

NISSAN
MOTOR CORPORATION

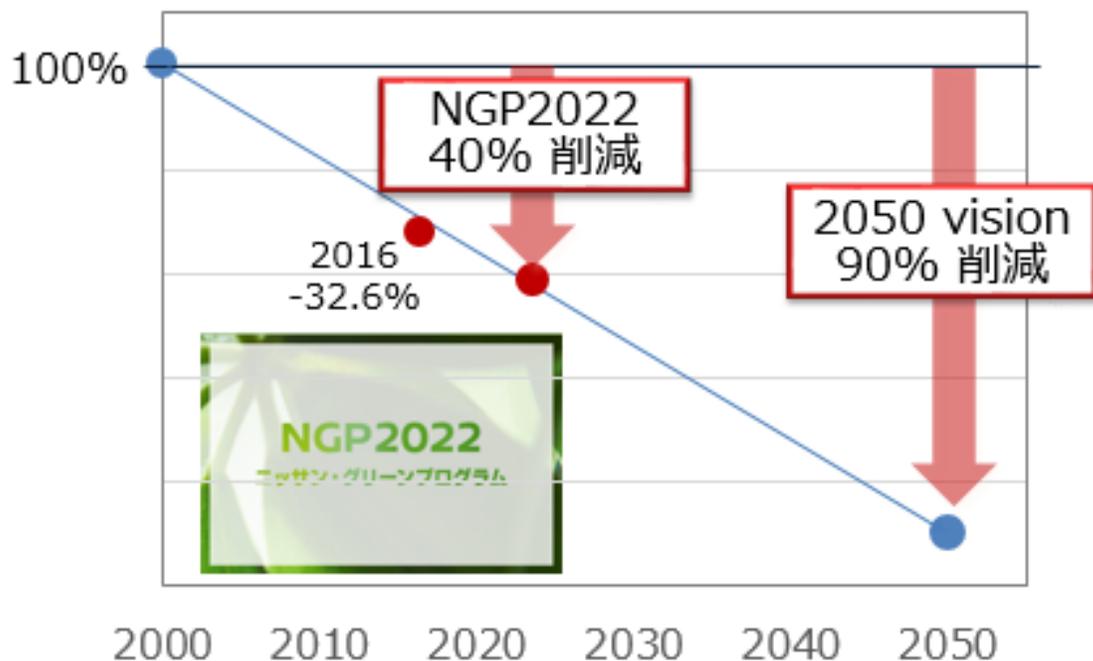
**炭素繊維強化プラスチック(CFRP)部品の量産化に向けた
樹脂含浸シミュレーション技術の開発**

日産自動車株式会社
生産技術研究開発センター
エキスパートリーダー
水谷 篤
2020年9月3日

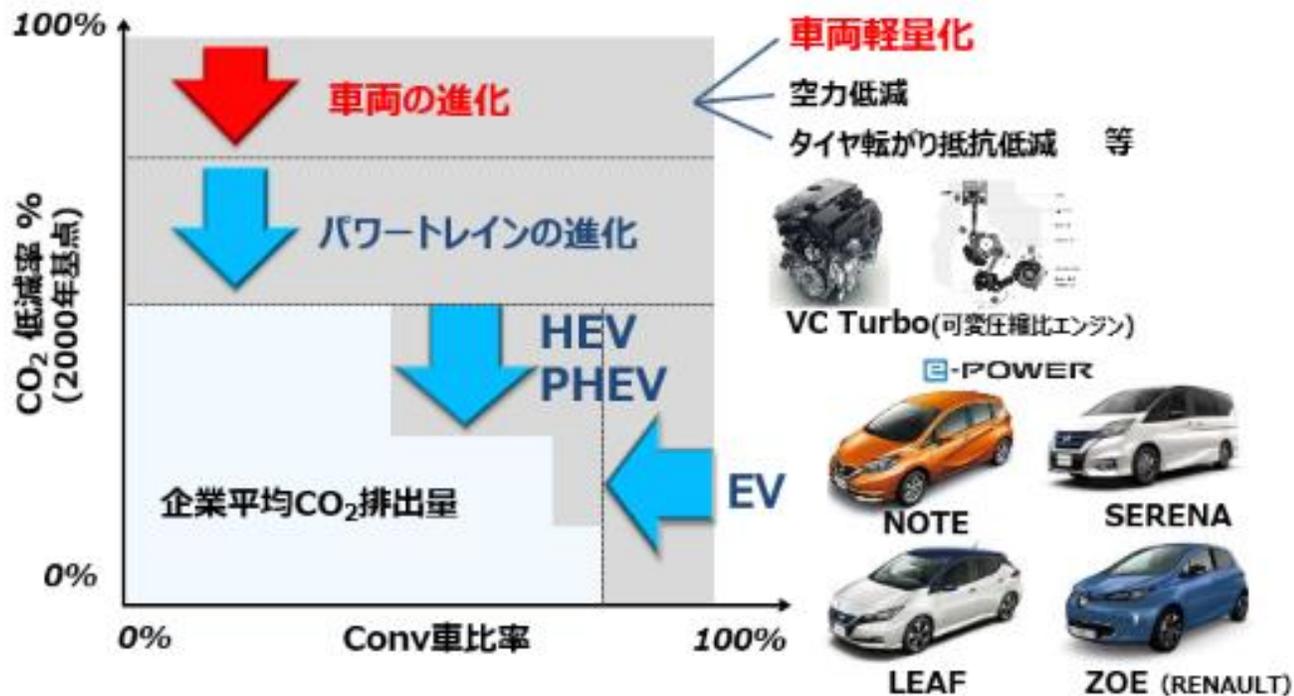
技術開発の背景

技術開発の背景

- ニッサングリーンプログラムの目標は、CO₂排出量を2022年までに40%削減、2050年までに90%削減すること
- 達成のためには、電動化に加えて車両の軽量化技術が必要

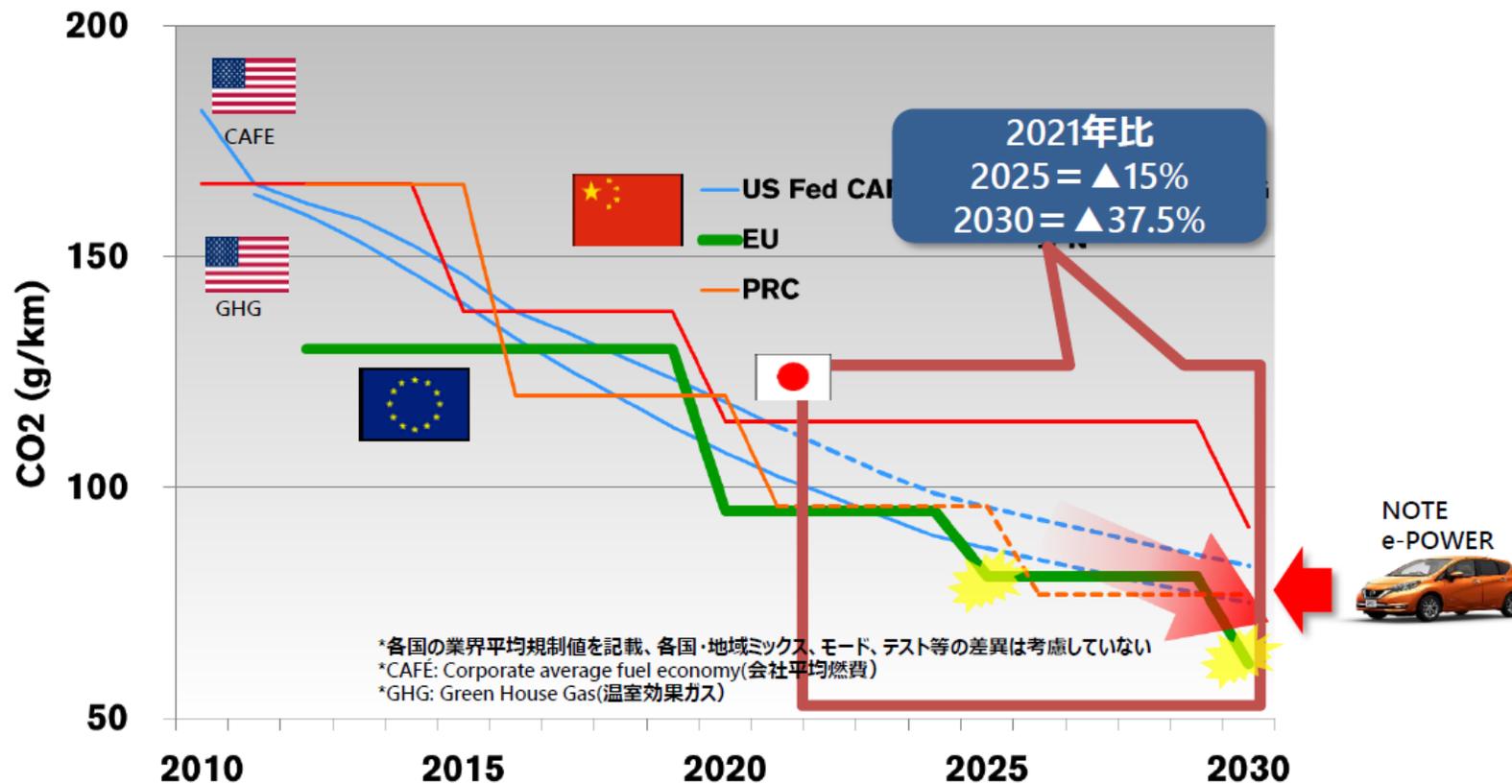


IPCC第4次評価報告書に示された調査結果を基に独自試算



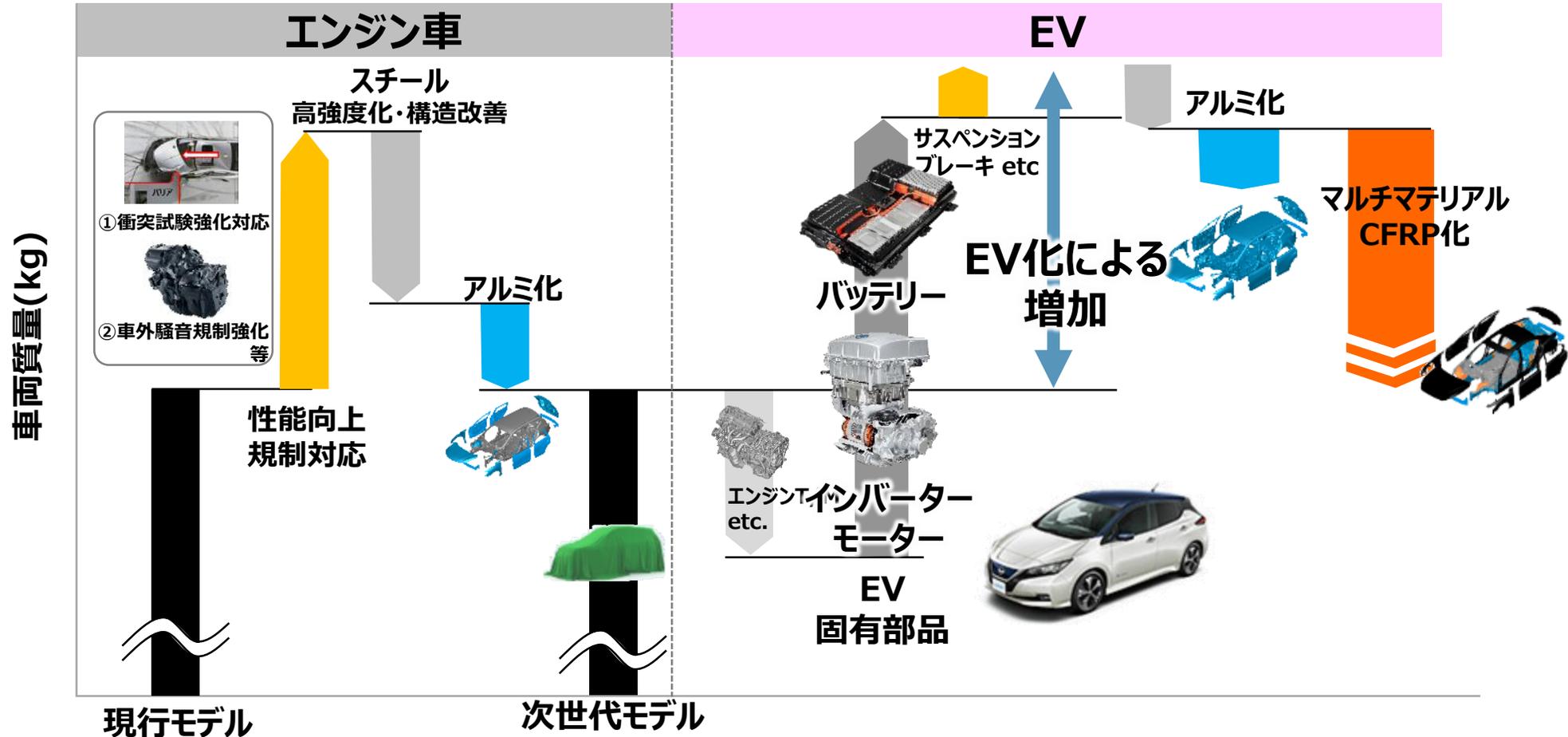
各国のCO₂規制

- 2022年以降、規制はより厳しくなり、2025年以降はEUが最も厳しい



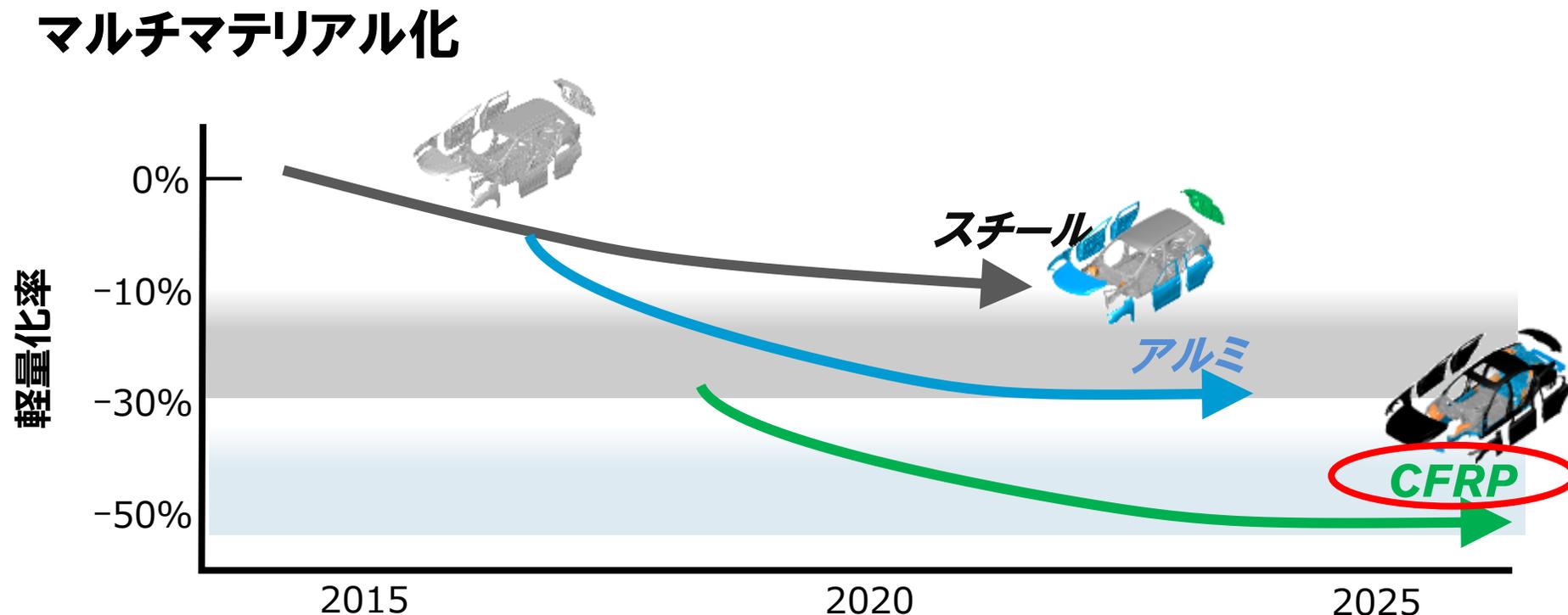
電動化と車両重量

- エンジン車の燃費向上、電動化によりバッテリー、インバーター、モーターの重量が増加することに対応するため、さらなる軽量化が必要



軽量化と車体マルチマテリアル化

- 高強度スチールやアルミ、CFRPなど、材料の特性に合わせて、複数の材料を車体に適用することで更なる軽量化が可能



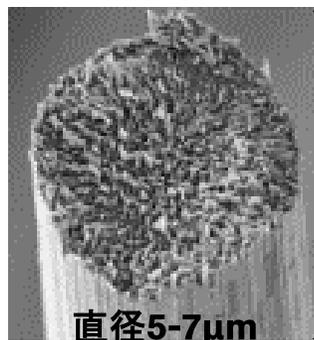
CFRPの現状課題

軽くて強い炭素繊維強化プラスチック (CFRP)^{*}

^{*}CFRP : Carbon fiber reinforced plastic

- 髪の毛よりも細い炭素繊維。強度や剛性に優れ、鉄に比べ約50%の軽量化
- 炭素繊維強化プラスチックCFRPは、炭素繊維を樹脂で固めたもの

<炭素繊維>



直径5-7μm

炭素繊維の断面写真

出典：炭素繊維協会HP



炭素繊維のロール

<炭素繊維強化プラスチック>

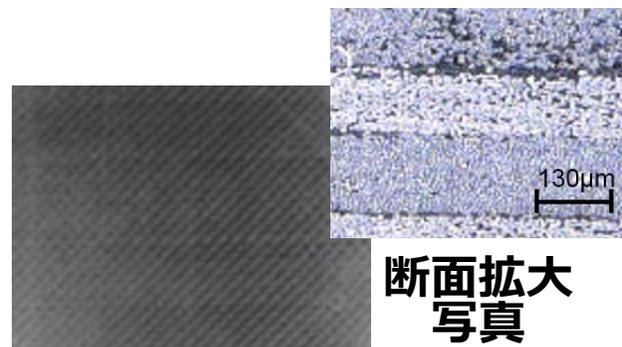


炭素繊維シート

+



樹脂 硬化材



CFRP

断面拡大写真



材料	比重	強度 (MPa)	比強度 (10 ⁴ m)	剛性 (GPa)	比剛性 (10 ⁶ m)
スチール	7.8	780	1.0	210	2.7
アルミ	2.7	370	1.4	72	2.7
CFRP	1.5	600-1,600	4.0-10.7	60-120	4.0-8.0

日産におけるCFRP部品の採用例

- 現在は、GT-R NISMOを中心に限定的に採用

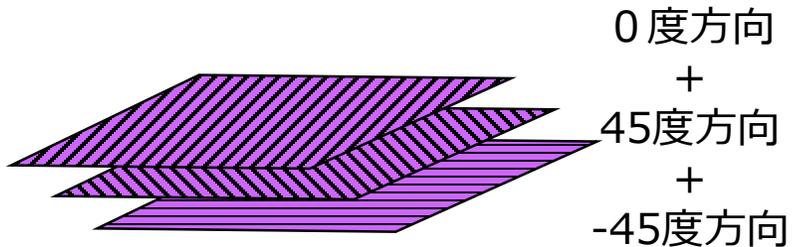
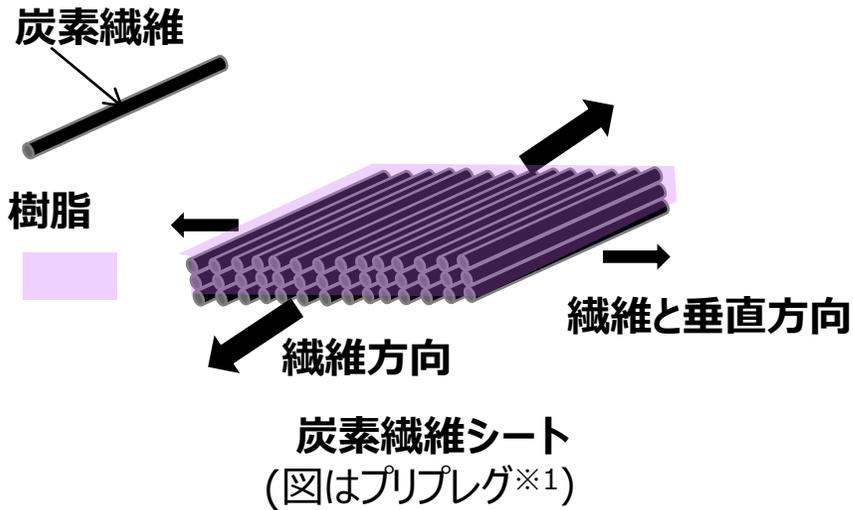


GT-R NISMO 2020年モデル

CFRP自動車部品への適用の難しさ

- 課題はコストと生産性。コストは、鉄部品の約10倍
- 材料の特性上、製造プロセスが複雑で、成形時間が長い

<材料の特性>



<製造プロセス>



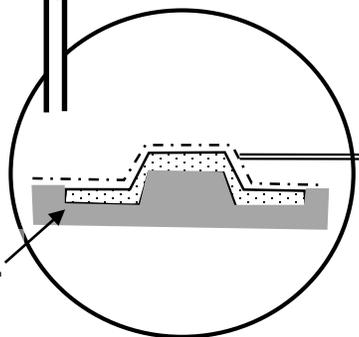
※1 プリプレグ：炭素繊維に樹脂を含浸させたシート

成形における生産スピードの革新

- 直近の約10年で大幅に生産スピードは向上
- 更なるスピード向上を目指して、成形方法は革新中

AC工法 (Autoclave)

加圧



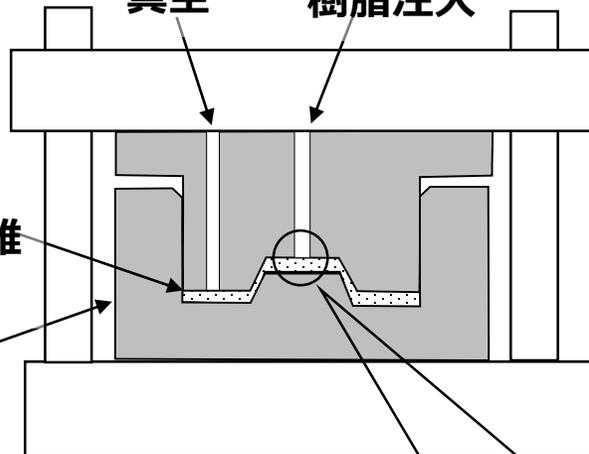
真空

約180 - 240分

RTM工法 (Resin Transfer Molding)

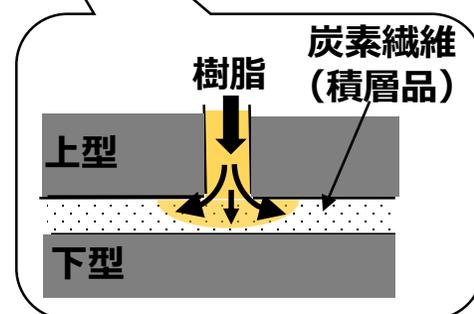
真空

樹脂注入



炭素繊維
積層品
成形型

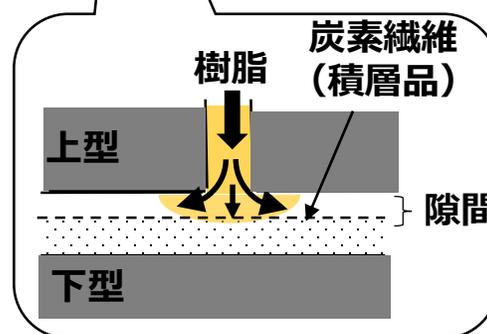
約10分



C-RTM工法 (Compression-Resin Transfer Molding)

炭素繊維
積層品
成形型

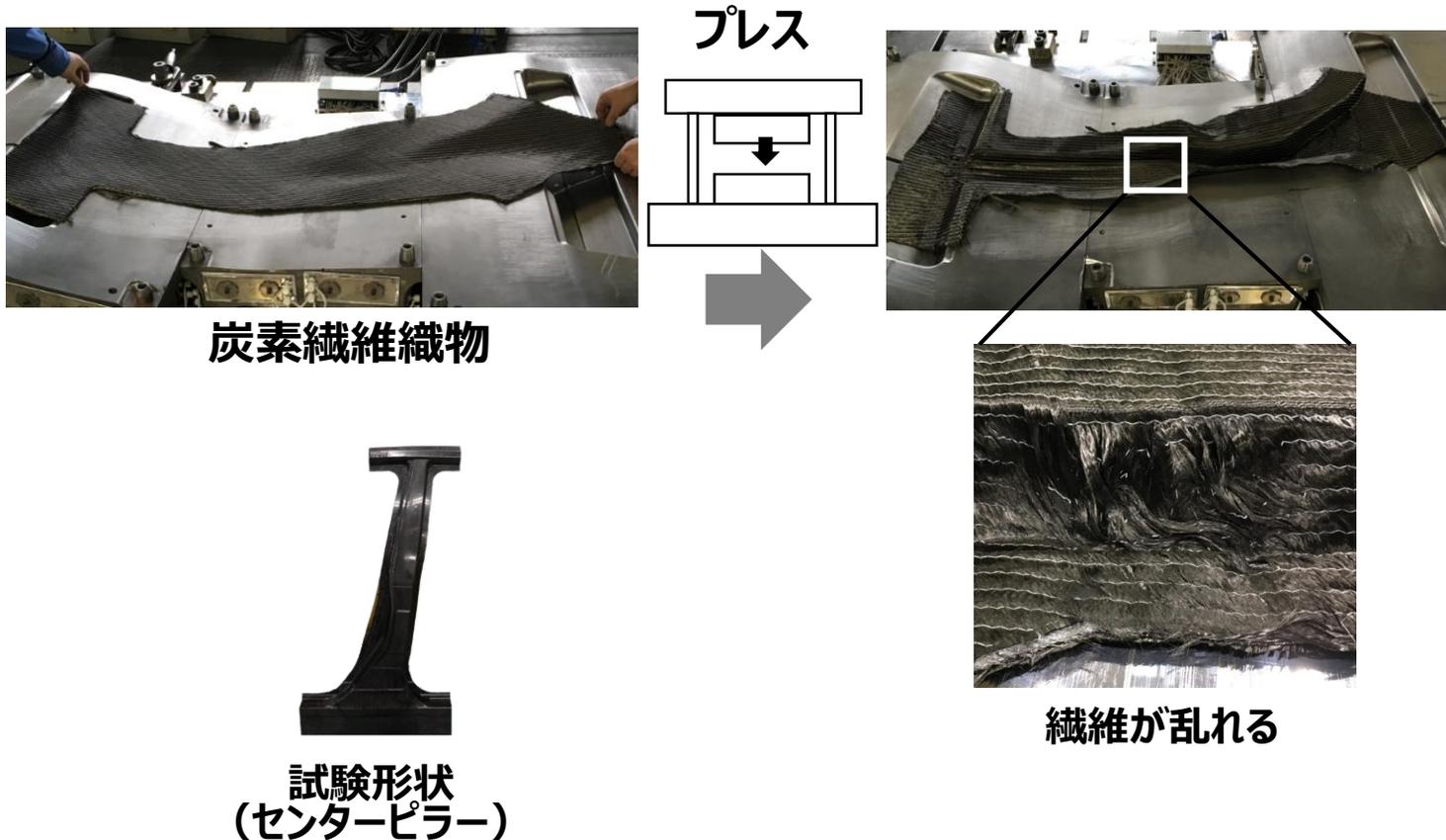
約2分



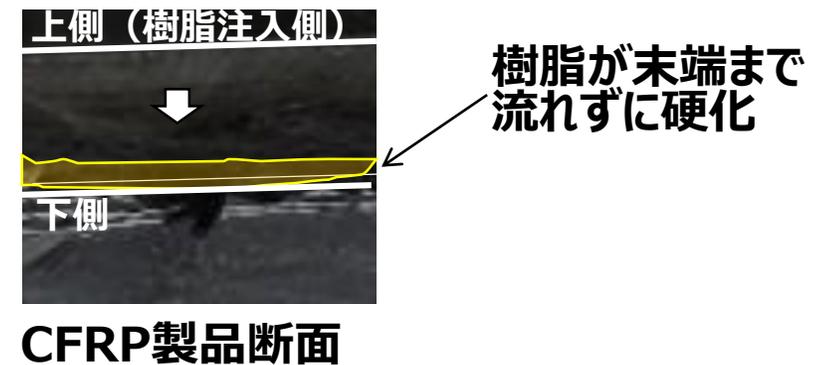
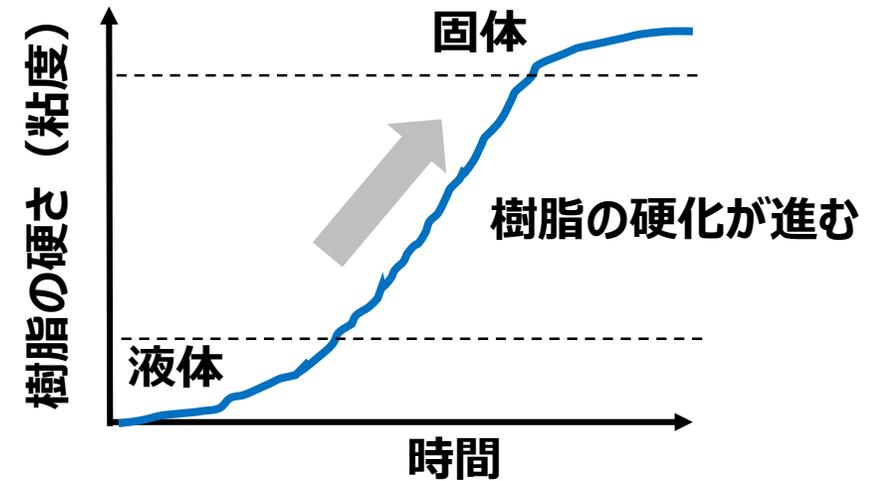
成形における技術課題

- 炭素繊維シートをプレスすると皺や折れ曲がりが発生⇒成形不良の原因
- 樹脂が固まる前に、製品の末端まで流すことが必要

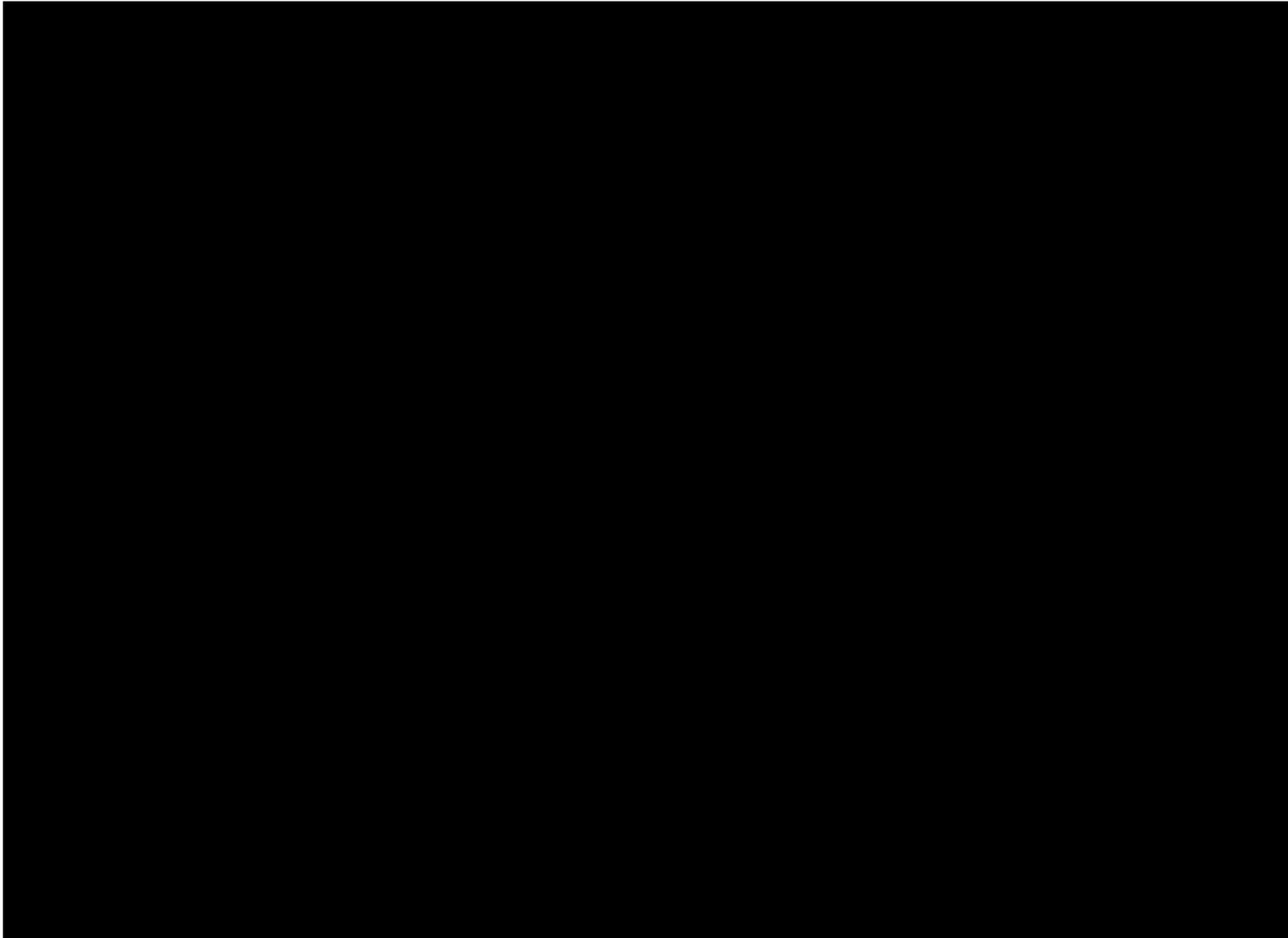
平面の炭素繊維織物を、立体的で複雑な部品形状に！



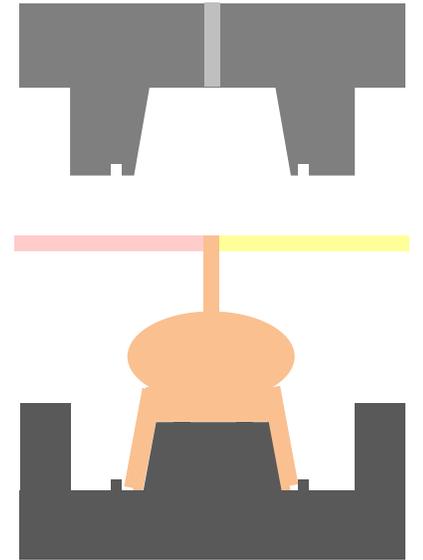
樹脂が炭素繊維の中を流れながら硬化！



C-RTMによる成形方法



炭素繊維織物

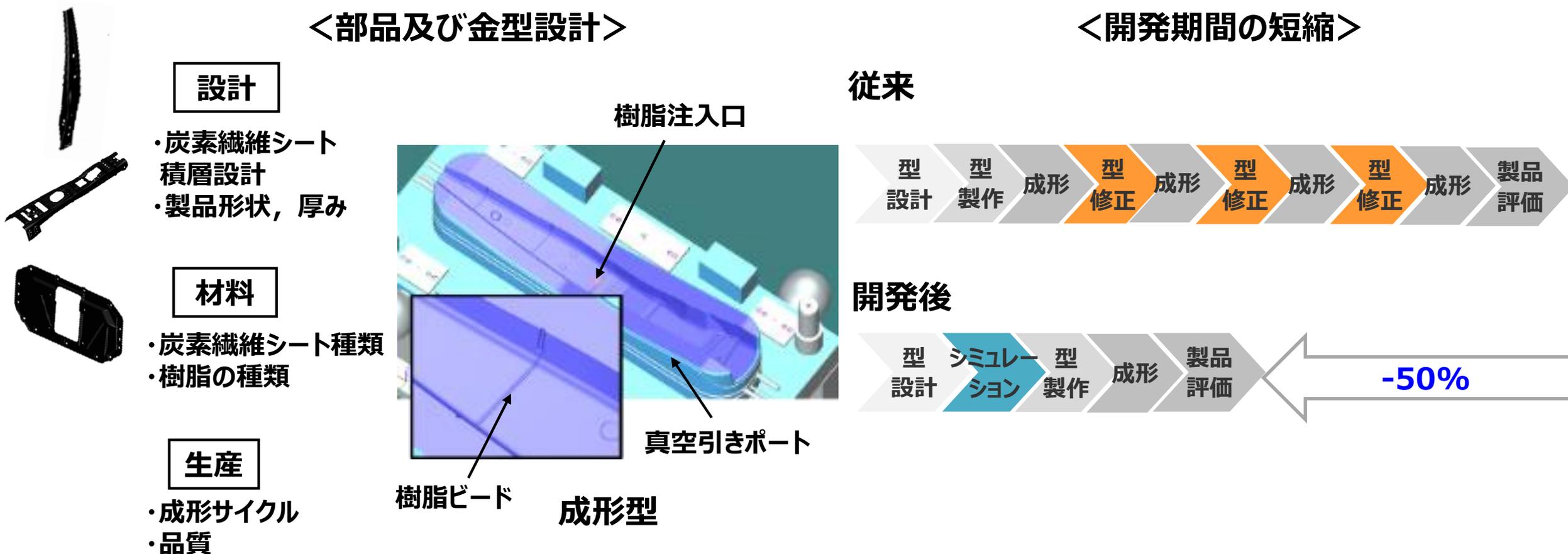


成形の模式図

C-RTMにおける 日産独自のシミュレーション開発

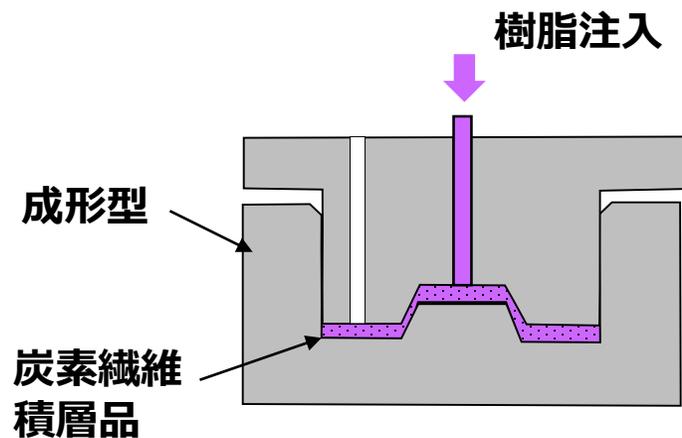
C-RTMの成形方法の技術課題

- 設計要件や材料の種類にあわせ、生産の目標を満足する部品及び金型を製作するためには、トライアル&エラーで大幅な開発期間と製作費が必要

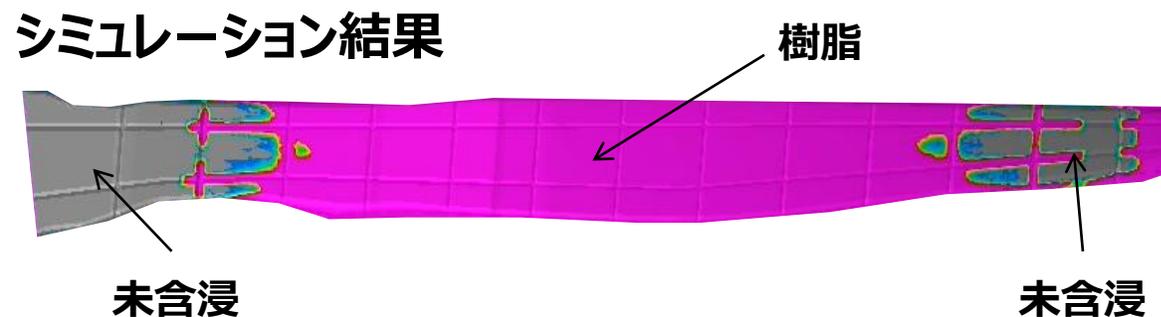


C-RTMシミュレーションの技術課題

- 既存のシミュレーションでは、最終充填時の実験結果とシミュレーション結果がアンマッチ
- 樹脂が流れない部位（未含浸）の予測が困難

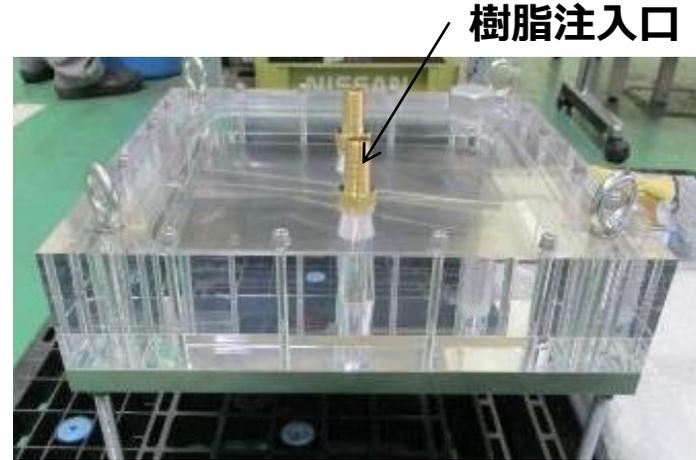
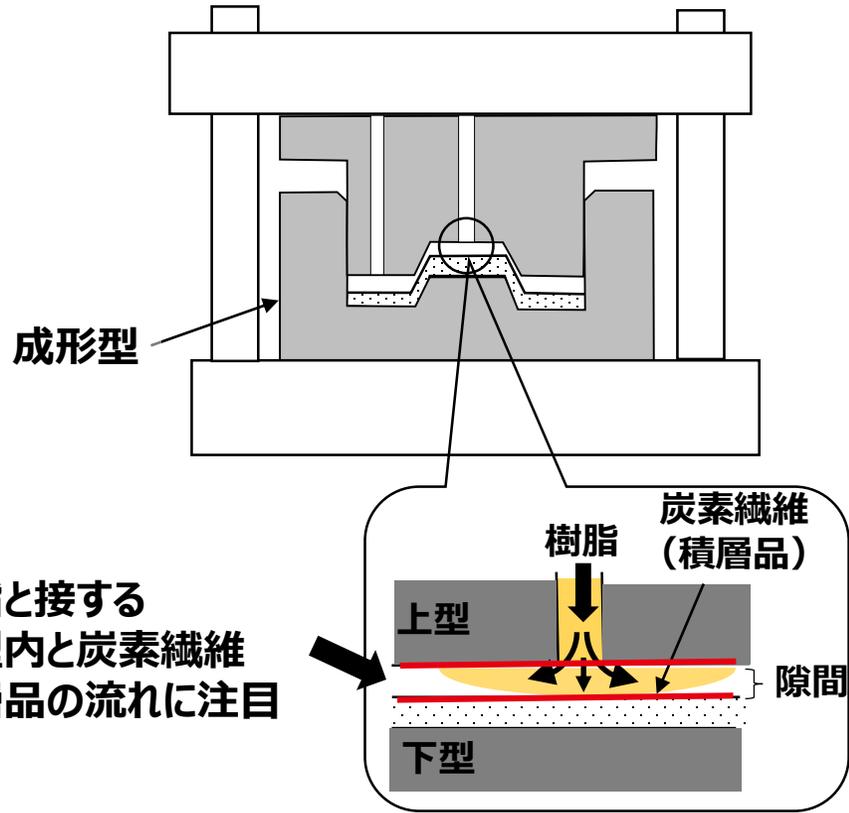


右図は製品の裏側からみた樹脂の流れの状態



樹脂含浸シミュレーション開発 ～摩擦力と樹脂の流れ～

- 炭素繊維の上を流れる樹脂の摩擦抵抗を計算条件として考慮
- 透明金型により、炭素繊維と樹脂の流れの関係を明確化

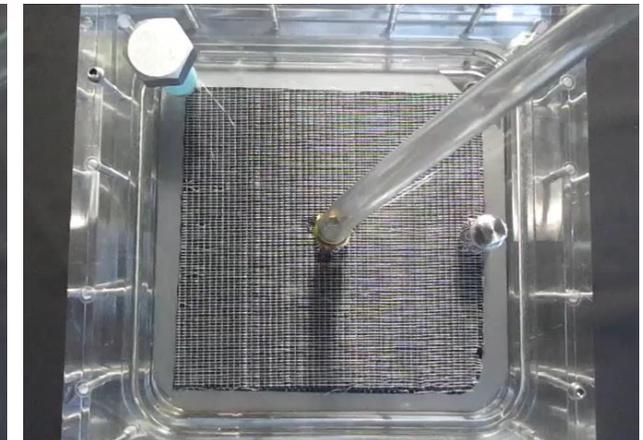


透明金型

※真上から撮影



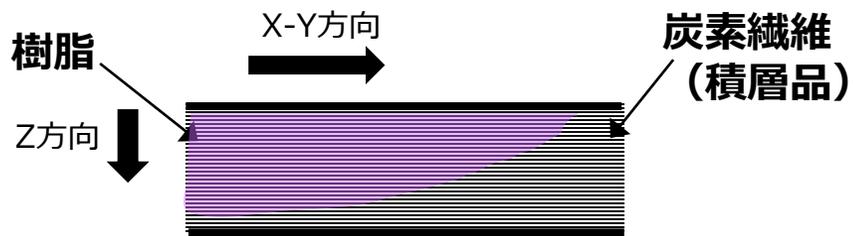
金属表面の流れ



炭素繊維上の流れ

樹脂含浸シミュレーション開発（樹脂の温度変化に着目）

- 樹脂の流れにともなう温度変化を測定し、金型内の見えない樹脂の流れを可視化
- 繊維の厚みに応じた含浸係数ロジックを算出

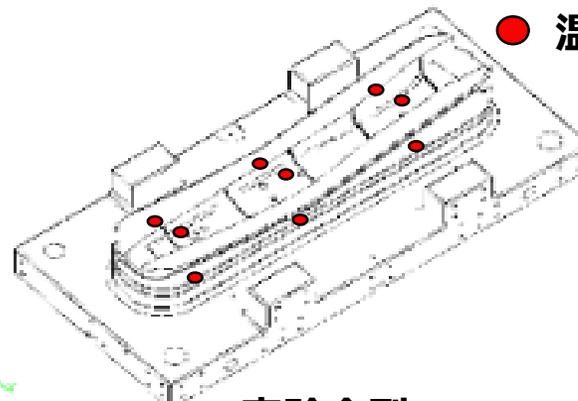


繊維の中を進む樹脂の流れ易さの係数

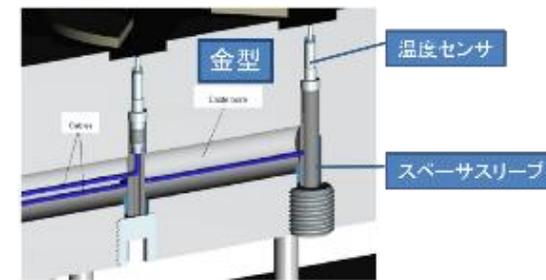
樹脂含浸係数

$$Q = - \frac{Ak}{\eta} \frac{dP}{dz}$$

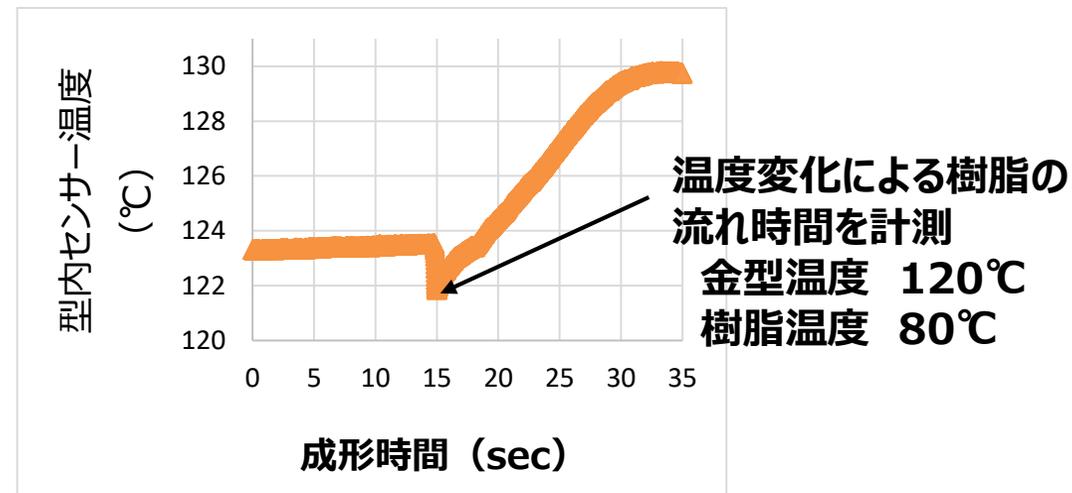
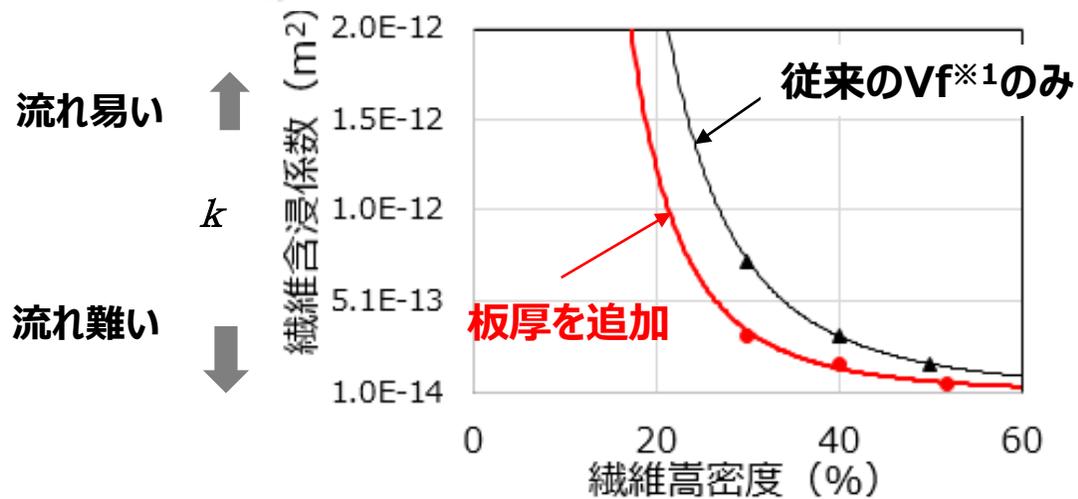
Q : 体積流量率 P : 圧力 k : 厚み方向 Permeability
 z : 厚み η : 粘度 A : 断面積



実験金型



温度センサー

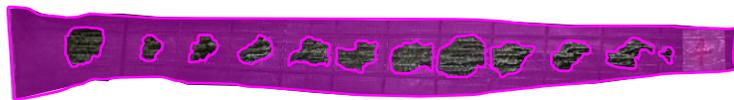


樹脂含浸シミュレーションの成果

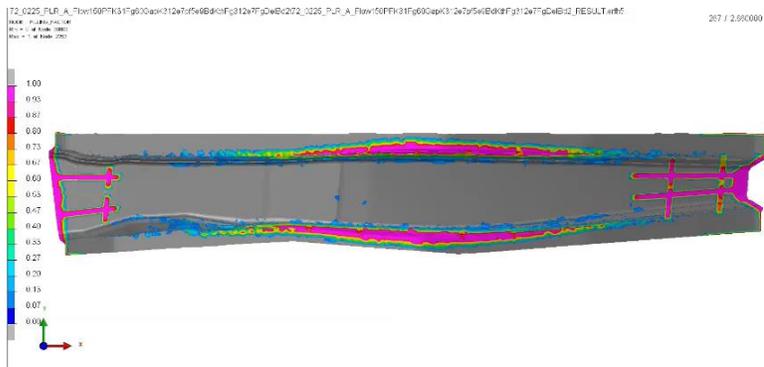
- シミュレーション精度が向上
- 本シミュレーションにより、ゲートや樹脂ビードの形状を見直し、性能を満足する部品を開発

<実験とシミュレーションの結果>

実験結果



シミュレーション結果



<本シミュレーションによる部品開発>

樹脂ビード

樹脂ビード形状変更

製品コーナR形状変更

実部品

上側

下側

未含浸部位

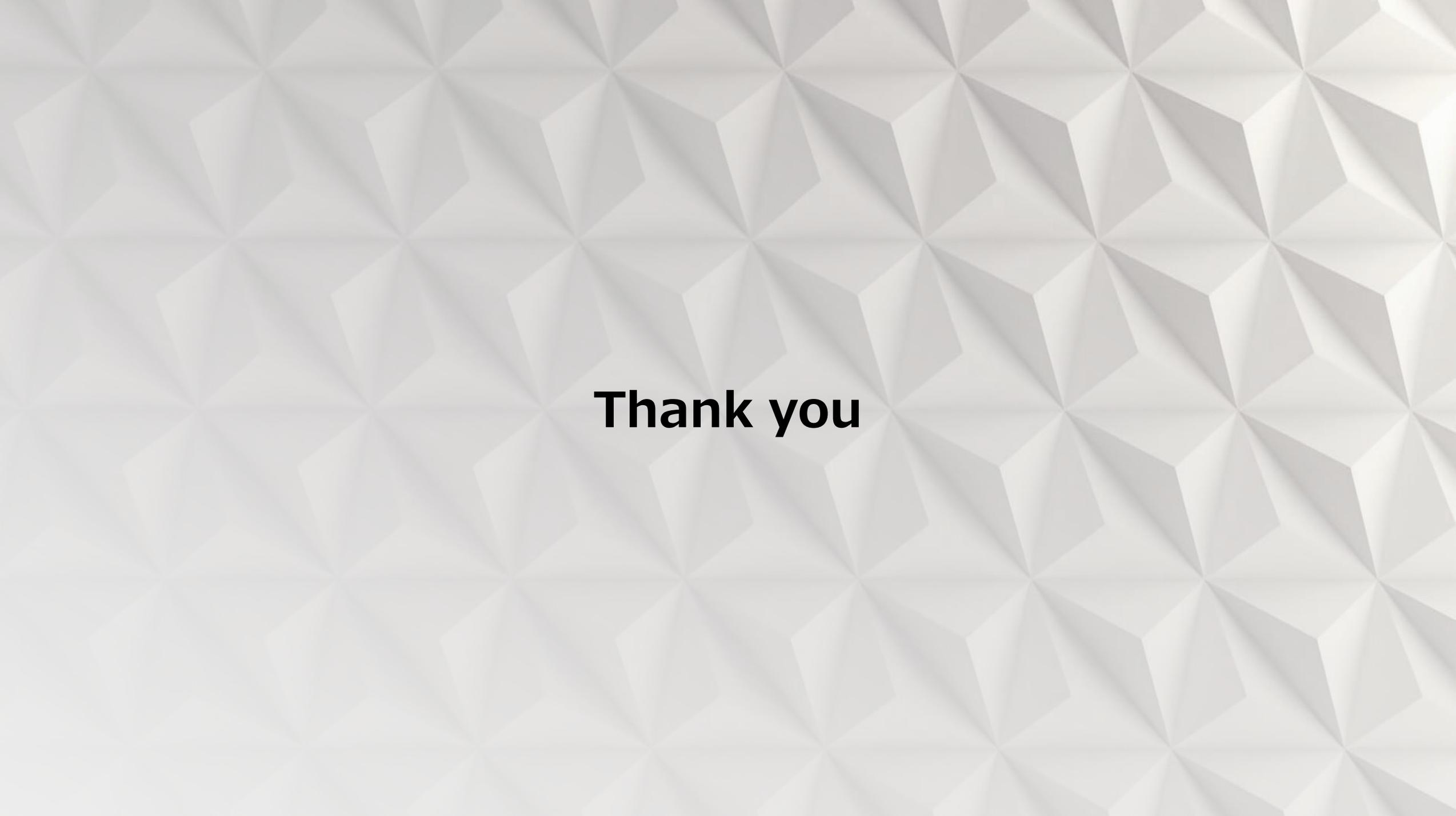
開発前

開発後

断面A-A'

センターピラーレイnfォース

NISSAN
MOTOR CORPORATION



Thank you