DENSO
Crafting the Core

# 航空機用電動モータの開発

(株)デンソー
EcoMobilityシステム開発部
中田　真吾

CONFIDENTIAL
関係者外秘

# デンソーが電動航空機に取り組む理由

## - 自動車/地上交通の変化と空の移動革命 -


© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# 地上交通の変化　-パラダイムシフト-

CONFIDENTIAL
関係者外秘

© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# 100年前の出来事　-Before-

CONFIDENTIAL
関係者外秘

**1900年のニューヨーク5番街.**
**人々の交通手段は馬車だった.**


© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# 100年前の出来事　-After-

CONFIDENTIAL
関係者外秘

**T型フォードが発売され、移動手段が馬車から自動車へ様変わり.**
**その後100年、自動車はその本質を維持したまま進化してきた.**


© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# 100年前の出来事　-After-

CONFIDENTIAL
関係者外秘

**内燃機関で走り、閉ざされた環境の中でドライバーが運転し、**
**自動車を所有して使用する.　それが・・・**


© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

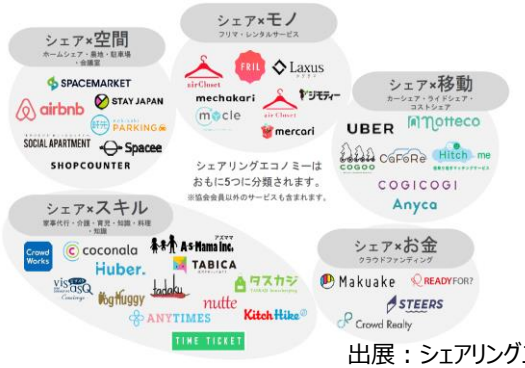
# 社会環境の変化

CONFIDENTIAL
関係者外秘

・**地球環境の変化**
温暖化・大気汚染・都市化

・**テクノロジーの進化**
情報化（ICT）、知能化（AI）

・**価値の多様化、消費行動の変化**
「所有→シェア」




出展：シェアリングエコノミー協会

**社会環境の変化によって地上モビリティは大きく変わろうとしている**


© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# 自動車 - CASE -

CONFIDENTIAL
関係者外秘

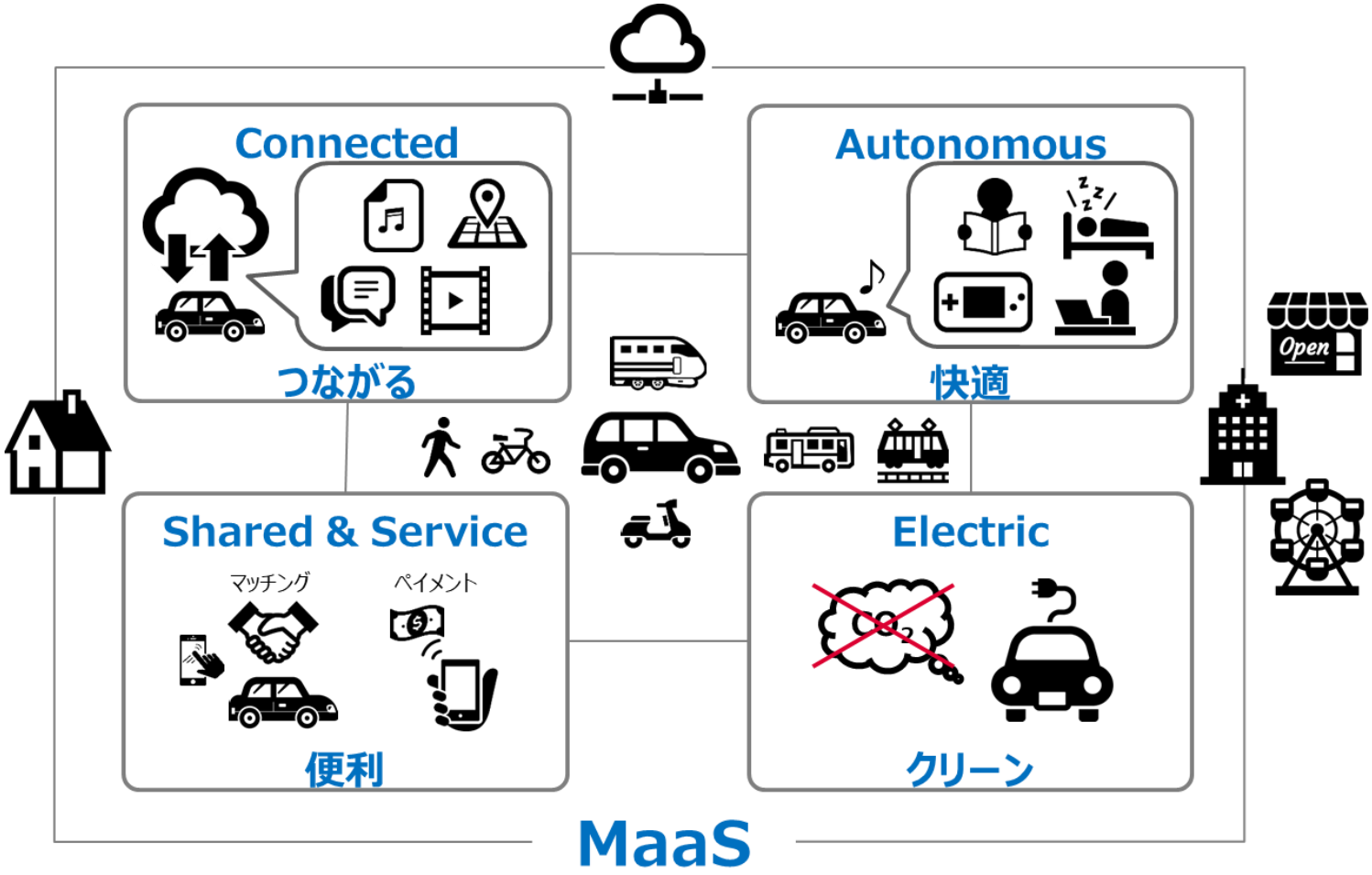
| | |
|---|---|
| Connected | つながる |
| Autonomous | 自動運転 |
| Shared & Services | シェアリング (~~所有~~) |
| Electrification | 電動 |

**技術革新と社会変化にて、T型フォード以来の革命期を迎えている**


© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# 地上交通全体 - MaaS (Mobility as a Service) -

CONFIDENTIAL
関係者外秘



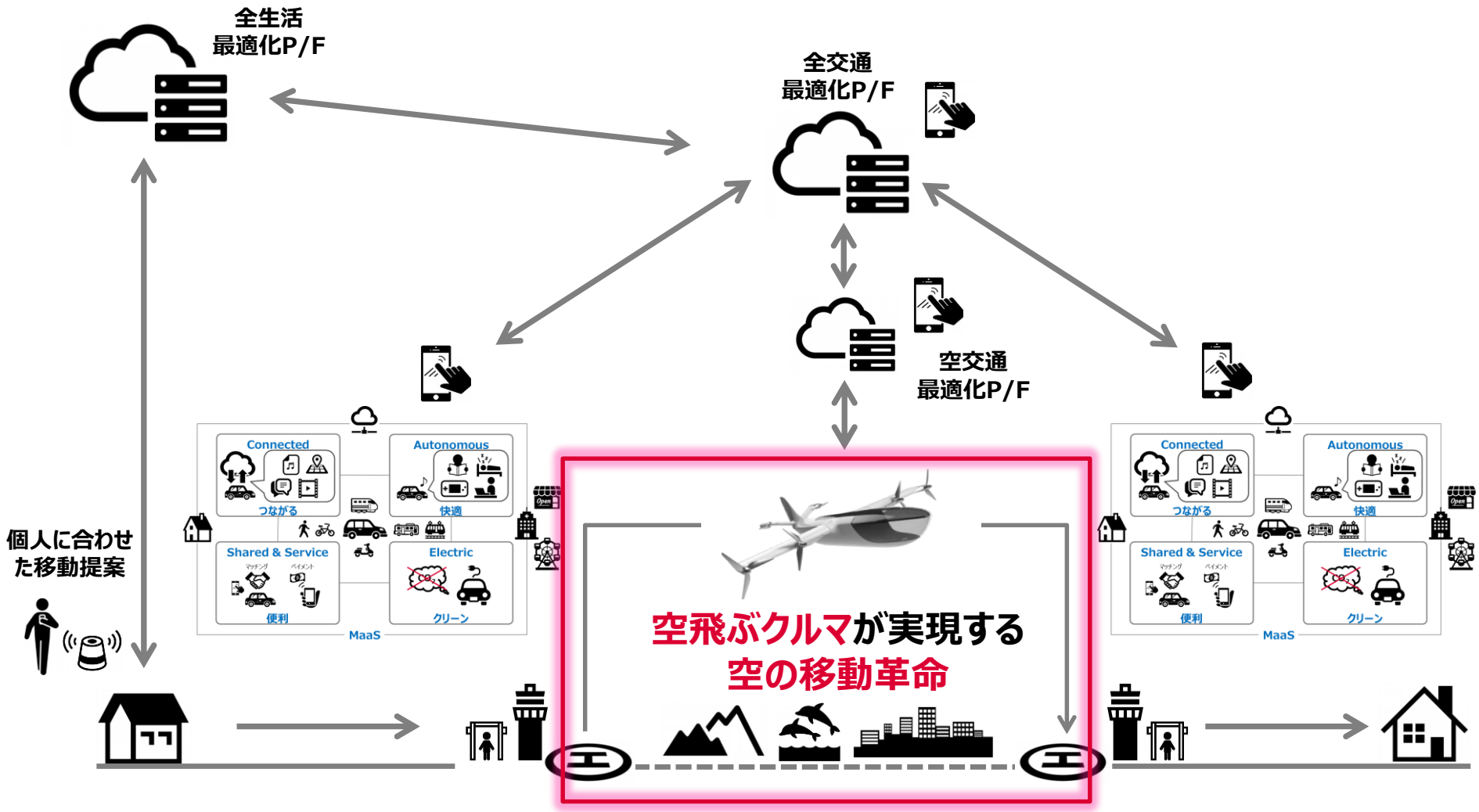

**自動車を含めた交通手段がシームレスに繋がり、**
**すべての人が自由・快適かつ、安価に移動できる社会**



© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# 将来のモビリティ社会像

CONFIDENTIAL
関係者外秘




## 空飛ぶクルマは新たなモビリティー社会の象徴的存在となる



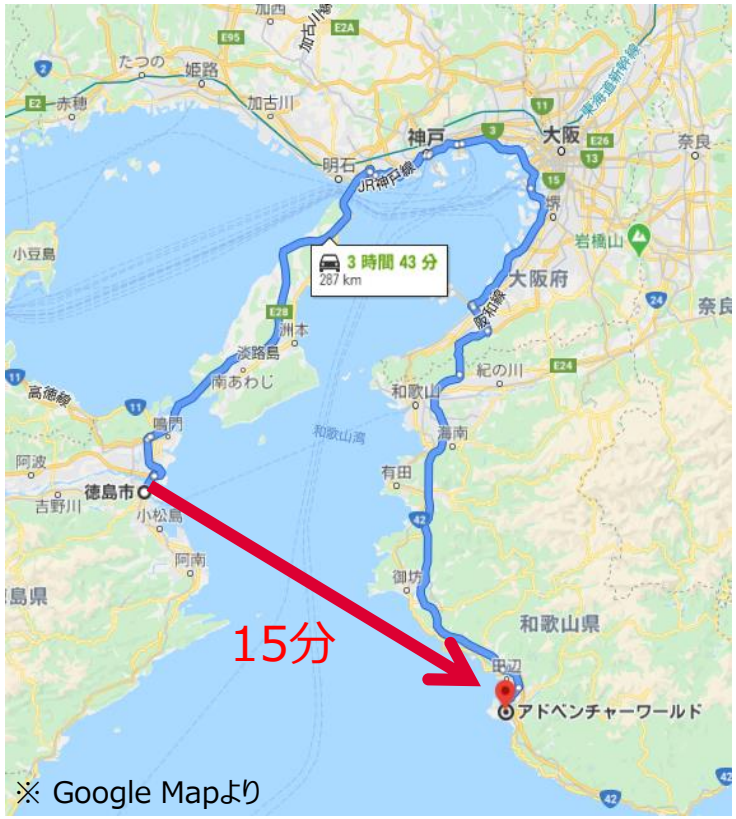
© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# 空の移動が身近になる事の嬉しさ

CONFIDENTIAL
関係者外秘

## 点から点の直線移動

地上の移動　：目的へは大回りが必要。。。
空の移動　　：目的地へ一直線




## 渋滞の回避

地上の移動　：都市内は大渋滞。。。
空の移動　　：都市内移動も渋滞知らず

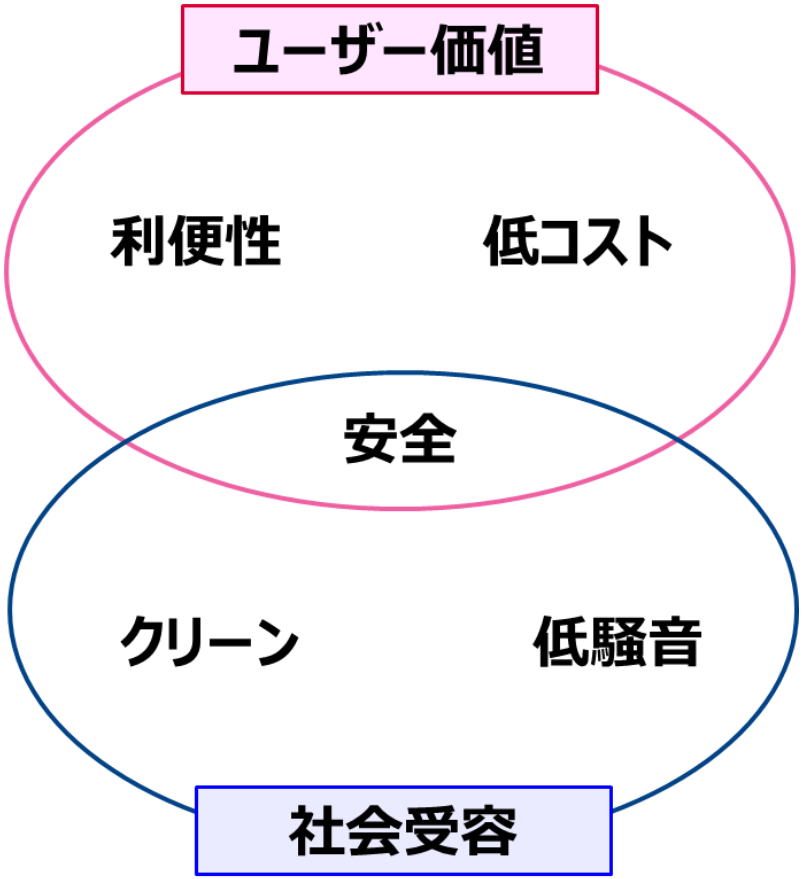
**空の移動は移動時間を大幅に短縮し、快適な移動を実現する.**



© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

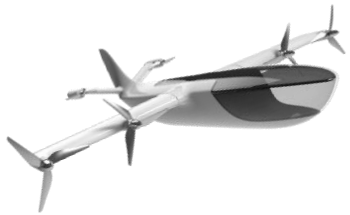
# 空飛ぶクルマとは？　- 空の移動を身近にする要件 -

CONFIDENTIAL
関係者外秘




【実現手段】

**eVTOL**
**electric Vertical Take-Off and Landing**
**(電動垂直離着陸機)**



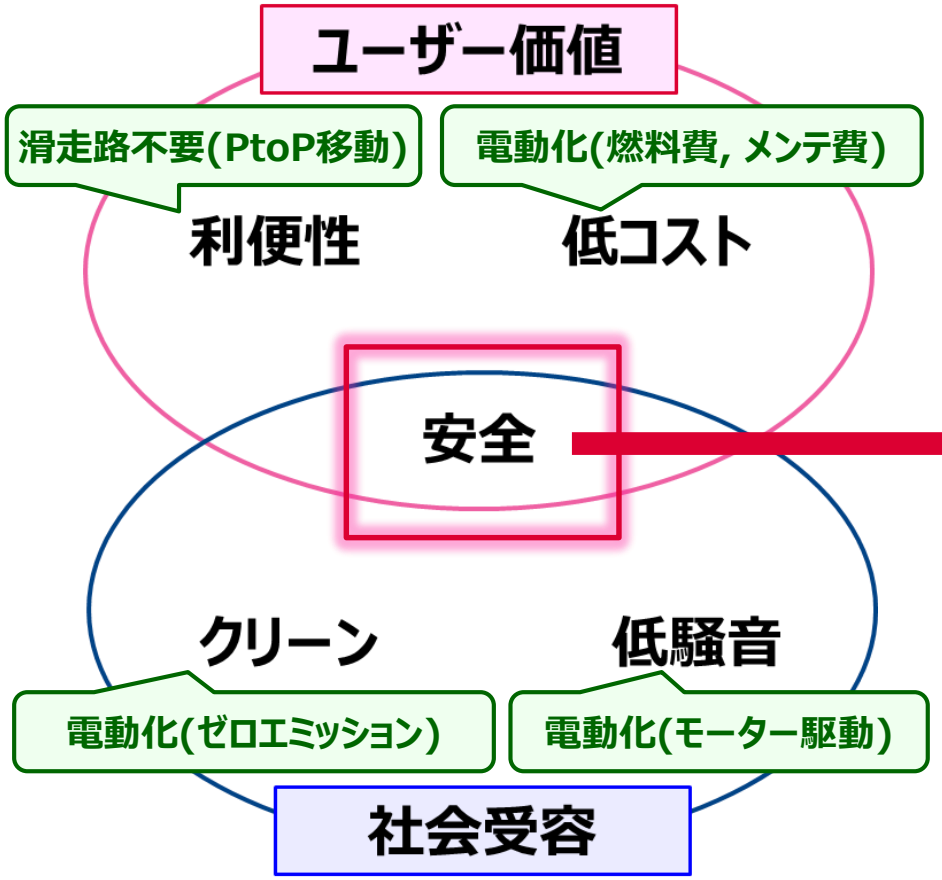
**デンソーが定義する**
**“空飛ぶクルマ”**

**eVTOLが空の移動を身近な移動手段に変える主役となる**

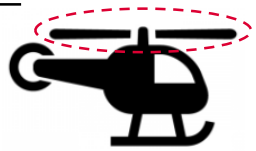

© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# 空飛ぶクルマとは？　- 空の移動を身近にする要件 -

CONFIDENTIAL
関係者外秘



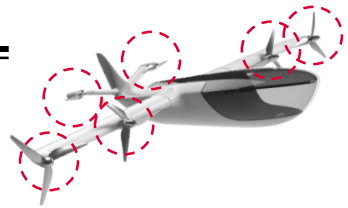

**ヘリコプター**



1ローター

【異常時の安全確保の考え方】
オートローテーションによる安全着陸

**eVTOL**



マルチローター

【異常時の安全確保の考え方】
**マルチローター化による冗長設計**
1つの異常：残りのローターで**通常通り飛行**
2つの異常：残りのローターで**安全に着陸**

**マルチローター化により、最重要要件である安全性も大きく向上**


© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

CONFIDENTIAL
関係者外秘

# 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-


© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# クルマと空の違い　- 使われ方 -

CONFIDENTIAL
関係者外秘

※EPU：Electric Propulsion Unit ⇒ モータ+インバータ

| | | **クルマ**：HV、EV | **空**：eVTOL(5人乗り想定) | **重要技術課題** |
|---|---|---|---|---|
| 機体総重量 | | ～ 2000kg | 2000~3500kg | ➢ **軽量化**<br>＝高トルク密度化 |
| | EPU(全数) | ～50kg | ～300kg | |
| | バッテリ | ～ 400kg | ～ 700kg | |
| EPU<br>(個別) | 電源電圧 | ～800$V_{dc}$ | ~800$V_{dc}$ (将来1000$V_{dc}$) | ➢ 高トルク連続駆動<br>➢ **冷却性** |
| | 出力<br>トルク | ～200kW<br>～200Nm | ～200kW<br>MAX数1000Nm | |
| | 冷却方式 | 液冷 | 液冷, 空冷 | |
| 1回あたり航続距離 | | ～1000km | ～300km | ➢ **信頼性**、冗長性<br>➢ 耐故障、メンテ性 |
| 総航続距離 | | ～24万km | ～300万km | |
| 保守 | | 基本、無交換 | 定期メンテ、部品交換 | |
| 安全性 | | 退避走行による<br>安全確保 | 冗長性(機能維持)による<br>安全確保 | |

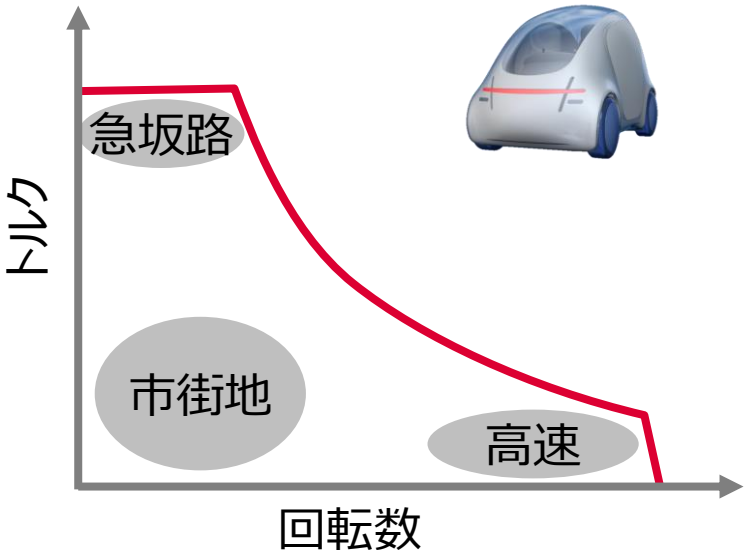
**軽量化, 冷却性, 信頼性 の両立**


© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# クルマと空の違い　- モータのトルク/回転数特性 -

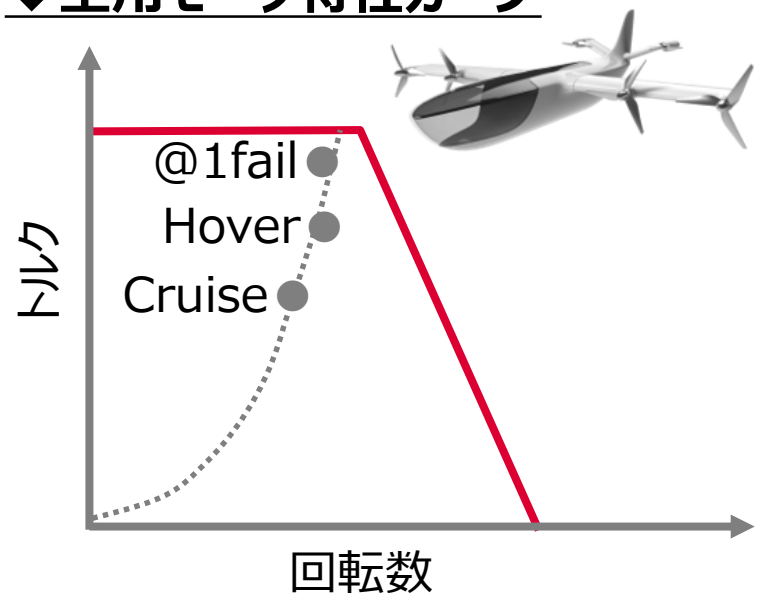
CONFIDENTIAL
関係者外秘

## ◆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




- **ローター負荷トルク∝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**



© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# クルマと空の違い - モータ方式_磁気回路 -

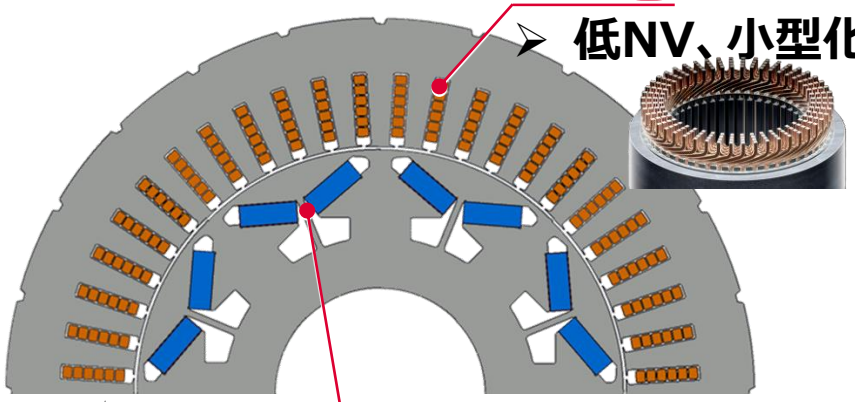
CONFIDENTIAL
関係者外秘

## ◆クルマ用モータ

※Segment Conductor

**SC※巻**

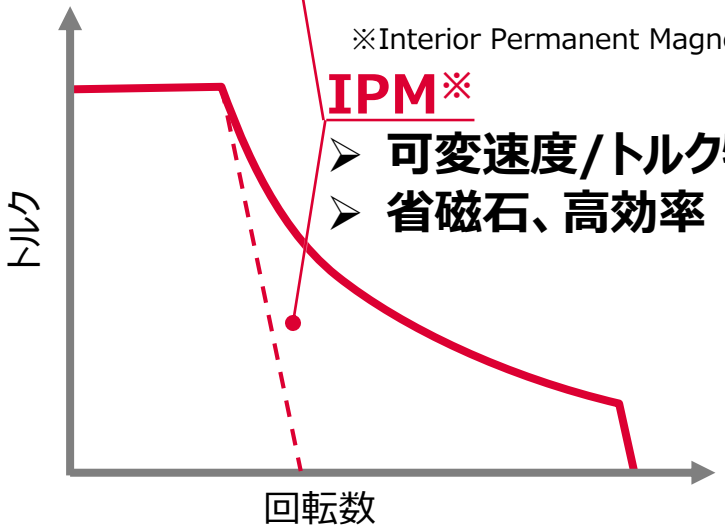
- 低NV、小型化



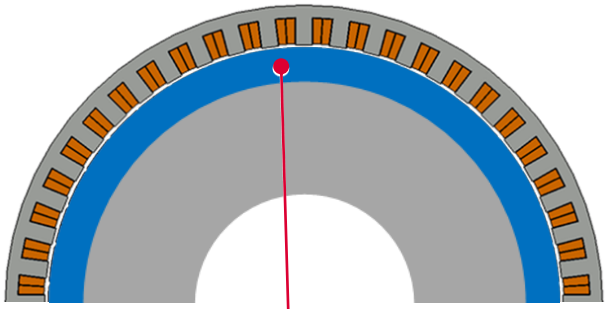
※Interior Permanent Magnet

**IPM※**

- 可変速度/トルク特性
- 省磁石、高効率




## ◆空用モータ



※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**

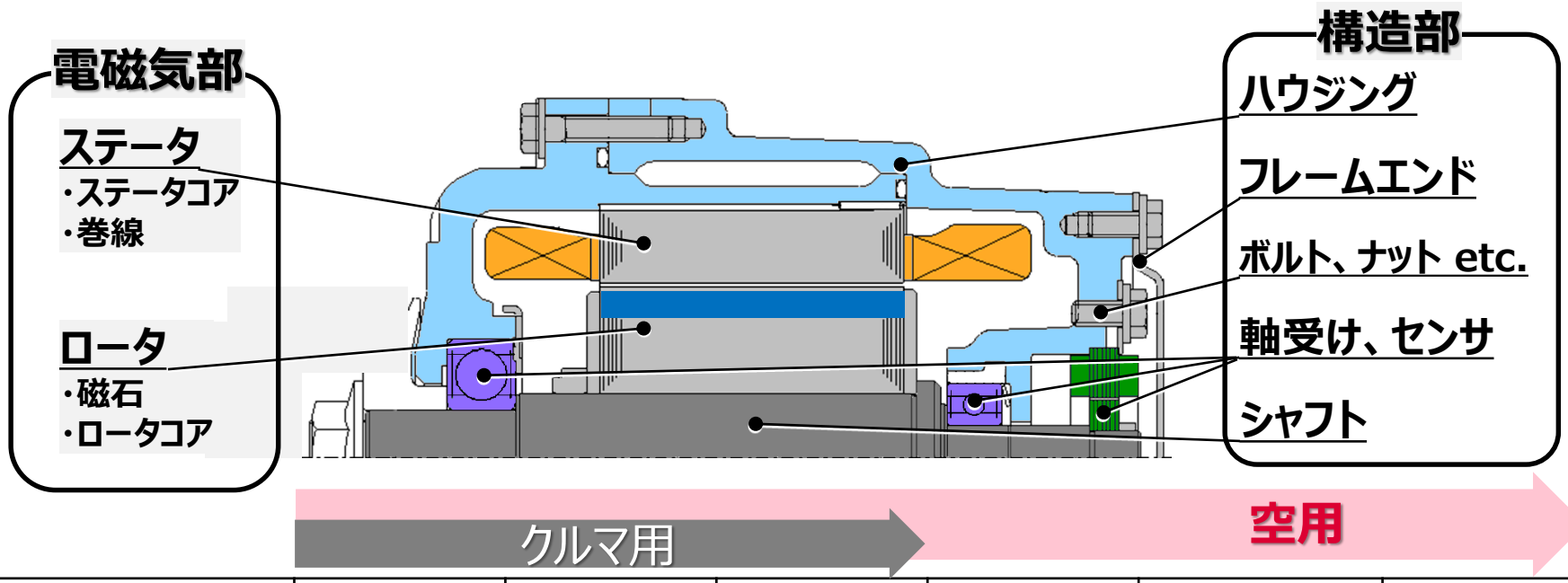
- 軽量化

**空用モータには軽量化技術を採用**


© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# 空とクルマの違い　- モータの構造材料 -

CONFIDENTIAL
関係者外秘




| | 鉄 (S45C) | SUS (SUS304) | アルミ (A6061) | **チタン (Ti6Al4V)** | **MMC※ (Al/SiC)** | **CFRP (プリプレグ)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **密度** g/cm³ | 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**

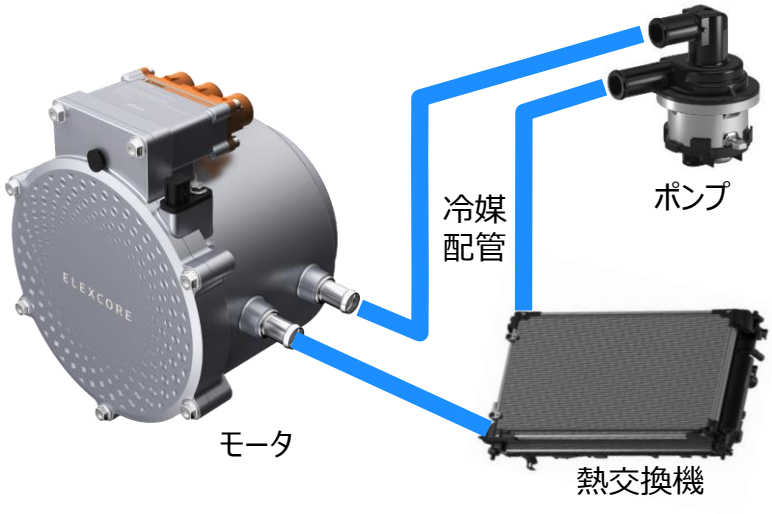

© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# クルマと空の違い - 冷却要求 -

CONFIDENTIAL
関係者外秘

## クルマ

**液冷(水冷/油冷)**




【必要機能】

**モータ ＋ 冷却系**(熱交換機/潤滑ポンプ/冷媒/配管)

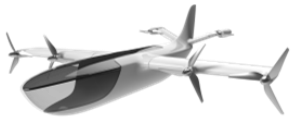
⇒ **システム重量の増加**

【安全要求】

**冷却系含めたTotalで高い安全性確保**

⇒ **個々の製品への安全要求の増加**

## 空(eVTOL)



**空冷**

**シンプルなシステム構成で、**

- **重量低減に貢献**
- **安全性向上に貢献**

**＜課題＞**

**100kW級モータの放熱を**
**如何に空冷で実現させるか？**

**課題は大きいが空では空冷化がメジャー要求となる.**

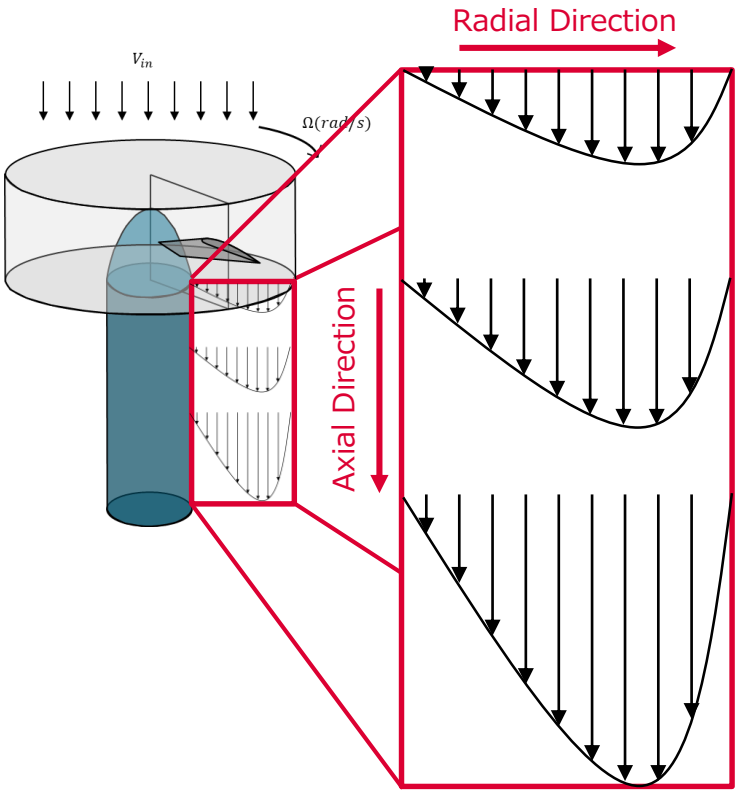

© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# 空冷化への挑戦 - ローター下流流速の解析 -

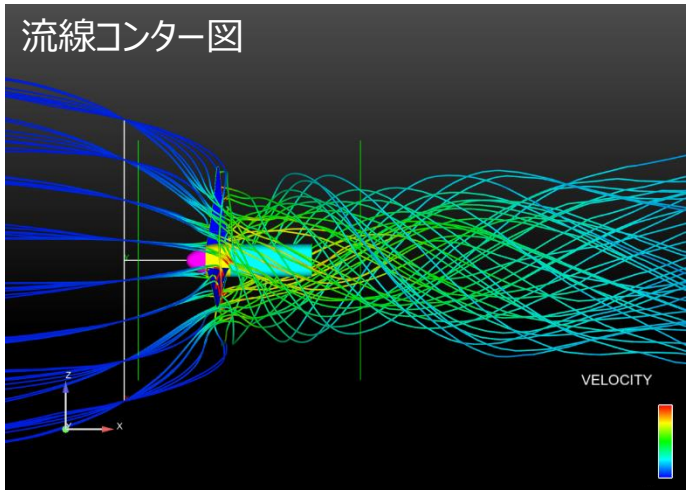
CONFIDENTIAL
関係者外秘

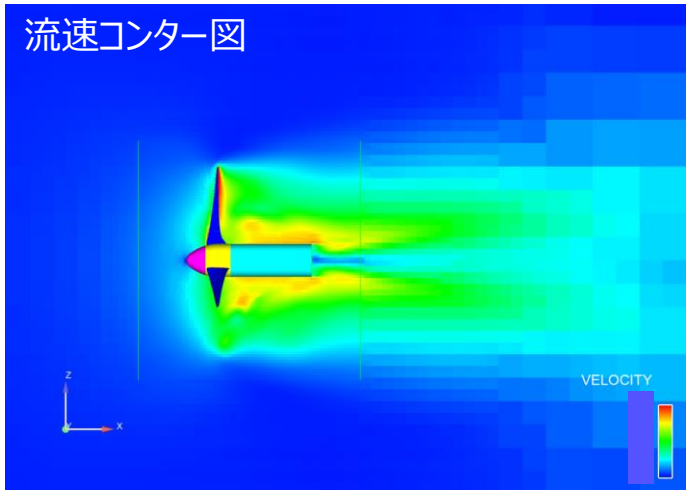
【目的】
・半径方向速度分布
・軸方向速度変化

⇨ **モーターが得られる冷却風の定量化**




流入速度：低速時




**ローターから得られる冷却風を分析し、冷却系の設計へ反映**

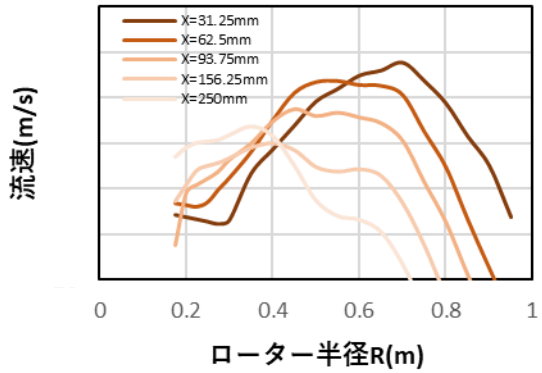

© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

# 空冷化への挑戦 - 強制空冷 -

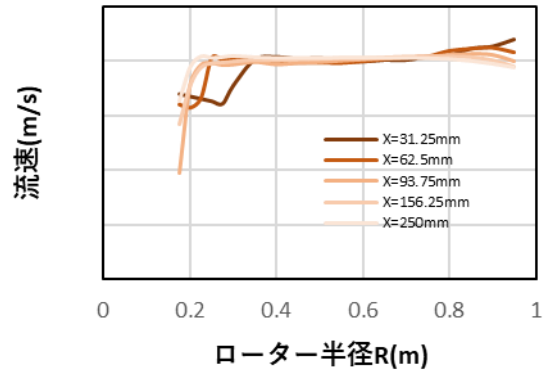
CONFIDENTIAL
関係者外秘

## 【ローター下流流速解析結果】

流入速度：低速時



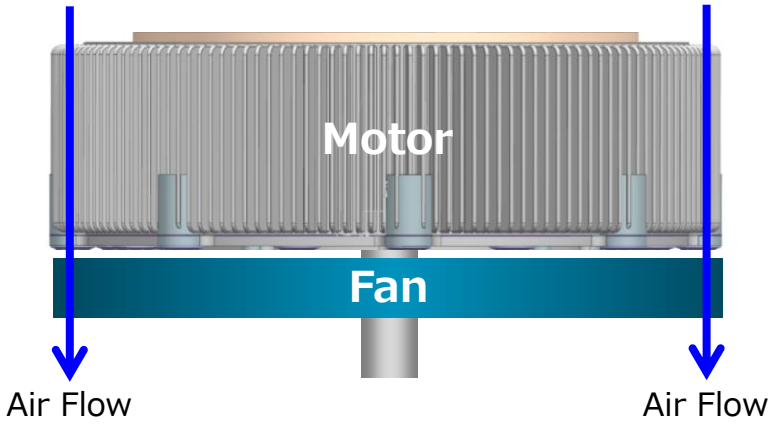

流入速度：高速時

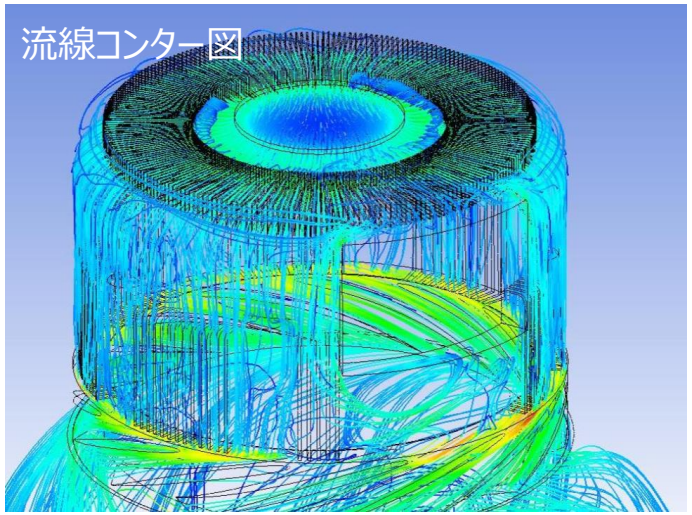



**ローターからの流入風はモータ搭載位置/運転条件/プロペラ仕様で大きく異なる**

**強制空冷**

## モータ出力軸にファンを搭載し、冷却風を導入




**ファン搭載による強制空冷方式も平行して検討**

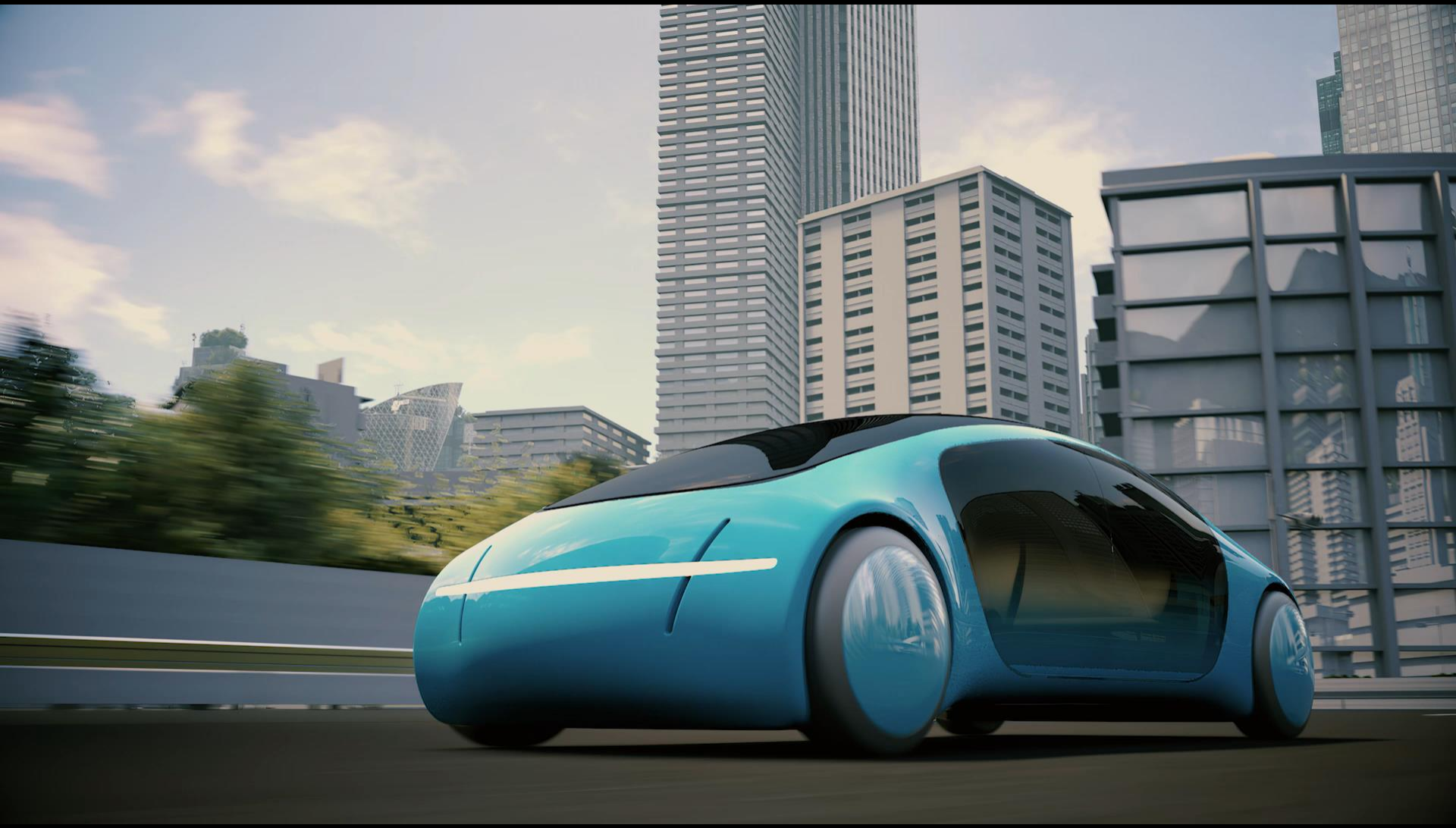


© DENSO CORPORATION All RightsReserved.

CONFIDENTIAL
関係者外秘

# 自動車から空へ
# 空から様々なモビリティーを電動化


© DENSO CORPORATION All RightsReserved.



# DENSO

Crafting the Core


© DENSO CORPORATION All RightsReserved.