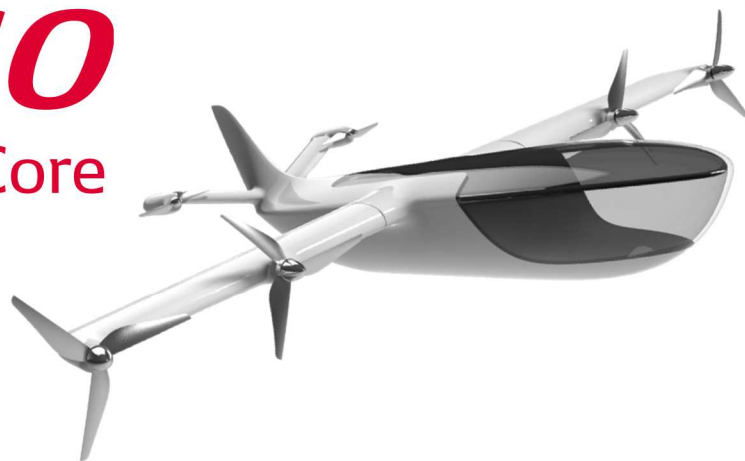


DENSO
Crafting the Core



電動航空機用モータ開発


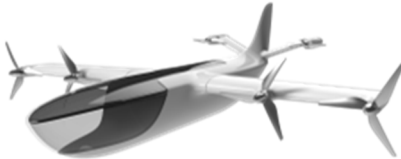
～クルマ用モータと空用モータとの違いについて～

株式会社デンソー
モータ先行開発部
三戸 信二



CONFIDENTIAL
関係者外秘

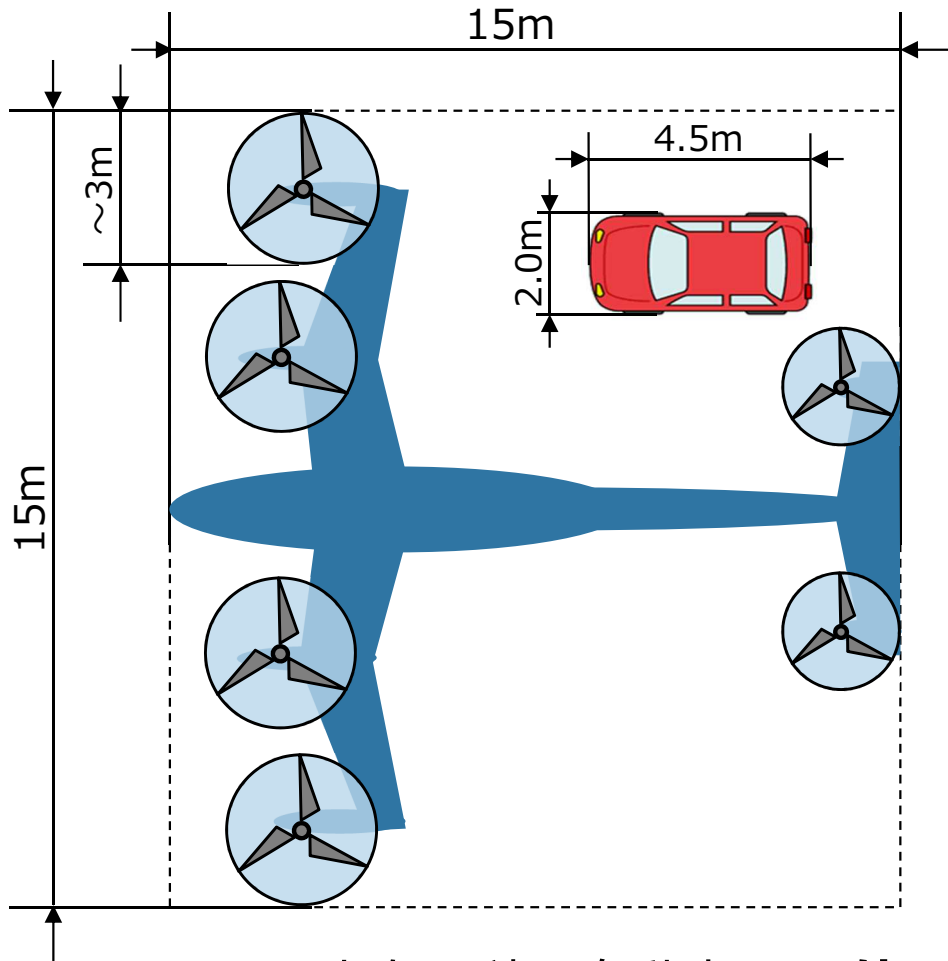
クルマと空の違い～使われ方～

| | クルマ : HV、EV  | 空 : eVTOL  | 重要技術課題 | |
|------------|---|---|--|------------|
| 機体総重量 | ～ 2000kg | 2000kg | ➤ 軽量化 =高トルク密度化 | |
| モータ&INV | 50kg (～2台) | ～350kg(～20台) | | |
| バッテリー | ～ 400kg | ～ 500kg | | |
| システム | 電源電圧 | ～650V _{dc} @現時点 | ～800V _{dc} (将来1000V _{dc}) | ➤ 高電圧対応 |
| | 出力 負荷-速度 | ～数100kW ～200Nm@20krpm | ～数100kW MAX数1000Nm@～2krpm | ➤ 高トルク連続駆動 |
| | 冷却方式 | 水冷 or 油冷 | 空冷 or 水冷 or 油冷 | ➤ 冷却性 |
| 1フライト距離 | ～1500km@HV | ～100km | ➤ 信頼性、冗長性 ➤ 耐故障、メンテ性 | |
| 総フライト距離,時間 | ～30万km,～19年 | ～100万km,～10年 | | |
| 保守 | 基本、無交換 | 定期メンテ、部品交換 | | |
| 安全性 | 重致命故障 なし | Catastrophic故障 $\leq 10^{-9}$ | | |

軽量化 と 信頼性 の両立

クルマと空の違い～体格、重量～

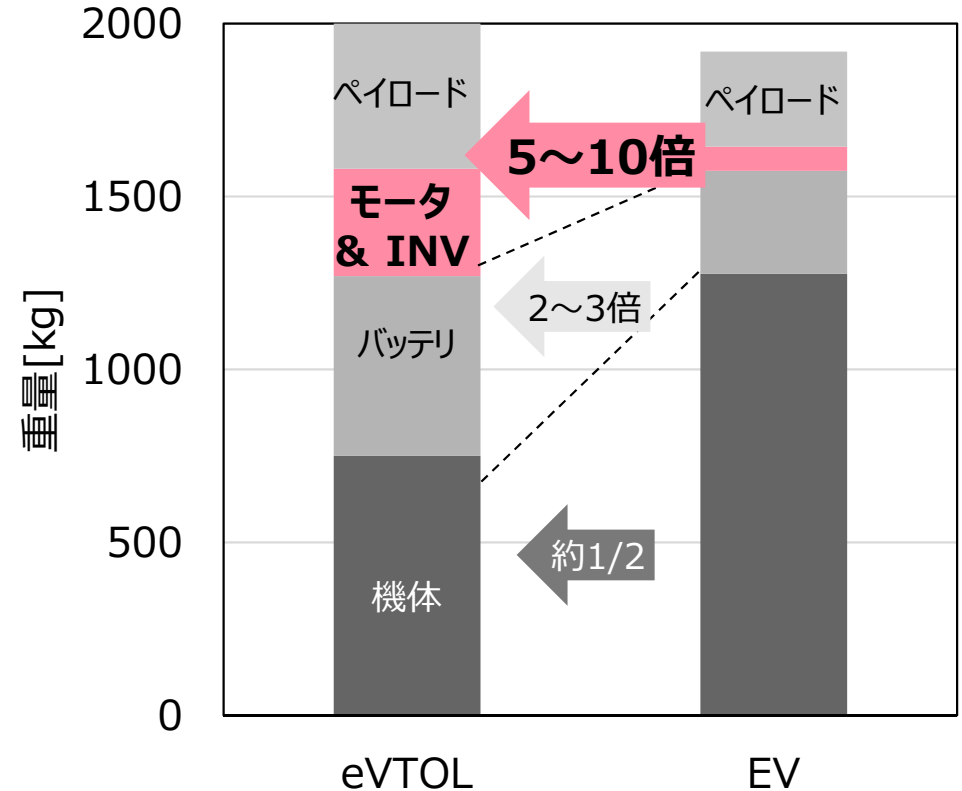
◆体格の比較



eVTOLの占有面積は自動車の**25倍**で
搭載スペースに余裕がある

◆重量の比較

5人乗り想定

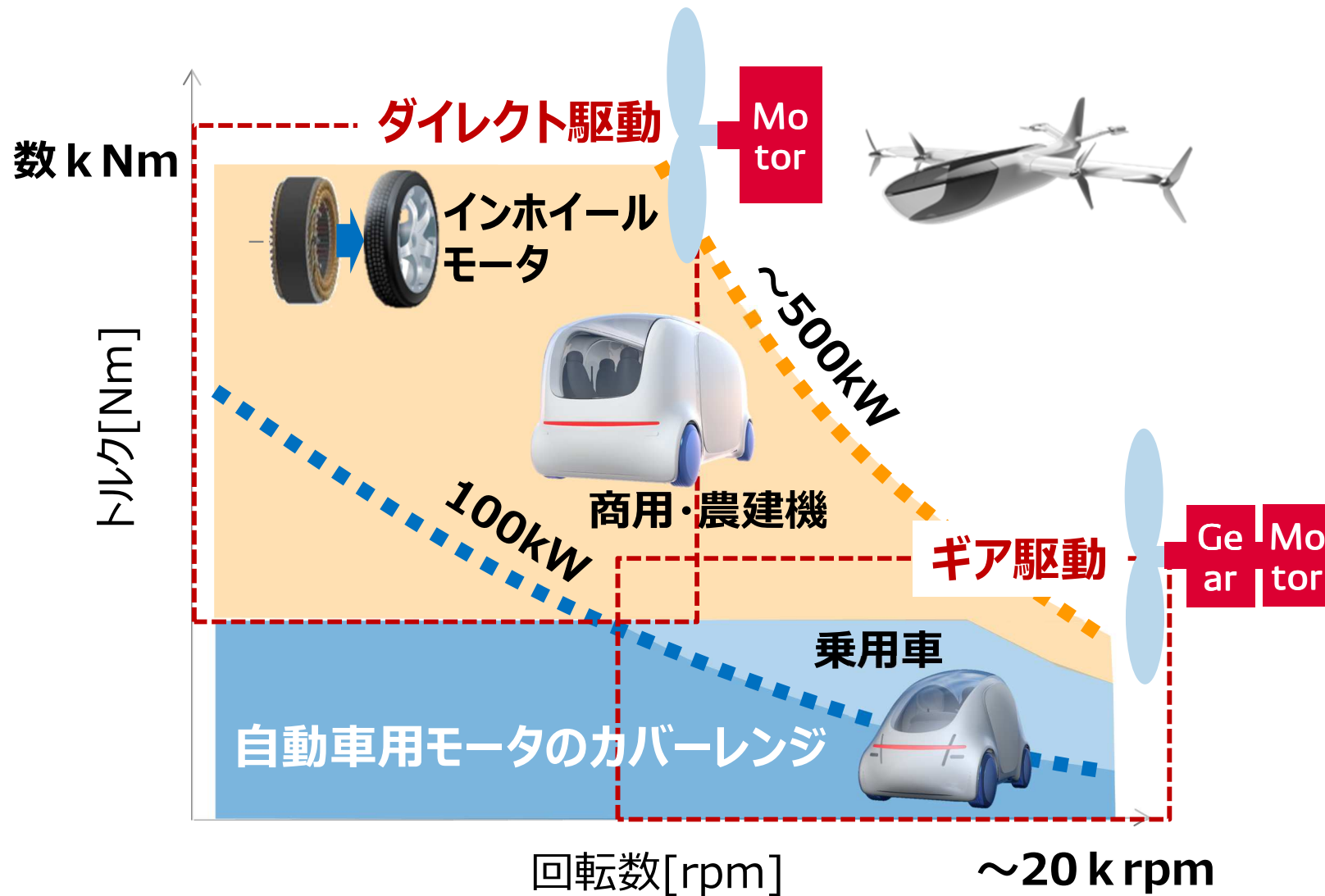


例えば

モータ1台を10kg軽くすると、総重量は60kg減
⇒搭載人数up or バッテリコストdown

モータ&INVの軽量化が重要

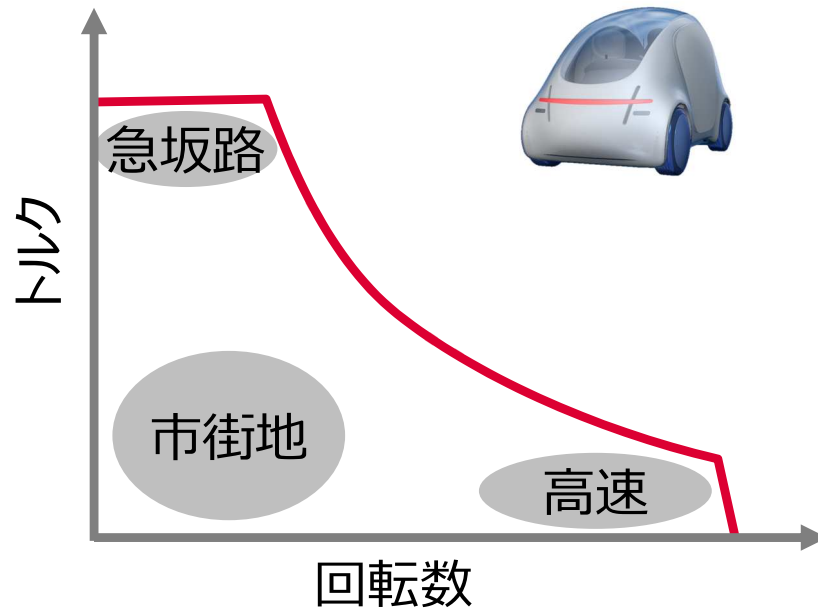
クルマと空の違い～モータの要求出力～



要求されるモータ出力範囲は同等

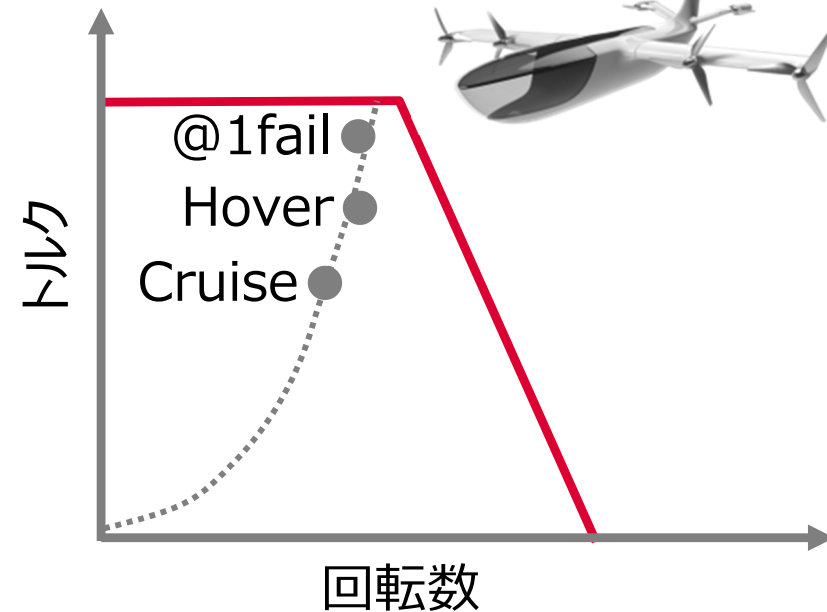
クルマと空の違い～モータのトルク/回転数特性～

◆クルマ用モータ特性カーブ



- **可変速度/トルク** 特性
- **低トルク駆動（市街地）が大半**
⇒ **省燃費≒高効率**

◆空用モータ特性カーブ



- **プロペラ負荷トルク \propto 回転数²** 特性
- **高トルクでの連続駆動**
⇒ **冷却性**
- **緊急時(1fail)の高トルク特性**
⇒ **高信頼性**

モータ要求：軽量化、高トルク、冷却性、高信頼性

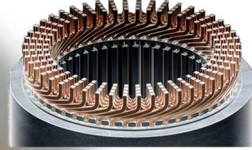
クルマと空の違い～モータ方式_磁気回路～

◆クルマ用モータ

※Segment Conductor

SC※巻

➤ 低NV、小型化

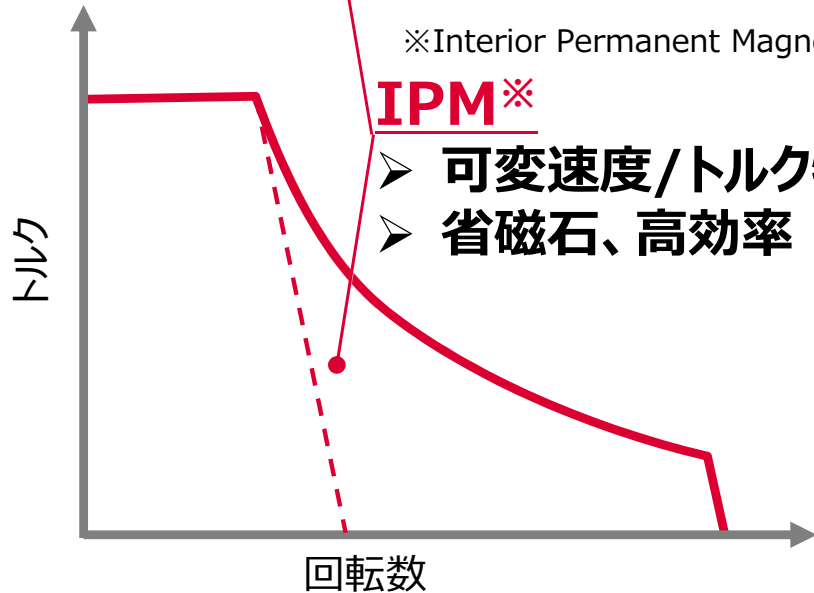


◆空用モータ

※Interior Permanent Magnet

IPM※

➤ 可変速度/トルク特性
➤ 省磁石、高効率



※Surface Permanent Magnet

SPM※

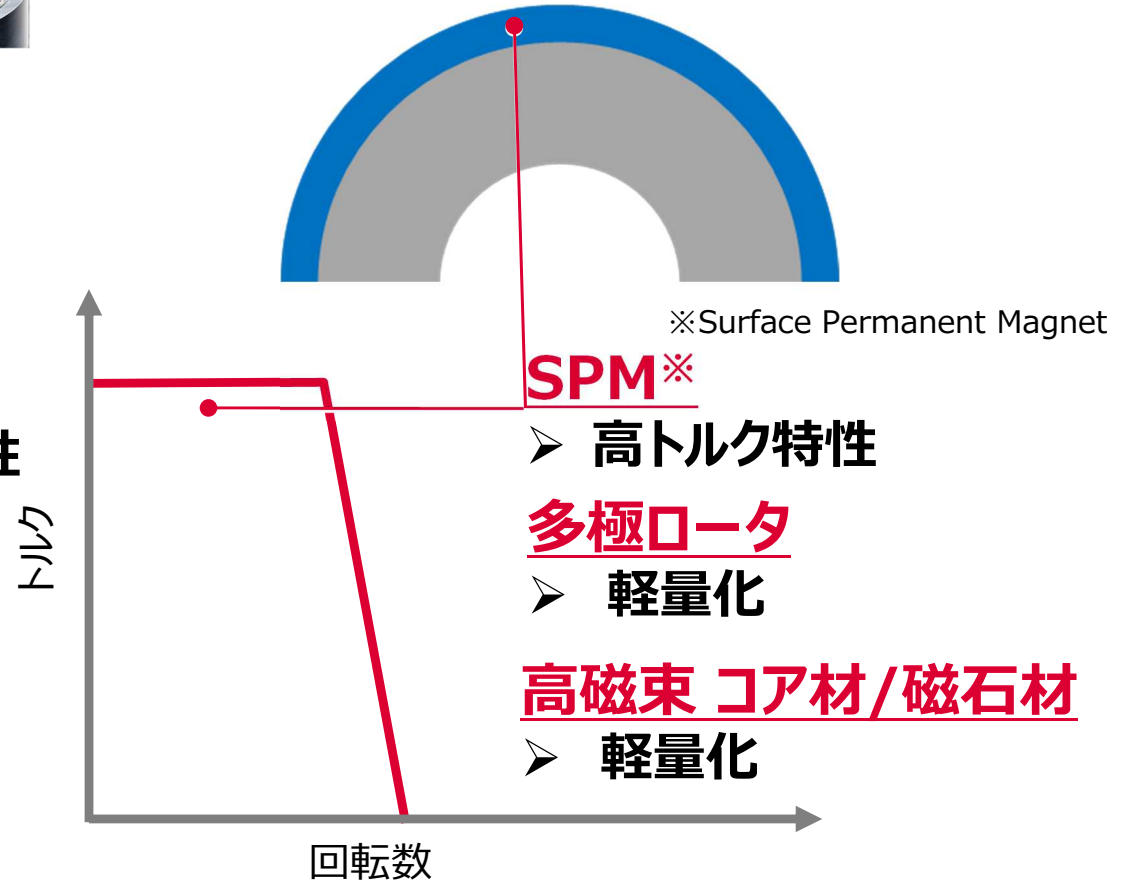
➤ 高トルク特性

多極ロータ

➤ 軽量化

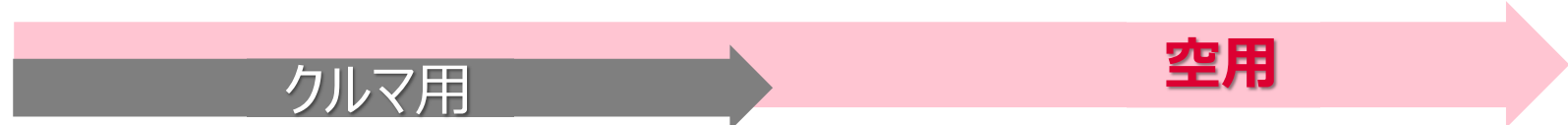
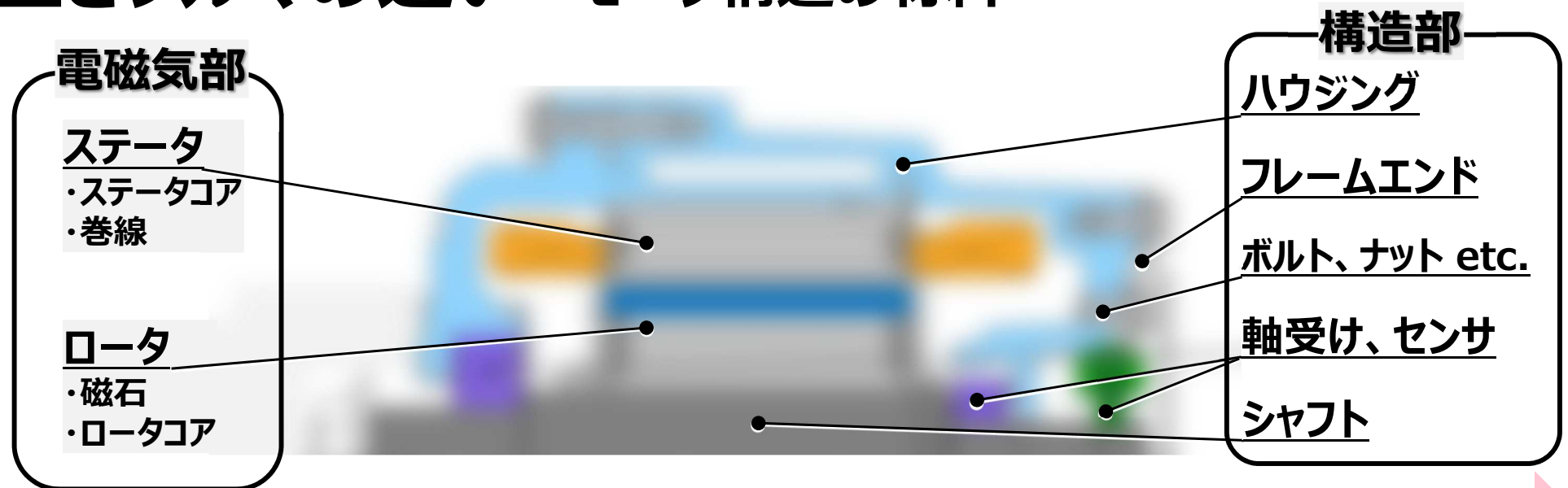
高磁束コア材/磁石材

➤ 軽量化



空用モータには軽量化技術を採用

空とクルマの違い～モータ構造の材料～

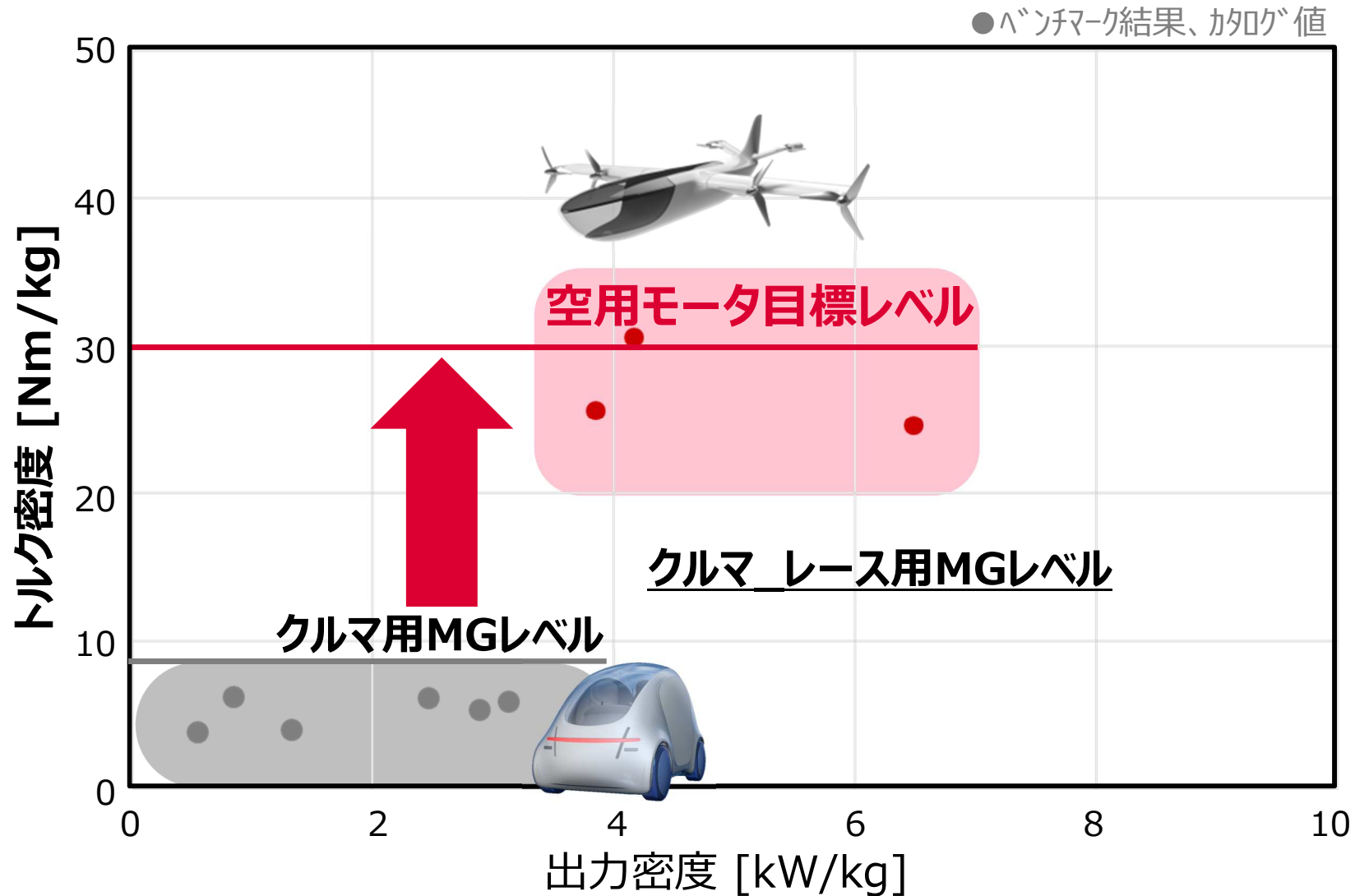


| | | 鉄 (S45C) | SUS (SUS304) | アルミ (A6061) | チタン (Ti6Al4V) | MMC※ (Al/SiC) | CFRP (プリプレグ) |
|------|-------------------|-------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|
| 密度 | g/cm ³ | 7.9 | 7.9 | 2.7 | 4.4 | 2.8 | 1.8 |
| 引張強度 | MPa | 690 | 520 | 309 | 980 | 495 | 2910 |
| 比強度 | kNm/kg | 88 | 65 | 114 | 221 | 174 | 1617 |
| 熱伝導率 | W/mK | 45 | 15 | ~180 | 7.5 | ~150 | ~25 |

※ Metal Matrix Composites

高比強度 & 高熱伝導材料を活用

クルマと空の違い～トルク/出力密度～



クルマの3倍以上のトルク密度

まとめ、今後の展望

今後 電動航空機市場は大きく成長していくと考えられ、その中で、デンソーはこれまで車載で培ったパワエレ技術（モータ/INV）と高品質・高信頼の生産技術を活かして、競争力ある製品を提案していきたいと考えています。

- INV開発（高速&低損失SW etc.）・・・並行して開発中。
- 空用モータでの高品質、高信頼のモノづくり開発
- 更なる材料革新（CNT/超電導 etc.）を活かしたモータ