

The DENSO logo is written in a bold, italicized, red sans-serif font.

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

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 -

地上交通の変化 -パラダイムシフト-



100年に1度のパラダイムシフト!?

100年前の出来事 -Before-



**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。**

100年前の出来事 -After-



**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。**

100年前の出来事 -After-



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・・・

社会環境の変化

・地球環境の変化

温暖化・大気汚染・都市化



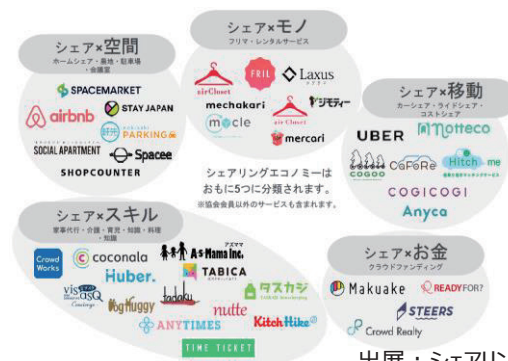
・テクノロジーの進化

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

自動車 - CASE -

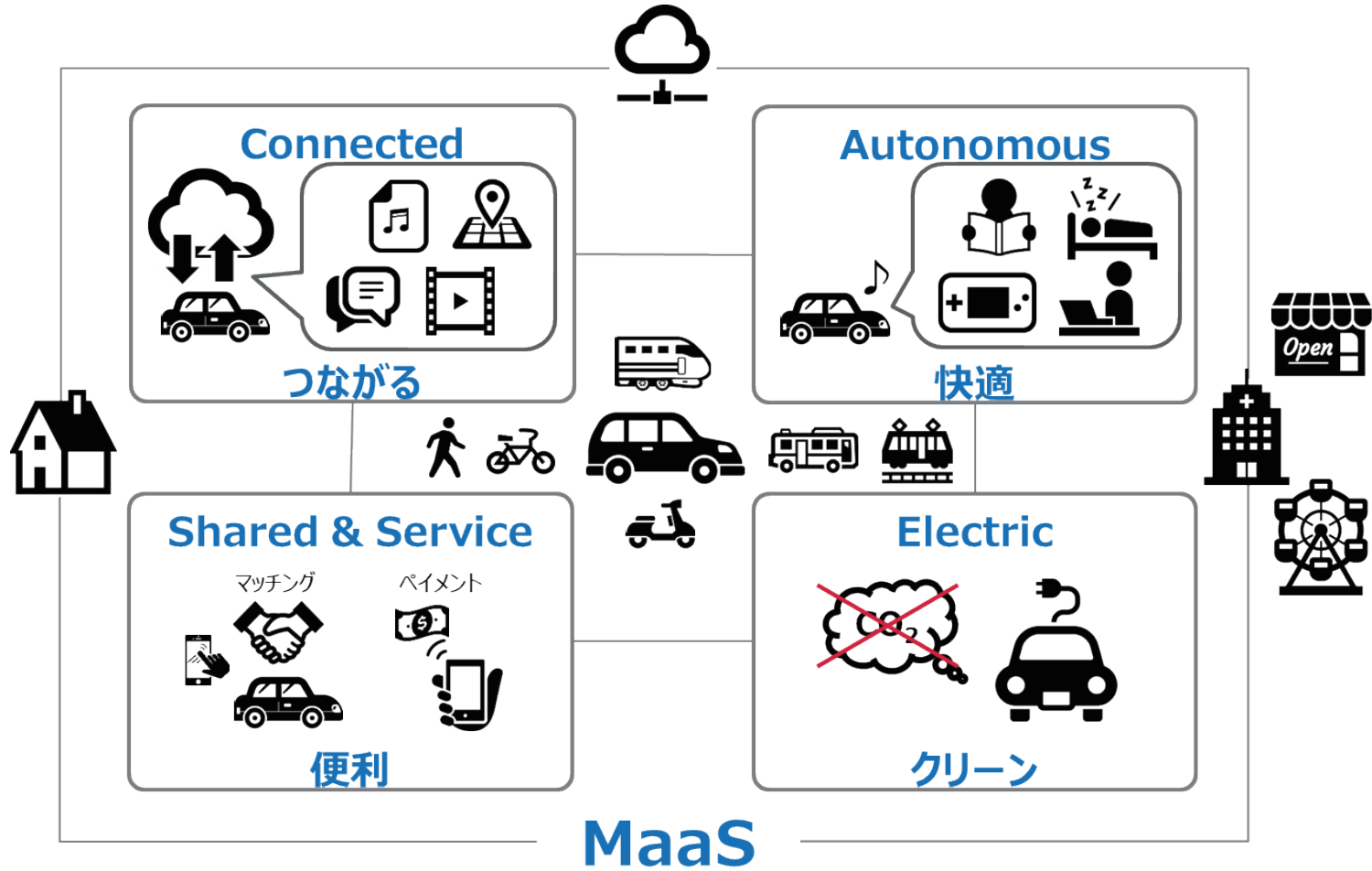
Connected
Autonomous
Shared & Services
Electrification

つながる
自動運転
シェアリング (所有)
電動



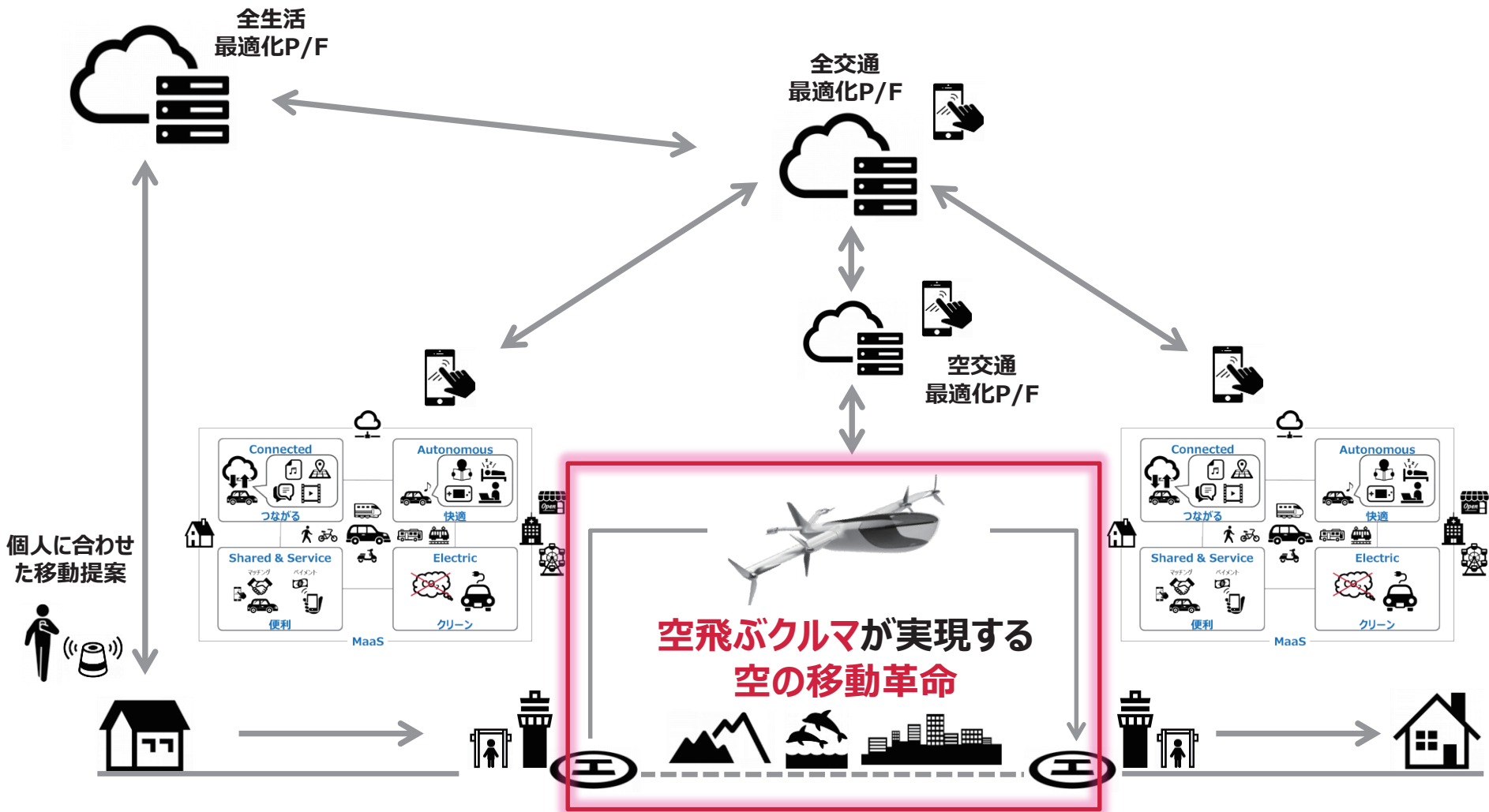
技術革新と社会変化にて、T型フォード以来の革命期を迎えている

地上交通全体 - MaaS (Mobility as a Service)



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

将来のモビリティ社会像



空飛ぶクルマは新たなモビリティ社会の象徴的存在となる

空の移動が身近になる事の嬉しさ

点から点の直線移動

地上の移動 : 目的へは大回りが必要。。。

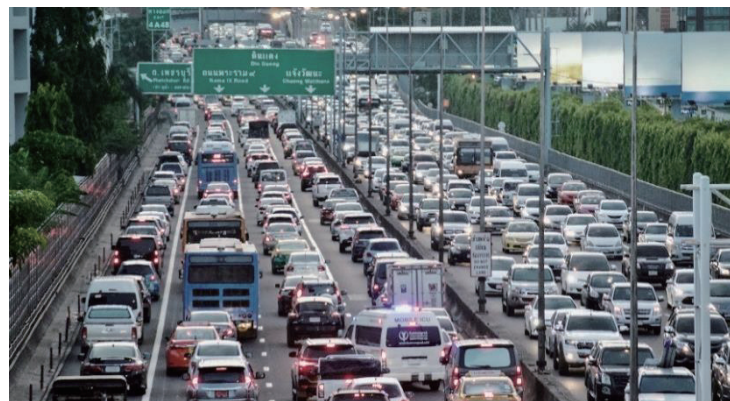
空の移動 : 目的地へ一直線



渋滞の回避

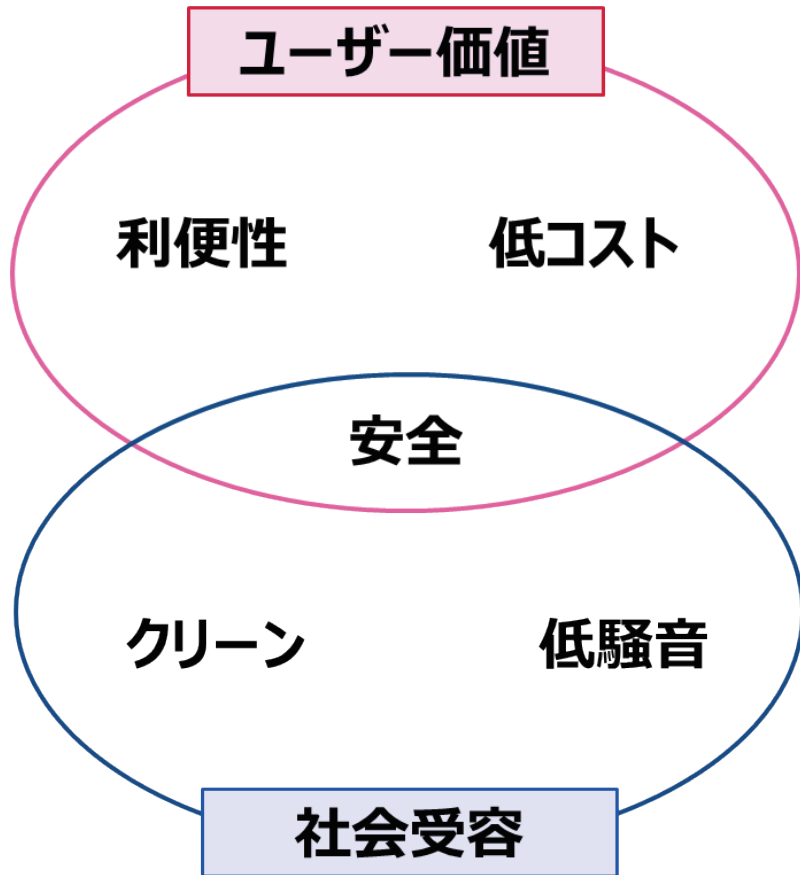
地上の移動 : 都市内は大渋滞。。。

空の移動 : 都市内移動も渋滞知らず



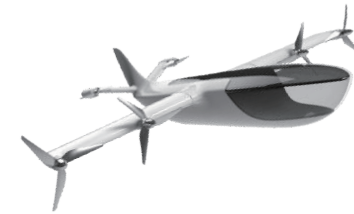
空の移動は移動時間を大幅に短縮し、快適な移動を実現する。

空飛ぶクルマとは？ - 空の移動を身近にする要件 -



【実現手段】

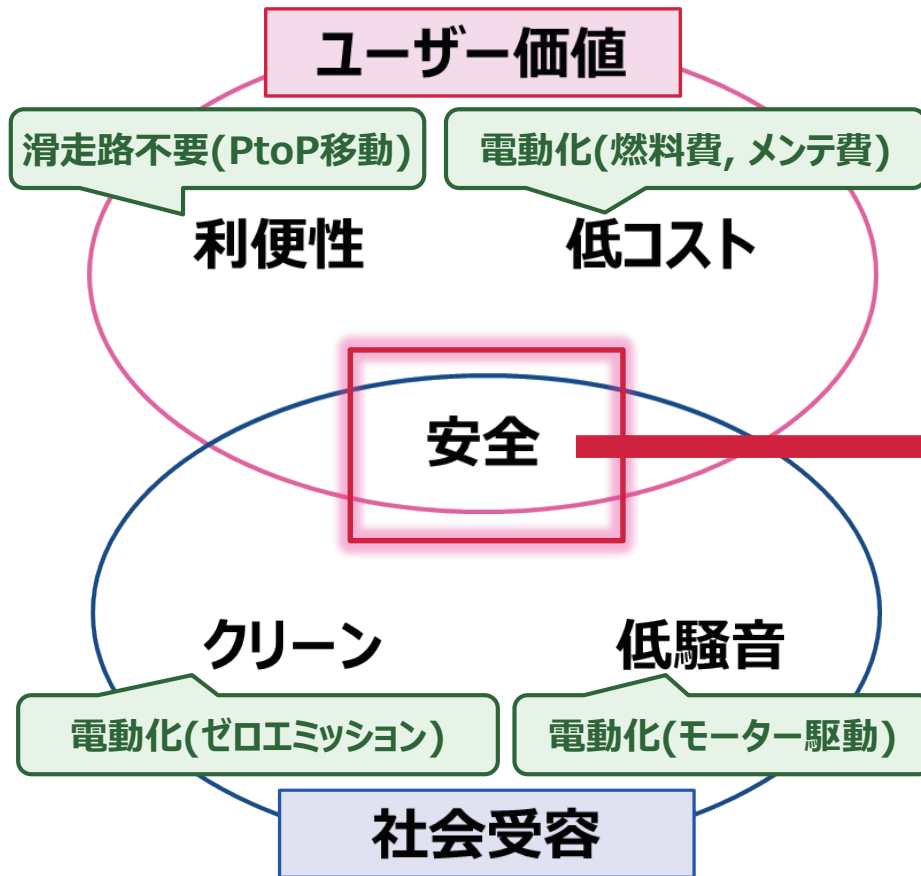
eVTOL
electric Vertical Take-Off and Landing
(電動垂直離着陸機)



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

空飛ぶクルマとは？ - 空の移動を身近にする要件 -



ヘリコプター



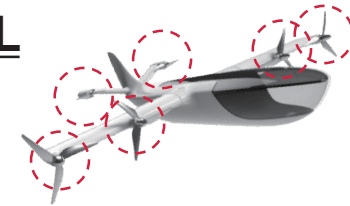
1ローター

【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


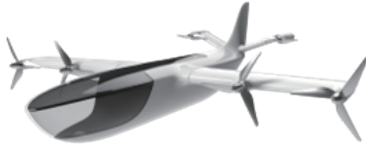


電動航空機用モータ開発

-クルマ用モータと空用モータとの違いについて-

クルマと空の違い - 使い方 -

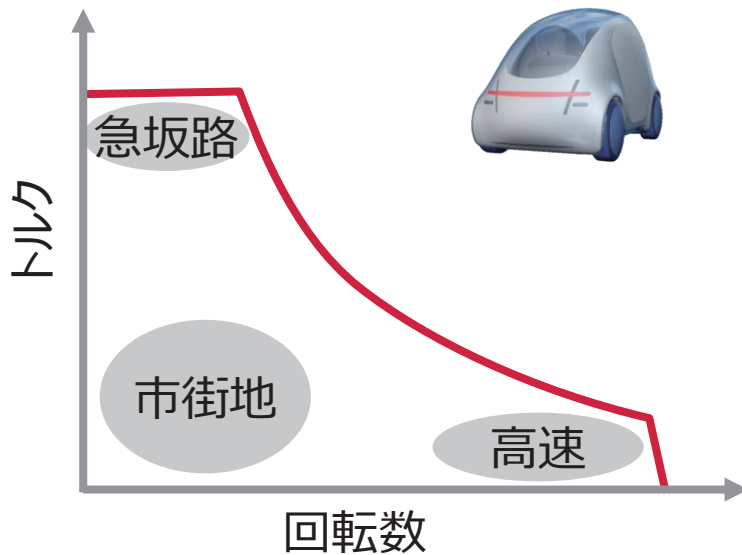
※EPU : Electric Propulsion Unit ⇒ モーター+インバータ

	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 =高トルク密度化	
EPU(全数)	～50kg	～300kg		
バッテリー	～ 400kg	～ 700kg		
EPU (個別)	電源電圧	～800V _{dc}	～800V _{dc} (将来1000V _{dc})	➤ 高トルク連続駆動 ➤ 冷却性
	出力トルク	～200kW ～200Nm	～200kW 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 ➤ 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	退避走行による安全確保	冗長性(機能維持)による安全確保		

軽量化, 冷却性, 信頼性 の両立

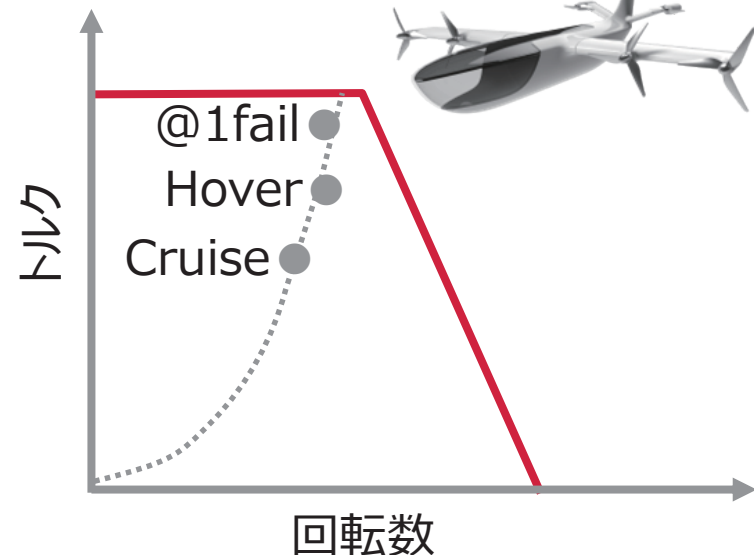
クルマと空の違い - モータのトルク/回転数特性 -

◆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

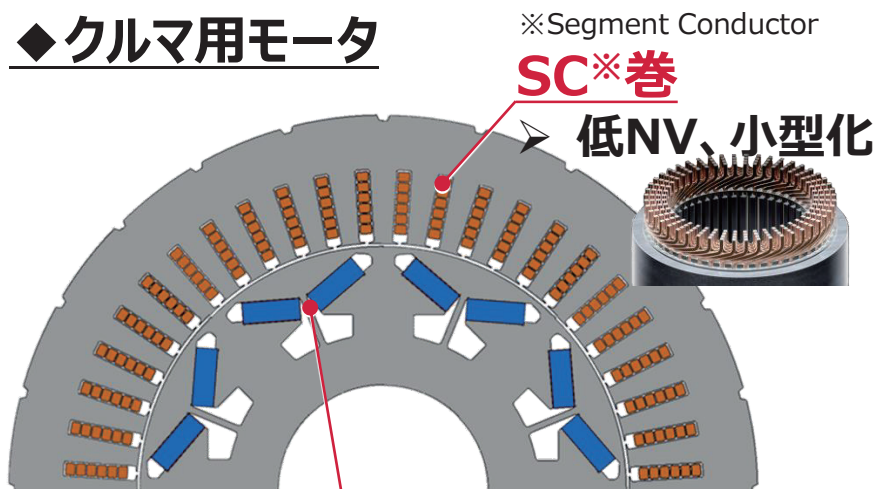


- **ローター負荷トルク** \propto **回転数²** 特性
- **高トルクでの連続駆動**
⇒ **冷却性**
- **緊急時(1fail)の高トルク特性**
⇒ **高信頼性**

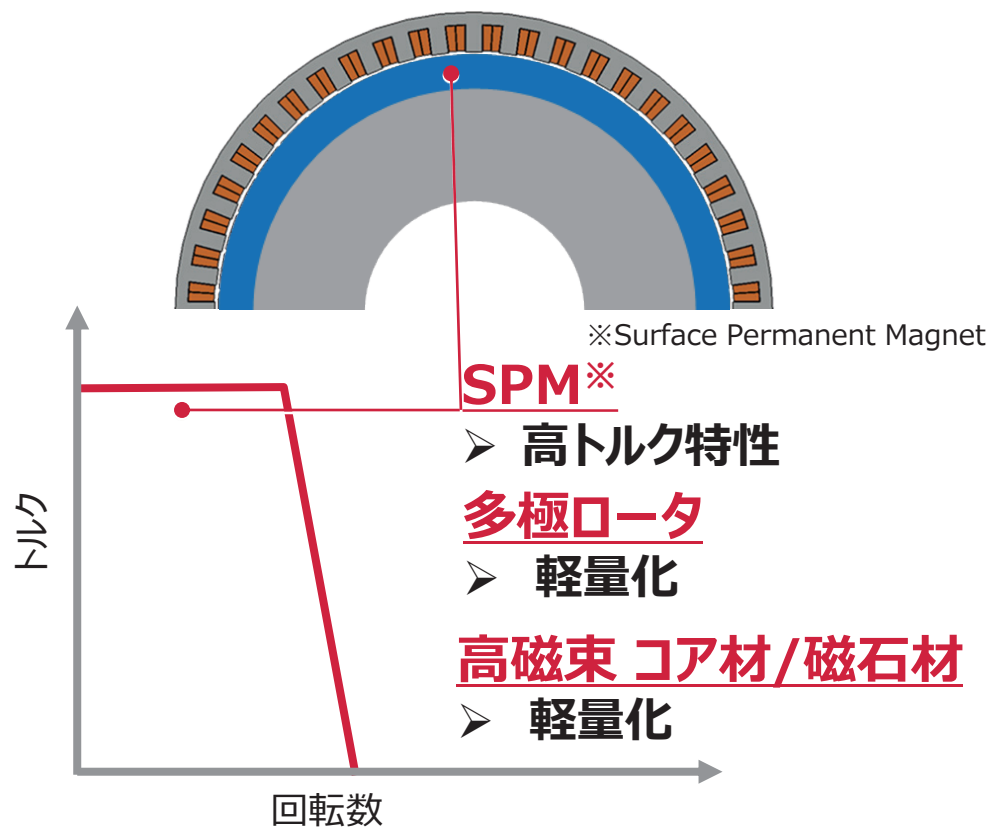
モータ要求：軽量化、高トルク、冷却性、高信頼性

クルマと空の違い - モータ方式_磁気回路 -

◆クルマ用モータ

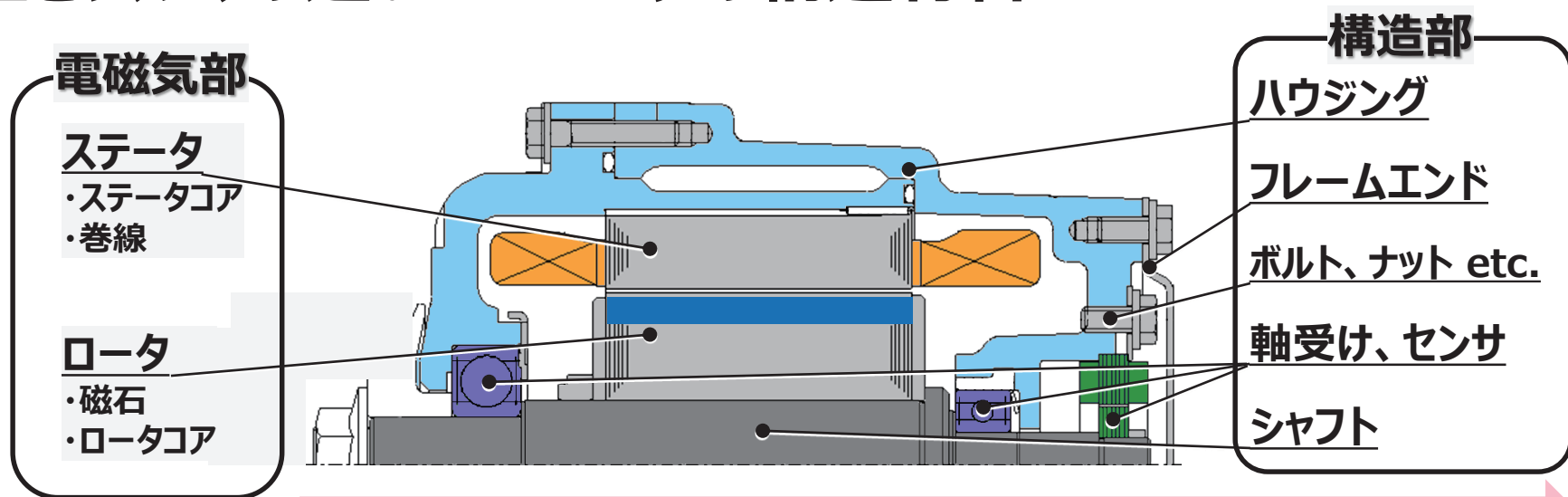


◆空用モータ



空用モータには軽量化技術を採用

空とクルマの違い - モータの構造材料 -



		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

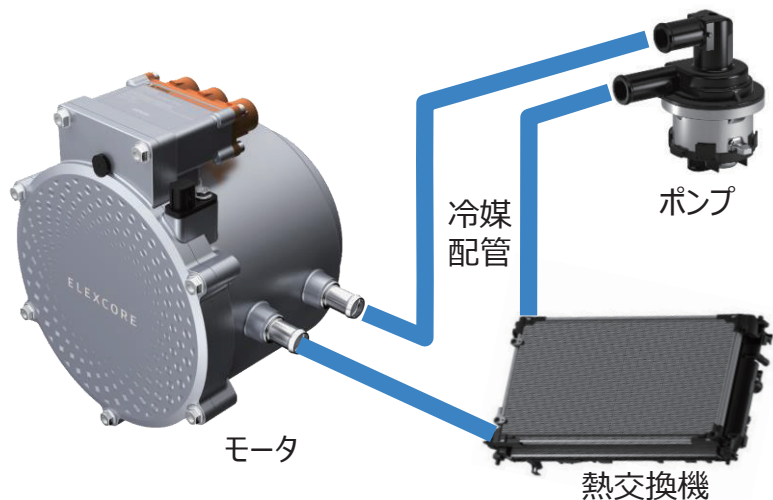
高比強度 & 高熱伝導材料を活用

クルマと空の違い - 冷却要求 -

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】

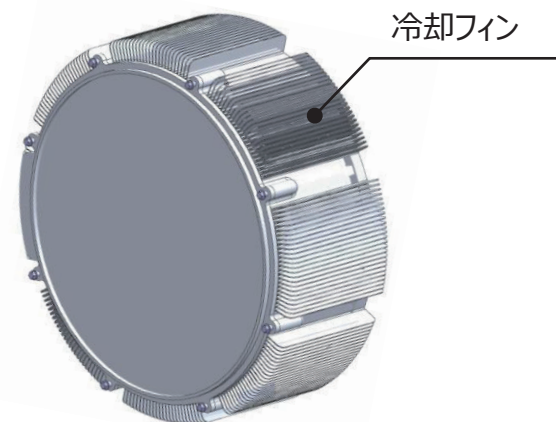
冷却系含めたTotalで高い安全性確保

⇒ 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？

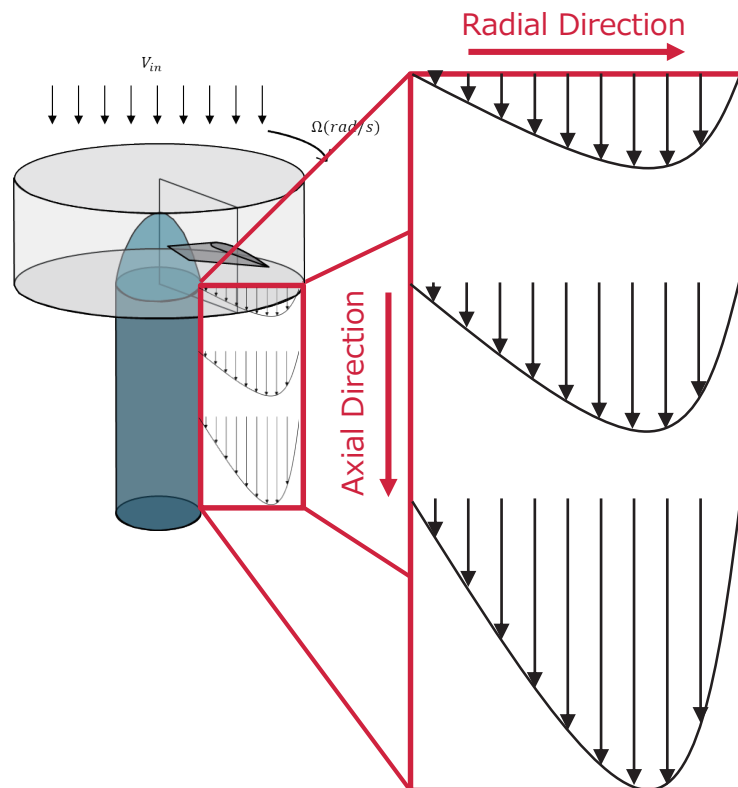
課題は大きい空では空冷化がメジャー要求となる。

空冷化への挑戦 - ローター下流流速の解析 -

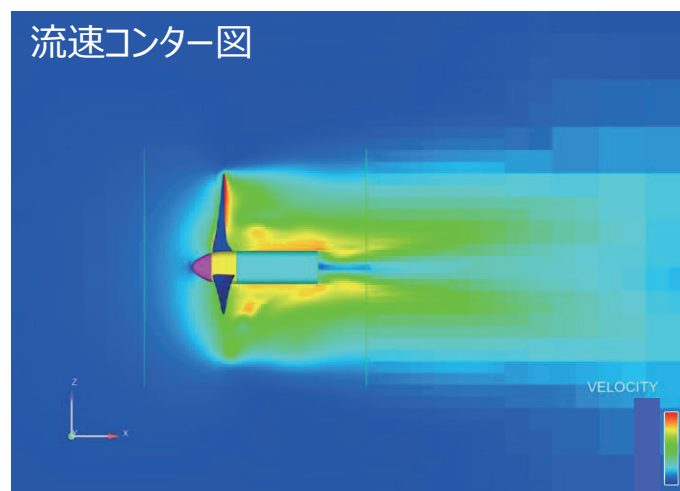
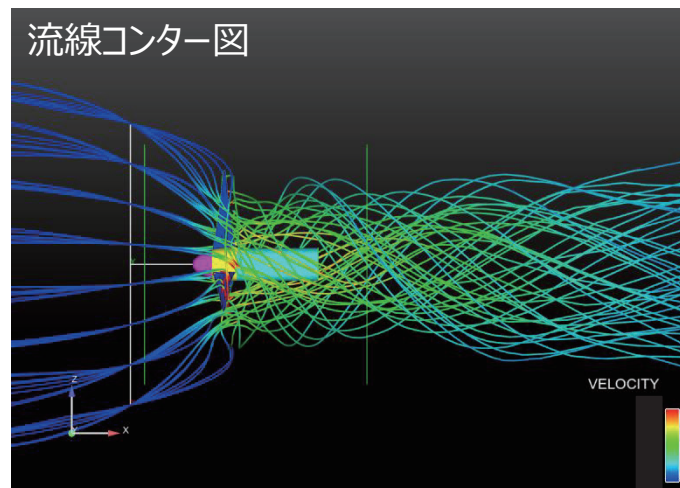
【目的】

- ・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

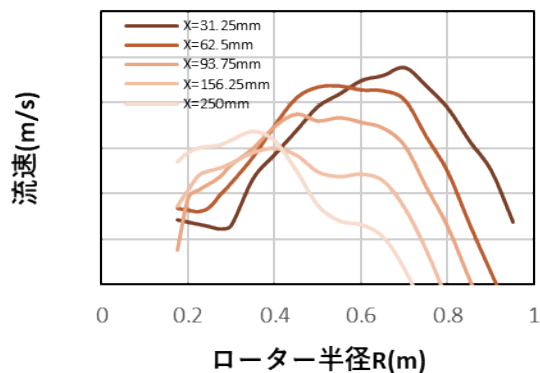


ローターから得られる冷却風を分析し、冷却系の設計へ反映

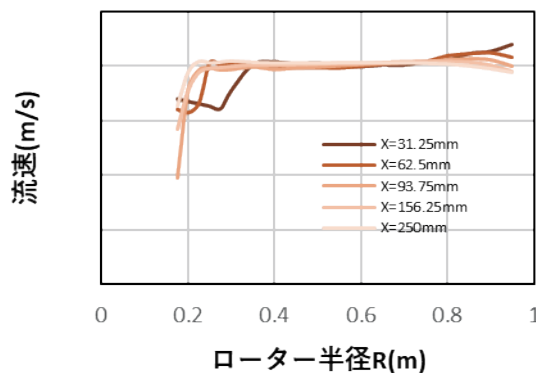
空冷化への挑戦 - 強制空冷 -

【ローター下流流速解析結果】

流入速度：低速時

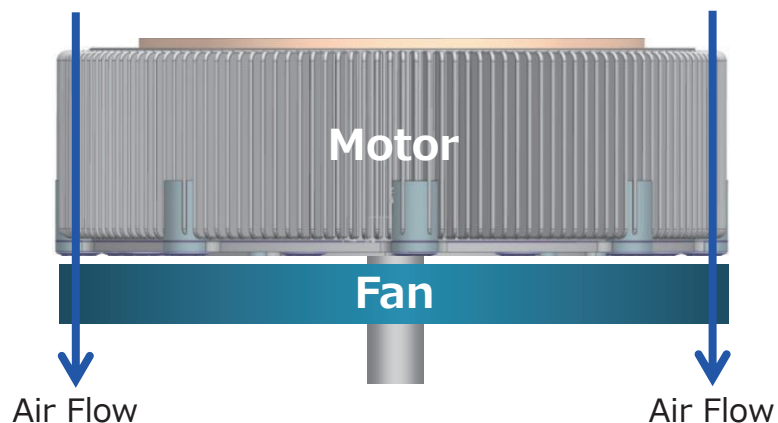


流入速度：高速時

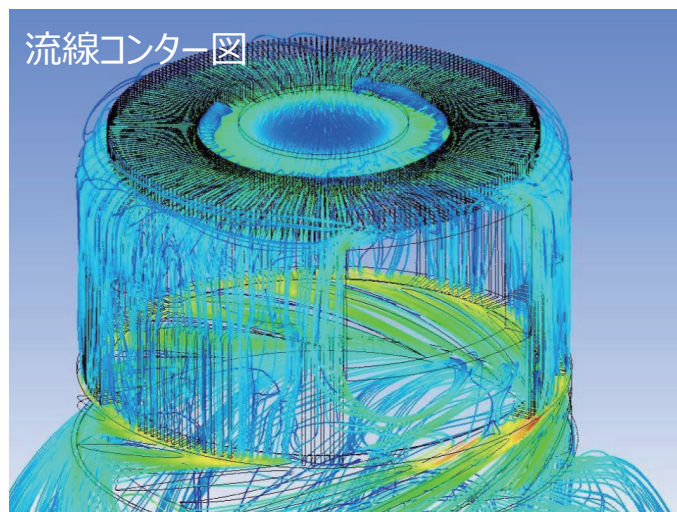


ローターからの流入風はモータ搭載位置/
運転条件/プロペラ仕様で大きく異なる

モータ出力軸にファンを搭載し、冷却風を導入

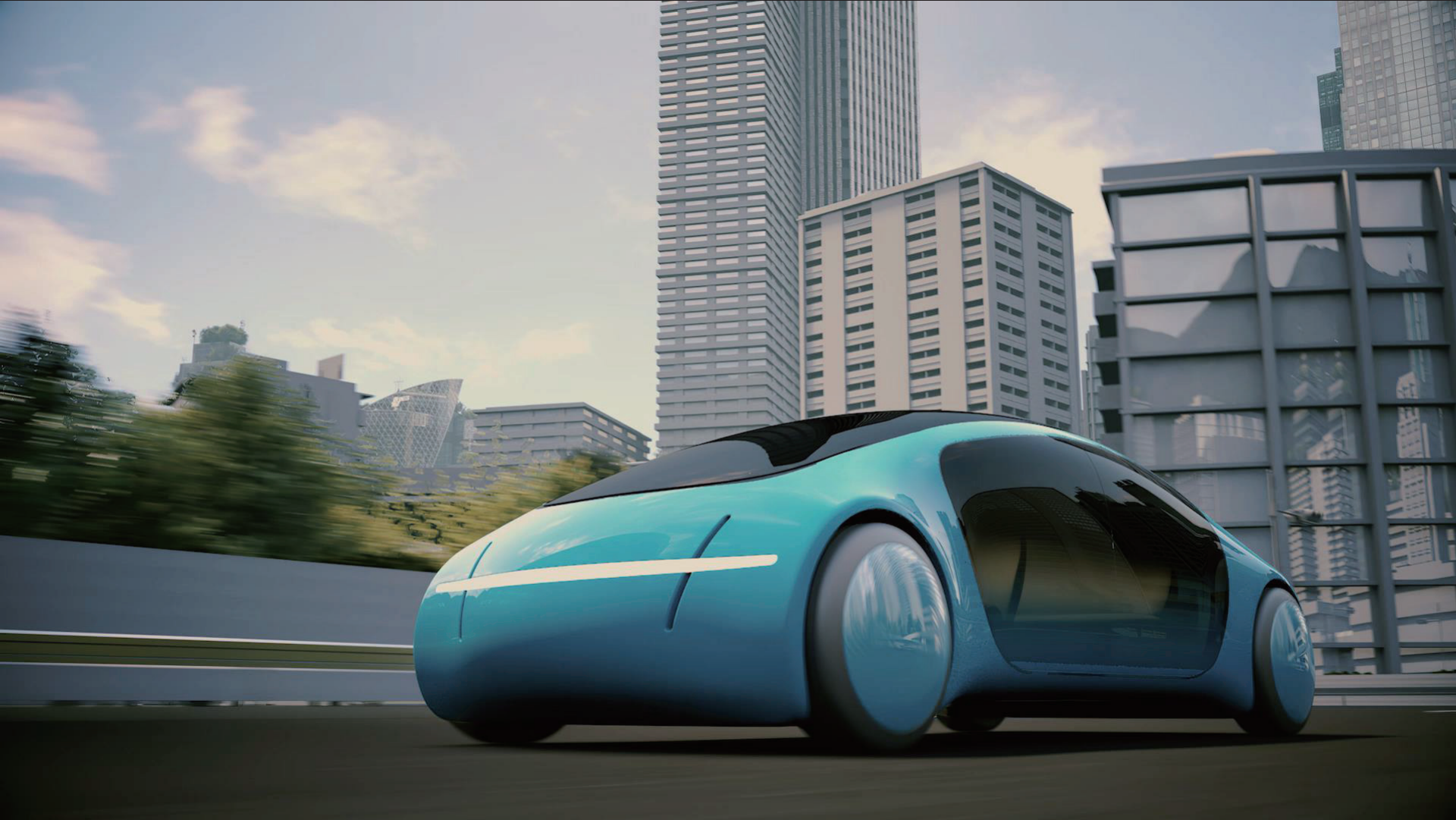


強制
空冷



ファン搭載による強制空冷方式も平行して検討

自動車から空へ 空から様々なモビリティを電動化



DENSO

Crafting the Core