることは特筆に値します。さらに、DynaCOR 50-35とNVMeストレージとを組み合わせると言った、よりフレキシブルなコンフィギュレーションも可能です。

冗長アーキテクチャー

最後の例では、スイッチを2台追加することにより、どのような冗長化アーキテクチャーが実装できるかを表しました。ここでは単純化したアプローチで、実際の冗長性を完全に反映しているわけではありませんが、それでも普通自動車の物理的な制限（車内スペース、走行条件、総許容電力など）がある中で、非常に高度なコンピューティングやストレージ・インフラが構築できる様子を示しています。

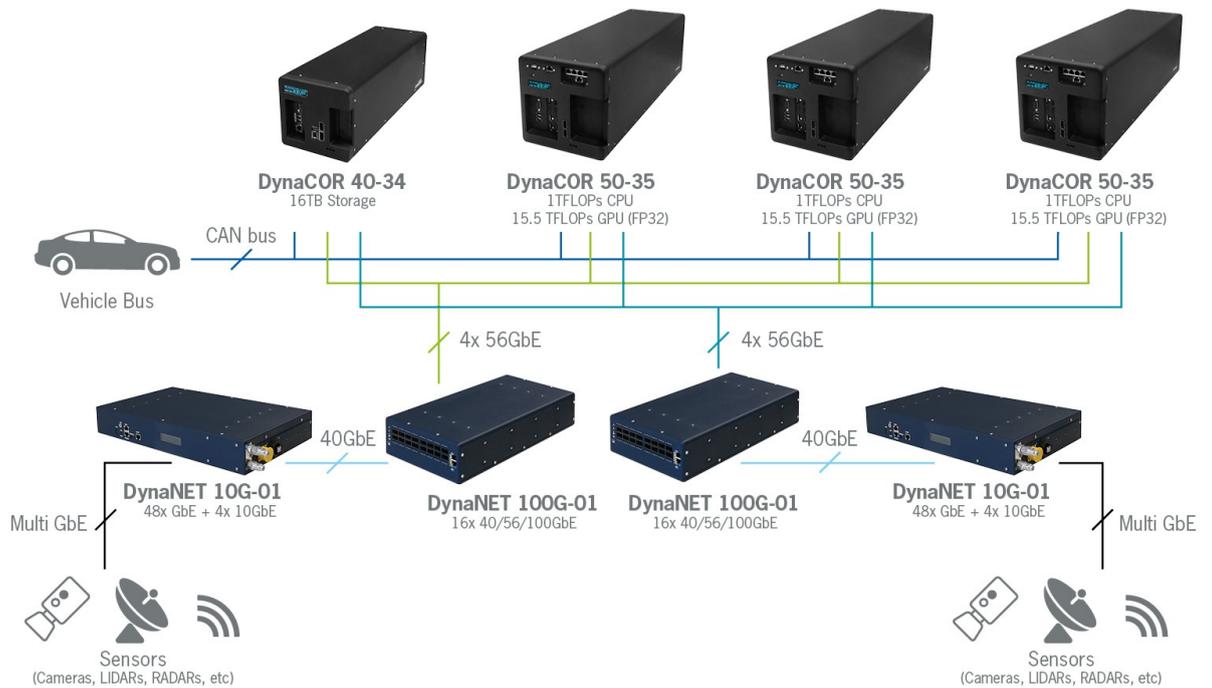


図4. 冗長アーキテクチャー

	Number of units	CPU (DP TFLOPs)	GPU (FP32 TFLOPs)	Storage (TB)	Bwidth (GbE)	Volume (m ³)	Weight (Kg)	Peak Power (W)
DynaCOR 40-34	1	0.8	2.1	16.0	112	0.01	11	450
DynaCOR 50-35	3	3.0	46.5	1.5	336	0.09	60	3000
DynaNET 100G-01	2				3200	0.01	12	420
DynaNET 10G-01	2				128	0.02	10	140
Totals	8	3.8	48.6	17.5	3776	0.13	93	4010

表3. アーキテクチャーの機能の概要 (DYCOR-40-34-02、DYCOR-50-35-02、DYNET-100G-01-01、DYNET-10G-01-01)

液体冷却方式

現在、ほとんどの自動車には液体冷却式のインフラが実装されています。電気自動車の場合も同じで、高密度のバッテリーパックは液体冷却方式です。理由としては高効率、高信頼性、サイズのコンパクト化、優れたレジリエンスなど、枚挙にいとまがありません。また、液体冷却方式はレーザーなどのパワーエレクトロニクスや加工機その他、多くの産業用装置でも用いられているソリューションです。

Eurotechは25年以上に亘り堅牢型のHPCシステムを提供している、業界でも数少ない企業の一つです。液体冷却ソリューションや特許技術に加え、現場で培った幅広い実績があります。

例えばDynaCORシリーズは、その台数や既存の車内インフラの容量に応じて、油圧システムをレバレッジできます。外部温度40℃で1台のユニットを冷却するのに必要な流量は、2barの作動圧状態で2L/mに過ぎません。

また、DynaCOR 40-34は最大450Wを消費しますが、冷媒出口の温度上昇はわずか1～3℃です。つまり冷媒入口温度を40℃とした場合、冷却回路に戻った際の温度はせいぜい41～43℃と、システム全体への負荷を少なく抑えられます。

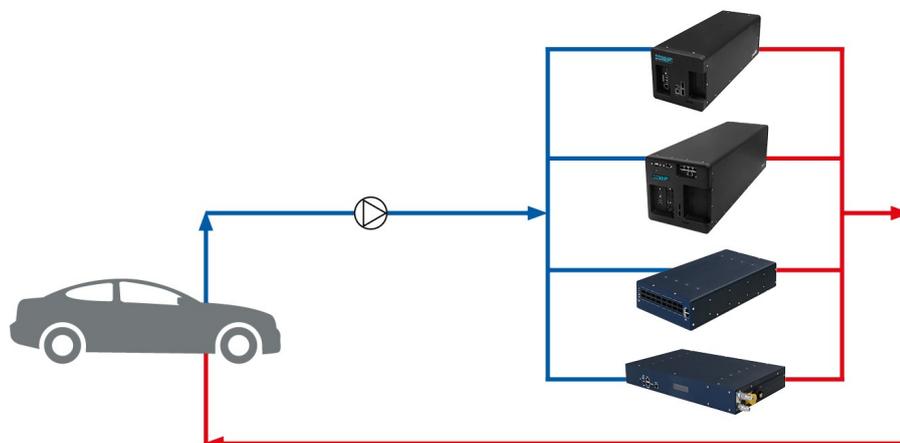


図5. 液体冷却回路

まとめ

レベル5完全自動運転を実現するには、従来のエンベデッド技術では想像もできないような、前代未聞とも言える数々の課題への克服が求められます。コンピューティング性能、ストレージ容量、そしてネットワーク帯域幅において、ほとんどの企業が、それまで自社の堅牢型デバイスで実現していた性能をはるかに上回らなければなりません。

Eurotechは、HPC開発で培った堅牢型コンピューティングの幅広い実績を活用し、HPECのシステム・ポートフォリオを完成させました。これらの高性能・堅牢型・認証取得済のシステムは「車上データセンター」を創造・実現します。