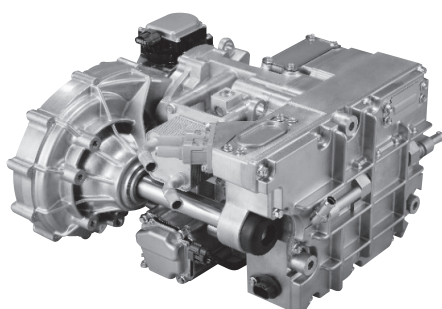


三位一体形駆動ユニット メイデンイーアクスル MEIDEN e-Axleの開発

上村 清 Kiyoshi Uemura

キーワード 統合化, 油冷モータ, 高出力密度, e-Axle

概要



MEIDEN e-Axle

近年、需要の拡大が見込まれる電動パワートレインとして、e-Axleが注目を集めている。これは、モータ・インバータ・ギヤを一体化したもので、スペース効率の向上・車両開発期間の短縮が期待できる。

当社は、車両搭載要件や市場動向を調査し、トップクラスの小型・軽量と高い連続定格出力の三位一体形駆動ユニットメイデンイーアクスル MEIDEN e-Axleを開発した。高速モータと高ギヤ比を組み合わせ、平角巻線・自己循環式油冷システムなどを採用し、リア搭載時は低背化によって3列シートを実現する。

また、車軸出力の評価や走行シミュレーションが行える電気自動車 (EV) パワートレイン用評価システムも開発した。

1 まえがき

e-Axleとは、電動車両の駆動で必要とされるモータ・インバータ・ギヤ（減速機・デフ）など、従来個別にレイアウトされていたものを一体化したものである。当社は、三位一体形駆動ユニットメイデンイーアクスル MEIDEN e-Axleを開発した。一体化することで小型・軽量化を実現し、スペース効率の向上・電費（電気自動車〈EV〉の燃費）改善に貢献する。このようなことから、今後急速に需要の拡大が見込まれている製品である。本稿では、MEIDEN e-Axleの特長・仕様のほか、e-Axleの評価システムを紹介する。

- (1) 搭載想定車両はCセグメント（ミディアムカー・EVの中心クラス）
- (2) 車両搭載性を考慮して軽量・コンパクト化することで、前輪駆動（FWD）・後輪駆動（RWD）・四輪駆動（4WD）・プラグインハイブリッド車（PHEV）などへ適用可能（高い汎用性）
- (3) 低背による低重心化、中間シャフト標準装備によるトルクステア^(注1)の解消（車両運動特性の向上）
- (4) 高い連続定格出力を実現し、登坂や高速巡航などの性能を向上（実用性能の向上）
- (5) 車軸まで含めた評価システムを導入し、車両試験での手戻りを解消（お客様の開発期間短縮）

2 特長

MEIDEN e-Axleの特長は、以下のとおりである。

3 仕様

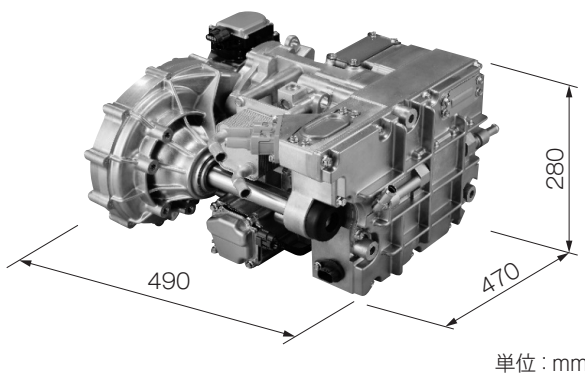
第1表にMEIDEN e-Axleの性能・仕様を、第1図に外形寸法を、第2図にCセグメント用

第1表 性能・仕様

開発製品の性能・仕様を示す。

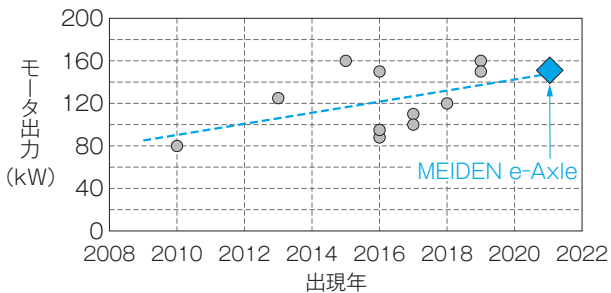
項目	MEIDEN e-Axle
最大出力*1	150kW
最大トルク (モータ)*1	3120N・m (260)
連続定格出力	100kW
連続定格トルク (モータ)	1680N・m (140)
最高回転速度 (モータ)	1333min ⁻¹ (16,000)
減速比	12.0
質量	78kg
寸法	W470×H280×L490mm

注. *1. 30s定格



第1図 外形寸法

開発製品の寸法を示す。



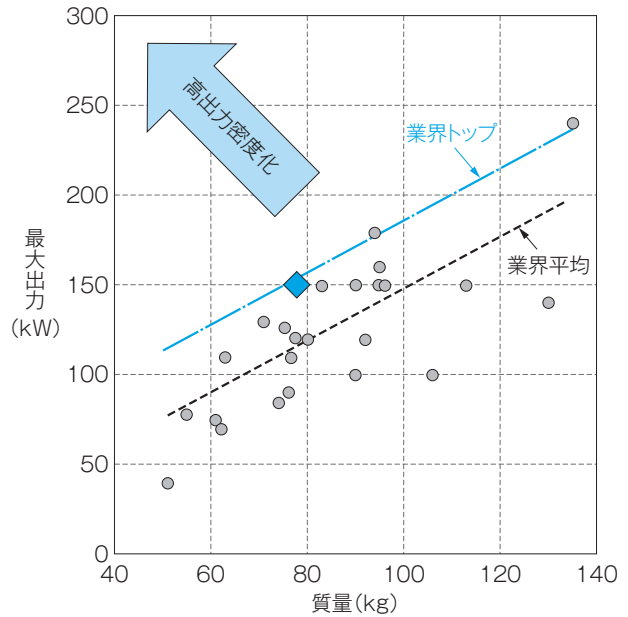
第2図 Cセグメント用モータ出力動向

年々出力が上昇傾向にあることが分かる。

モータ出力の動向を示す。搭載車両はEV化の中心となるCセグメントを想定し、最大定格出力は、近年の他社製品動向から150kWとした。連続定格出力は実用性能を重視し、トップクラスにあたる100kWとした。

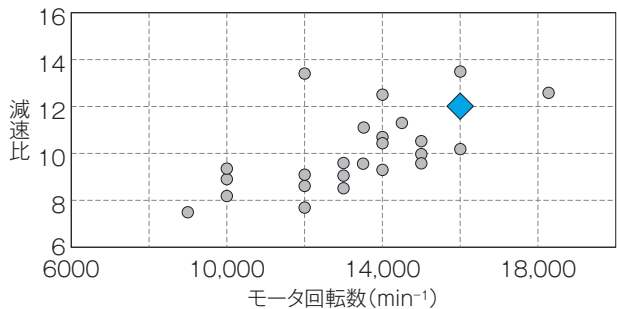
3.1 トップクラスの小型・軽量化

軽量化は効率同様、電費に影響を及ぼす重要な要



第3図 各社e-Axle出力と質量

他社製品の質量と出力の関係を示す。グラフの左上は出力密度が優れていることを示している。MEIDEN e-Axleの出力密度が業界トップクラスであることが分かる。



第4図 各社e-Axleモータ速度と減速比

各社のモータ回転速度と減速比の関係を示す。

因である。第3図に各社e-Axleの出力と質量を示す。破線は他社e-Axleの分布傾向、一点鎖線は分布傾向から想定した最軽量ラインを示す。

3.1.1 高回転・高減速比

第4図に各社e-Axleのモータ速度と減速比を示す。現行のモータと減速機では10,000～12,000min⁻¹、ギヤ比10程度の組み合わせが多い。しかし、モータの高回転化と高いギヤ比を同時に採用することで、同じ車軸トルクを得ることができる。この場合、モータに求められるトルクは低いいため、モータを小型・軽量化できる。前述のメリットと実現に伴う課題を精査した結果、モータ回転数を16,000min⁻¹、ギ

ヤ比を12とした。

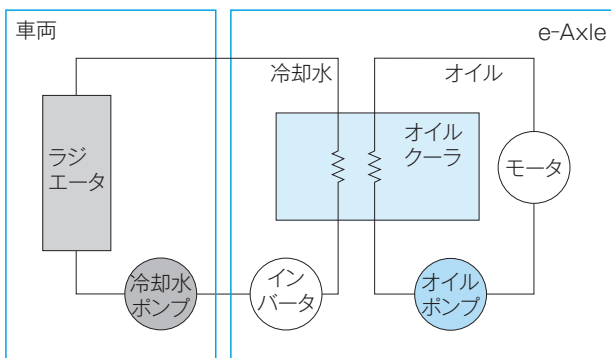
3.1.2 自己循環式油冷モータ

モータを油冷方式とすることで小形化し、連続定格出力100kWの高出力を実現した。冷却油の循環システムを本製品内に組み込んだ自己循環式油冷モータとすることで、車両側からの冷却油の供給が不要となり、車両側レイアウトの自由度を高めた。

第5図に自己完結型冷却系統図を示す。車両から供給される冷却水をインバータ冷却とモータ冷却油の熱交換に使用する。内蔵した電動オイルポンプで冷却油を循環させ、モータ内部に噴射することで直接冷却を行う。

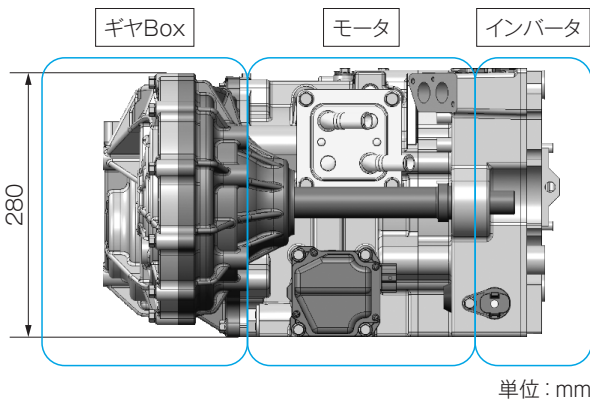
3.1.3 低背（低重心）

第6図に各コンポーネントの配置を示す。モータ・インバータ・ギヤをアキシアル方向に配置することで、クラス最薄形（高さ280mm）を実現した。



第5図 自己完結型冷却系統図

車両から供給される冷却水をインバータ冷却とモータ冷却油の熱交換に使用する。内蔵した電動オイルポンプによって冷却油を循環させ、モータ内部に噴射することで直接冷却を行う。



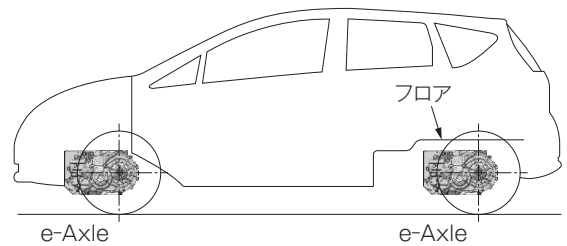
第6図 各コンポーネントの配置

ギヤBox・モータ・インバータの配置構成を示す。

自動車の構造上狭いとされるリアフロア下に使用した場合も、荷室を低床化（低背化）でき、3列シート車にも搭載できる。車両の低重心化による走行安定性にも寄与している。第7図に車両搭載イメージを示す。

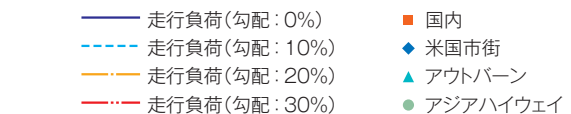
3.2 高連続定格出力

同クラスの製品では、連続定格50～80kWが多いが、高速域では連続走行ができず、100km/h付近でも動力運動性能に余裕がないことが想定される。登坂や高速巡航などの実用性能を考慮し、連続定格を100kWに設定した。第8図に駆動トルク・走行負荷曲線を示す。最大トルク・連続定格トルク・勾配ごとの走行負荷曲線を各特性カーブで、世界各国に存在する道路の制限速度と道路設計基準勾配から求められる走行負荷をドットで表している。連続定格トルクカーブの内側（左下側）は連続走行が可能



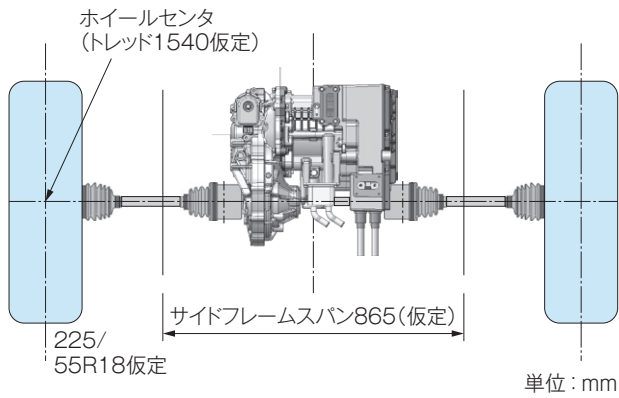
第7図 車両搭載イメージ

車両側面からみた搭載イメージを示す。製品が低背のため、3列シート車のリア側にも搭載できる。



第8図 駆動トルク・走行負荷曲線

車軸連続定格トルク・勾配ごとの走行負荷曲線・ドットは、各国に存在する道路の制限速度と走行負荷を示す。



第9図 車両搭載関係図

タイヤ・車軸・開発製品の搭載関係図を示す。車軸は左右等長である。

であることを示す。これにより、MEIDEN e-Axle は最高速度165km/hで世界中の道路を連続走行でできることが分かる。

3.3 中間シャフト標準装備

e-Axle（平行軸ギア式）ではデフセンタと製品センタが一致していないため、ドライブシャフトが不等長となる。中間シャフトを標準装備することで、e-Axleを車体センタに配置した場合でも左右のドライブシャフトを等長化し、トルクステアを解消する。第9図に車両搭載関係図を示す。

4 構成部品

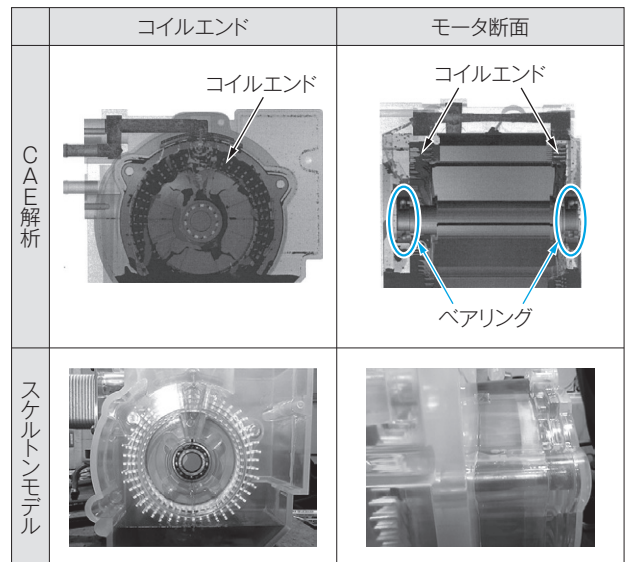
4.1 モータ

モータ形式は永久磁石同期電動機とし、ステータ巻線には小形化できる平角線を採用した。高い連続定格出力を実現するためには、相応の冷却能力が必要である。冷却油の流体解析、モータから冷却油への伝熱解析を行い、油冷システムの最適化を図った。第10図に冷却油流体解析と実証実験を示す。CAE（Computer Aided Engineering）解析とスケルトンモデルによる実際の油流れの比較結果の一例である。

4.2 インバータ

4.2.1 構造

小形システム化を実現するために、インバータを



第10図 冷却油流体解析と実証実験

CAE解析とスケルトンモデルによる実際の油流れの比較結果の一例を示す。

モータ近傍に搭載する必要があるが、モータから発生する発熱でインバータ内部の電子部品は、厳しい温度環境にさらされる。

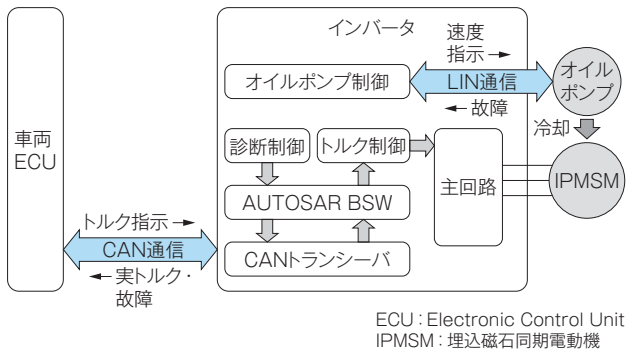
これらの課題に対し、インバータ内部部品で最も発熱するIGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）は直接水冷方式を採用し、かつモジュール内のチップ温度が均等になるように冷却最適水路を実現した。また、平滑コンデンサ・電流センサ・制御基板は筐体を通して放熱する構造のため、冷却効率を高め内気温度を低減した。

4.2.2 制御

トルク指示・診断情報などを取り扱うCAN（Controller Area Network）通信は、業界標準であるAUTOSAR準拠の通信ソフトを装備する。これにより、短期間で信頼性の高いシステムを構築でき、お客様の個別要求に合わせてカスタマイズできる。第11図に制御ブロック図を示す。

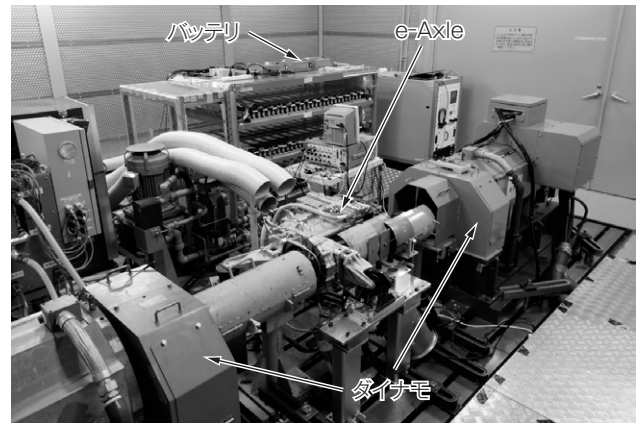
4.3 ギヤ

第12図に3軸ギヤ構成図を示す。ギヤBoxは効率の良さから同軸ではなく平行軸を、設定ギヤ比とレイアウトの良さから3軸式を採用した。ギヤBox単体でもクラストップの軽量化を達成した。



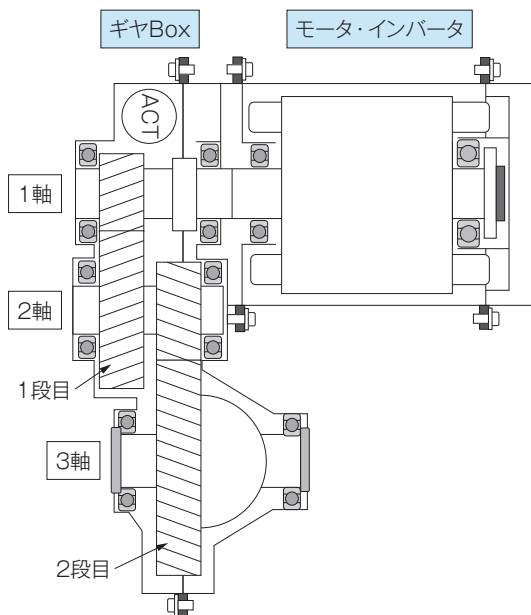
第11図 制御ブロック図

車両コンピュータのトルク指示が、モータへの電流指示となるまでの制御ブロックを示す。



第13図 EVパワートレイン評価システム全景

太田事業所内のEVパワートレイン評価システムの全景を示す。



第12図 3軸ギヤ構成図

3軸ギヤの構成を示す。

動力計を連結したEVパワートレイン評価システムを構築し、当社太田事業所のダイナモメータ研究開発棟で運用している。第13図にEVパワートレイン評価システムの全景を示す。

本システムでは、実際の車軸を使いギヤも含めたe-Axleアッセンブリ状態での動力性能を評価できる。また、実際の車載用バッテリー・VCU（車両制御ユニット）・走行シミュレーションソフトCarSimを備えている。これにより、実走行を想定した電費計測、波状路・低μ路での走行状態や坂道でのパーキングロックの機能確認などを再現できる。

e-Axleとその評価システム、さらには走行シミュレーション結果（評価結果）を併せて提供することで、お客様の技術開発のスピードアップ及び品質・安全性の向上に貢献する。

4.4 パーキングロック

車両には駆動軸をロックするパーキングロック機構を備える必要がある。e-Axleにパーキングロックを搭載することで、更なるスペース効率の向上とお客様の開発期間の短縮を実現できる。

5 評価システム

当社は、駆動モータとその評価システム（動力計システム）を製造・販売している。e-Axleの評価では、デフレンシャルギヤ左右の駆動軸に吸収

6 むすび

今回の開発を通して、以下の成果を得た。

- (1) トップクラス出力密度（質量・容積）と連続定格
- (2) リア搭載時も低背化による3列シートの実現など、汎用性の高い搭載設計
- (3) EVパワートレイン評価システムによって、e-Axleでの車軸出力の評価及び車両走行シミュレーション試験を実現

今後は、搭載レイアウトなどお客様の要望にお応えし、早期量産化を図り、100kW・200kWのラインアップを拡充していく所存である。

- ・CANは、ROBERT BOSCH GmbHの登録商標である。
- ・AUTOSARは、アウトザール・ゲゼルシャフト・ビュルゲルリッヒェン・レヒツの商標である。
- ・CarSimは、Mechanical Simulation社の登録商標である。
- ・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《注記》

注1. トルクステア：自動車で左右の駆動輪の駆動トルクに差が生じ、ハンドルを切っていないのに車が曲がろうとする現象

《参考文献》

- (1) 親泊真角：Our Miniaturized Inverter for Electric Vehicle, "i-MiEV"：EVTeC2014
- (2) 長森健夫：Development of Motor System for Outlander PHEV：EVTeC2014
- (3) 加計浩明：Development of a High Performance & High Power Density Inverter Integrated Motor Unit：EVTeC 2018

《執筆者紹介》



上村 清
Kiyoshi Uemura

EV事業部開発部
EV用モータ・インバータの設計開発に従事