

# 令和5年度 重要技術管理体制強化事業成果報告書

「事業名：我が国におけるX線CTを用いた  
CPE体制構築可能性調査」

サイバー・フィジカル・エンジニアリング技術研究組合

令和5年度重要技術管理体制強化事業成果報告書  
「事業名：我が国におけるX線CTを用いたCPE体制構築可能性調査」

## はじめに

本調査事業概要

R5年度実施計画

NIO-ES8/EC6の分解・リバースによるベンチマーキングについて

## (1) 製品の計測、材料分析、データ化

- (1)－① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測
- (1)－② 製品の分解による個別部品の材料分析（機械特性、物性計測）
- (1)－③ CPEのためのデータ構築・データベース管理手法の検討

## (2) CAEモデル化による各種シミュレーションの実施と検証

- (2)－① NIO ES8 の CAE モデル化・衝突解析、EMC解析
- (2)－② NIO EC6 の解析結果との比較

## (3) 本調査の目的を達成するための我が国体制の在り方の検討

- (3)－① X線CTによるリバースエンジニアリング対策の検討
- (3)－② 我が国におけるX線CTを用いたCPE体制構築可能性の検討

## まとめ

最終成果まとめ

X線CT活用活性化に向けた課題

まとめ



# はじめに

## 本調査事業概要（実施計画書より）

技術進化の著しい最新の中国製電気自動車为例にして、部品の3D計測（車体の中での三次元的な配置とそれぞれの形状の計測）と材料分析によるリバースエンジニアリングを行い、そのデータを元にした、各種CAEシミュレーションモデルの作製と、得られたシミュレーションの検証など一連の基盤技術の試験研究を行い、また海外先行技術との比較など技術動向を把握する。これらにより、CPE技術の現時点での課題や今後の方向性などを明確にし、我が国製造業の設計生産情報の新しい展開に貢献するとともに、安全保障上で懸念されるリバースエンジニアリングによる技術情報流出対策に資することを本事業の目標とする。

# R5年度実施計画

- (1) 製品の計測、材料分析、データ化
  - (1)－① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測
  - (1)－② 製品の分解による個別部品の材料分析(機械特性、物性計測)
  - (1)－③ CPEのためのデータ構築・データベース管理手法の検討
- (2) CAEモデル化による各種シミュレーションの実施と検証
- (3) 本調査の目的を達成するための我が国体制の在り方の検討
  - (3)－① X線CTによるリバースエンジニアリング対策の検討
  - (3)－② 我が国におけるX線CTを用いたCPE体制構築可能性の検討

# NIO-ES8/EC6の分解・リバースによるベンチマーキングについて

## NIO-ES8

メーカ: 上海蔚来汽車(別名NIO) 中国EVメーカー

米NYにも上場 2021年ノルウェーで販売開始

ES8: 2019年販売開始

最新の運転支援技術を搭載

イスラエル・モビルアイ社の最新画像処理チップ

EyeQ4により実現

当初、バッテリー発火事故が発生したが、解決済と発表  
満充電時の航続距離は650km

NIO-ES8



NIO-EC6



## <ベンチマーキングの考え方>

- ◎ テスラキラーと言われ、欧米市場への展開を予定: 最高の技術(欧州支援)を搭載
- ◎ 信頼性設計の考え方: 日本車と比較したビジネスモデルの違い
- ◎ 自動車全体像を把握し、ハード・ソフト両面から調査
- ◎ 今後継続的に技術革新・イノベーション動向を把握するための基盤情報を獲得し、ノウハウを検証確立することが不可欠

## <NIO-EC6>

- ◎ バッテリー充電およびバッテリー交換設備用の広範なネットワークを備えたモバイルインターネットベースの電力ソリューションにも対応  
充電式、交換可能、アップグレード可能なバッテリーを備えた電源。全固体電池への転換も視野に入れ、最新技術を導入。

当初同種2台予定→EC6:分解(光学スキャン) ES8:非分解(XCT)

# (1) 製品の計測、材料分析、データ化

## (1) - ① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測

令和4年度までに取得した電気自動車の車両全体及び車両の分解によって得た構成部品の3D計測データをもとに、形状及び配置のデータ化を行う。また、X線CTによって測定した車両の形状を光学系スキャナー等のX線CT以外の手法により測定し、車両の各部位の寸法値などを比較することで、X線CTによる測定の精度について評価検証を行う。その際、計測手法の違いによるデータ化作業上の課題を整理し、データ化の簡便化・自動化に必要な事項の調査検討を行う。なお、X線CTのスキャンデータだけでは検証できない場合は、必要に応じて測定工具や光学系スキャナー等のX線CT以外の手法により測定を行う。X線CT以外の手法により測定する部品は、X線CTによる計測結果と比較することにより、X線CTの測定精度の評価を効果的に行える部品を選定し、その部品に限って行うものとする。

## (1) ー① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測

### 今年度実施内容

- ① EZRTで撮像したNIO ES8のX線CTデータのセグメンテーション
- ② BiWの入手と光学スキャンによる計測及びデータ化
- ③ 光学スキャンデータを用いて、X線CTデータからの関心領域（BiW）の抽出実施
- ④ CAE用中立面モデルの作成

### 今年度成果

- ① 鉄、アルミ、樹脂などの密度違いの材料によるセグメンテーションはノイズの発生レベルの低いところでは可能であるが、同一素材の部品レベルのセグメンテーションはノイズの有無に関わらずできなかった。よって、今期対象部品であるBiWの抽出もできなかった。  
EZRTから受領できたデータがCT再構成済みのデータのみで透過画像が入手できなかったため、画像処理などCT再構成時のソフトによるデータの画質改善がトライ出来なかった。
- ② 日本能率協会から入手し、光学スキャン完了。STL化完了
- ③ 光学スキャンデータを基にBiWの抽出できたが、ノイズの影響と解像度不足により、境界面の抽出が困難でCAE（CAD）モデル作成に対応できるレベルのSTL化ができなかった。
- ④ R4年度はCAE領域で中立面メッシュの作成を実施したが、今期は計測領域で実施した。  
R4度同様ソフトウェア「ANSA」によるSTLからCAEメッシュ化、中立面メッシュ作成を実施。

### 今後の課題

- ・EZRTの装置の性能を上回る高解像度、低ノイズのCT構築ができる新たな装置の開発が必要。
- ・ハード開発と並行し、ノイズ低減やセグメンテーション技術を含めた国産ソフトの開発が必要。

## ワークフロー

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

### 0, N I O E S 8 X線CT撮像、再構成データ



### 1, X線CTデータのセグメンテーション



市販ソフトウェア「VG STUDIO MAX」でセグメンテーションを実施⇒セグメンテーションが出来ず、BiWのみのSTL化できず。  
市販ソフトウェア「VG STUDIO MAX」の関心領域（今回はBiW）のみを抽出する機能⇒この機能を活用する手段を模索。

### 2, N I O E S 8の国内入手



名古屋大学で電動用部品の研究中の車体を引き取り  
BiWを光学スキャンし、関心領域のSTLデータ作成を実施する。

### 3, 車両のB i W化



実車から不要部品を外してBiWのみの状態にする。  
シーラーや制震材などを剥がし、部品分割を可視化。

### 4, 光学スキャンとSTLデータ（リファレンス作成）



ボディ面全体に艶消し処理。ターゲットシールの貼付。  
B i Wの可視面を計測し、部品ごとにデータ分割したSTLデータを作成。

### 5, X線CTデータから関心領域（B i W）の抽出



VG STUDIO MAXによる光学スキャンデータを用いた関心領域の抽出。  
抽出データを用いた大学研究ソフトによる板厚セグメンテーションと中立面作成。

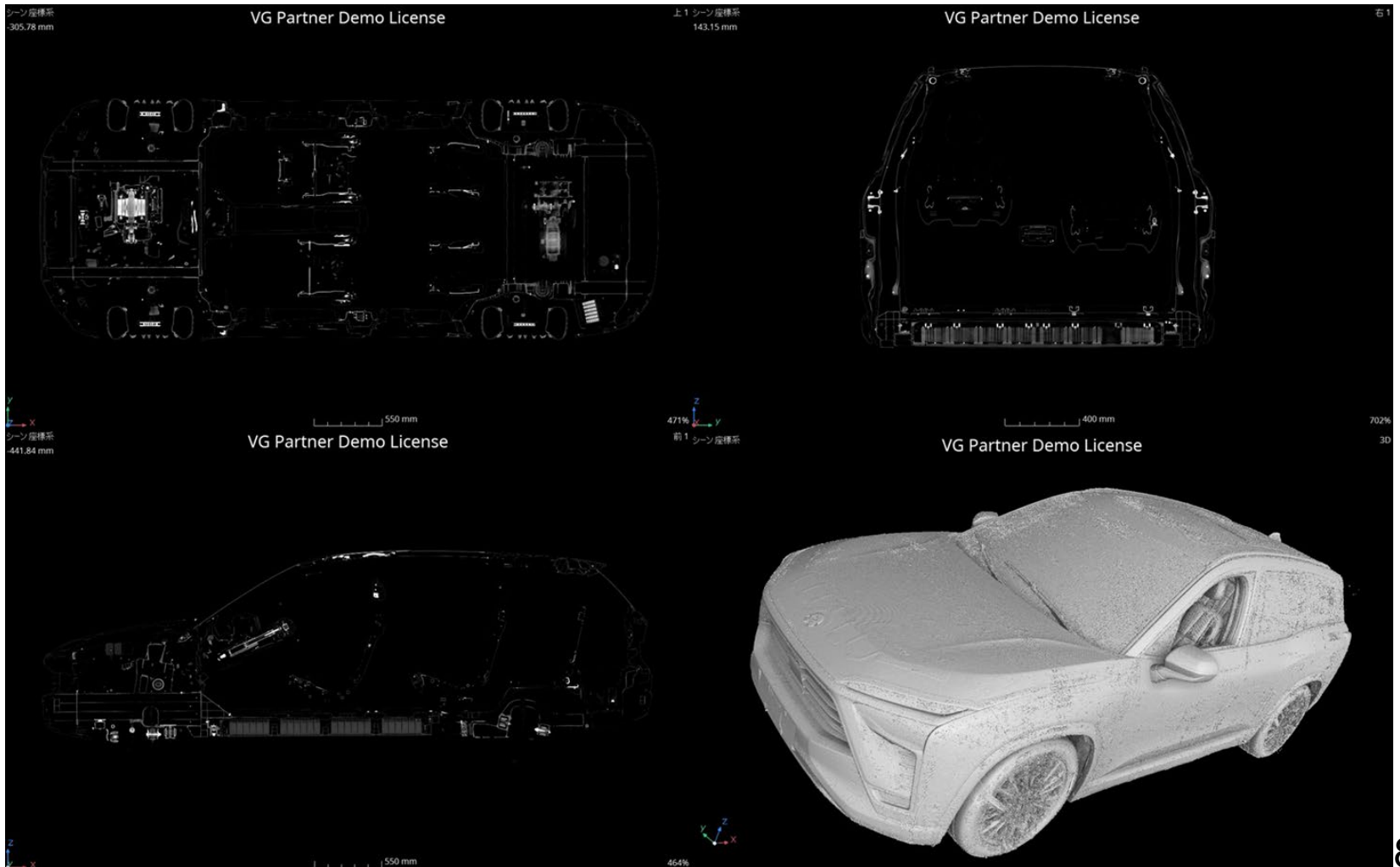
### 6, C A E用中立面メッシュ作成

X線CTデータからのBiWデータ化が困難。  
光学スキャンデータを主に、衝突、EMC解析用CAEモデルの中立面メッシュを作成。

# E Z R T N I O E S 8 C T D a t a 確認

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

VG studio MAXにて、車両一台分の計測データ（約300GB）読み込み成功  
Dataを開くだけで約1時間  
Dataを取り扱う事が可能なPCが設備最上位機種のみ（1.5TB RAM搭載）

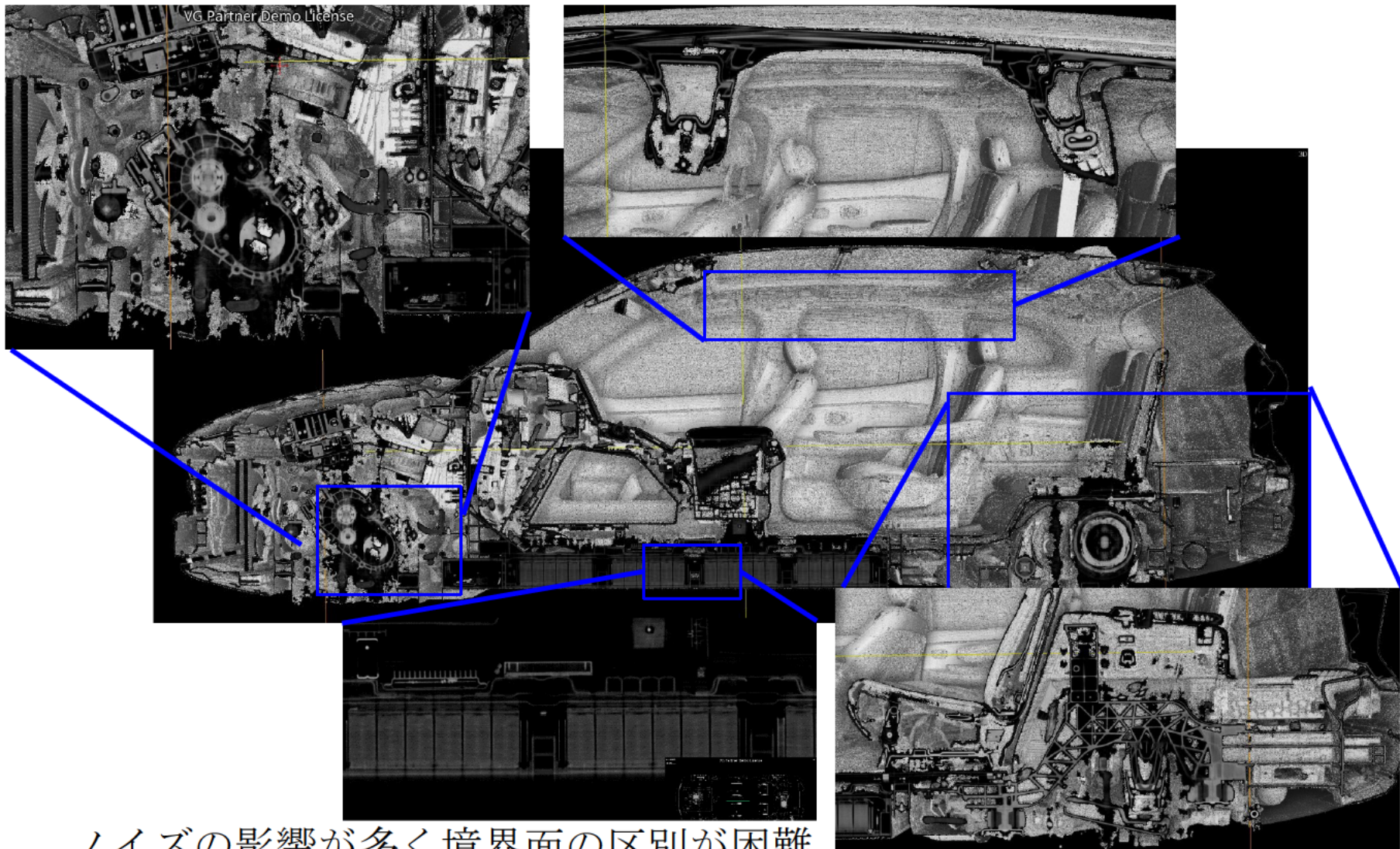




## ES 8のX線CTデータからのデータ化

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

- ・ 車体丸ごと一台からのデータ化のCT DataからBiWのData抽出
- ・ CT DataからSTL化/セグメンテーションを行う方法検討

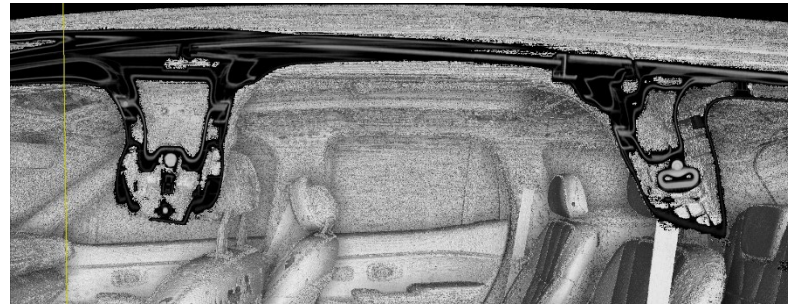
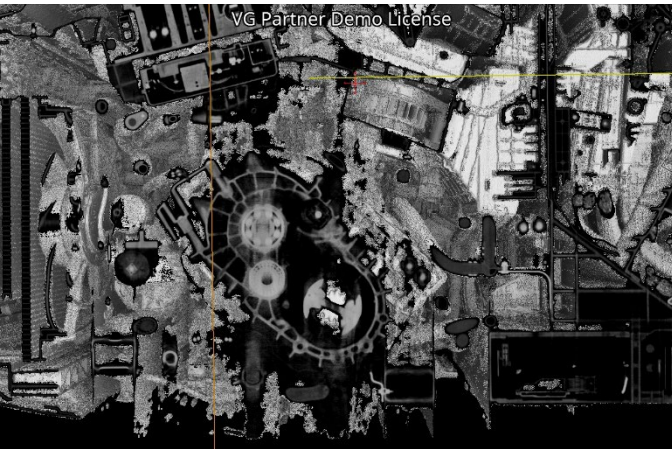




## ES 8のX線CTデータからのデータ化

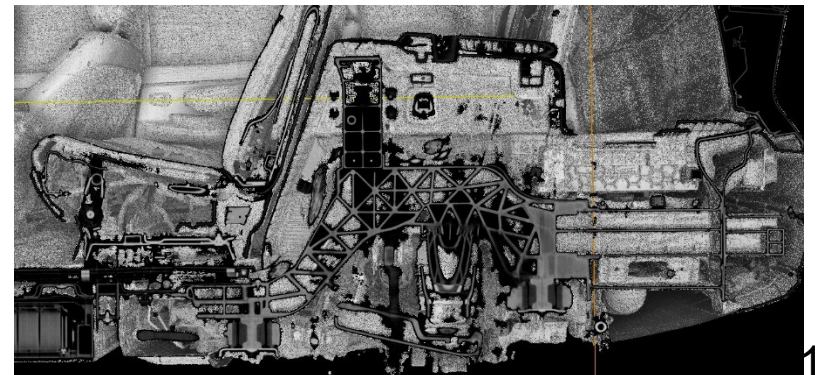
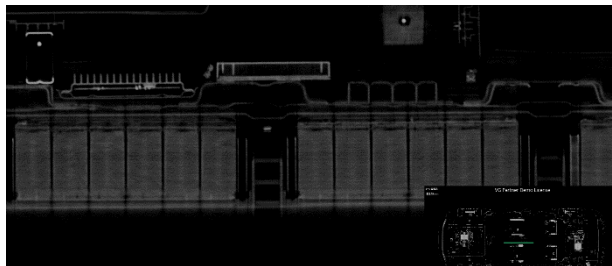
(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

- ノイズの多いCT DataをSTL化
- 同一素材隣接部のセグメンテーションを行う方法検討



密度の違う材料によるセグメンテーションはノイズの発生レベルの低いところでは可能であるが、同一素材の部品レベルのセグメンテーションはノイズの有無に関わらず区別、抽出することは非常に困難で現実的には不可能。

よって、今期対象部品であるB i Wの抽出もできなかった。



## E S 8 の X 線 C T データからのデータ化

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

VG Studio MAXを使用して直接CT DataからBiWのSTL化を行うことは困難と判断して、他のCT市販ソフトを検討してみる

- RETOMO/ANSA  
288GBのCT Data読み込み不可
- Simpleware  
288GBのCT Data読み込み不可

VG Studio MAXにて、CT Dataの諧調を16bitから8bitへダウンサイジング行い読み込みの問題は解消できたが、グレースケールの諧調を犠牲にしたため、そもそも境界面が更に不明確になってしまった。（共有は出来たが解像度が落ちた）



VGソフトにはCADデータなど基に関心領域を抜きだす機能があり、CAD DataなどレファレンスDataを基にBiW部分の抽出してSTL化を検討

## N I O E S 8 の国内入手

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

別途入手したN I O E S 8を用いて、光学スキャンによる3Dデータを作成する。  
これをレファレンスにして車両一台分のX線CTデータからホワイトボディ部分を抽出する。

B i Wで入手のはずが、以下の状態で搬入された。  
光学スキャンできる状態にするため、部品バラシからスタートとなり工数が必要となった。

ドア等のふた物部品  
シャシー部品  
車体内の配線類  
キャビン内  
・アンダーカバー  
・ドアライニング  
・シール類  
・カーペット  
e t c . . .



モータールーム内（前）



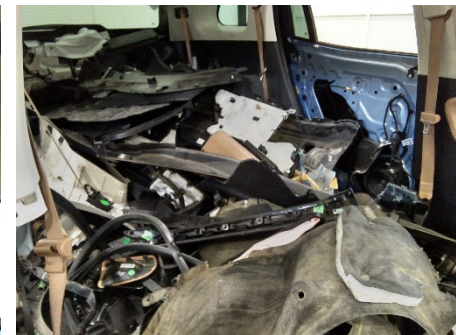
モータールーム内（後）



サンルーフ



キャビン内





## 車両のB i W化

(1) -① X線C T及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

実車から不要部品を外してB i Wのみの状態にする。  
シーラーや制震材などを剥がし、部品分割を可視化。

### ① モータールーム (シャシー部品) 離脱





# 車両のB i W化

(1) -① X線C T及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## ② 内装部品離脱



## ③ B i W化とシーラー、制振材剥離





## 車両のB i W化

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

### ④ B i W化完了





# 光学スキャンとSTLデータ作成

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## ① 計測準備

光学スキャナの反射によるノイズ低減のため、艶消し用のラッカースプレーを塗布  
ターゲットシールの貼付



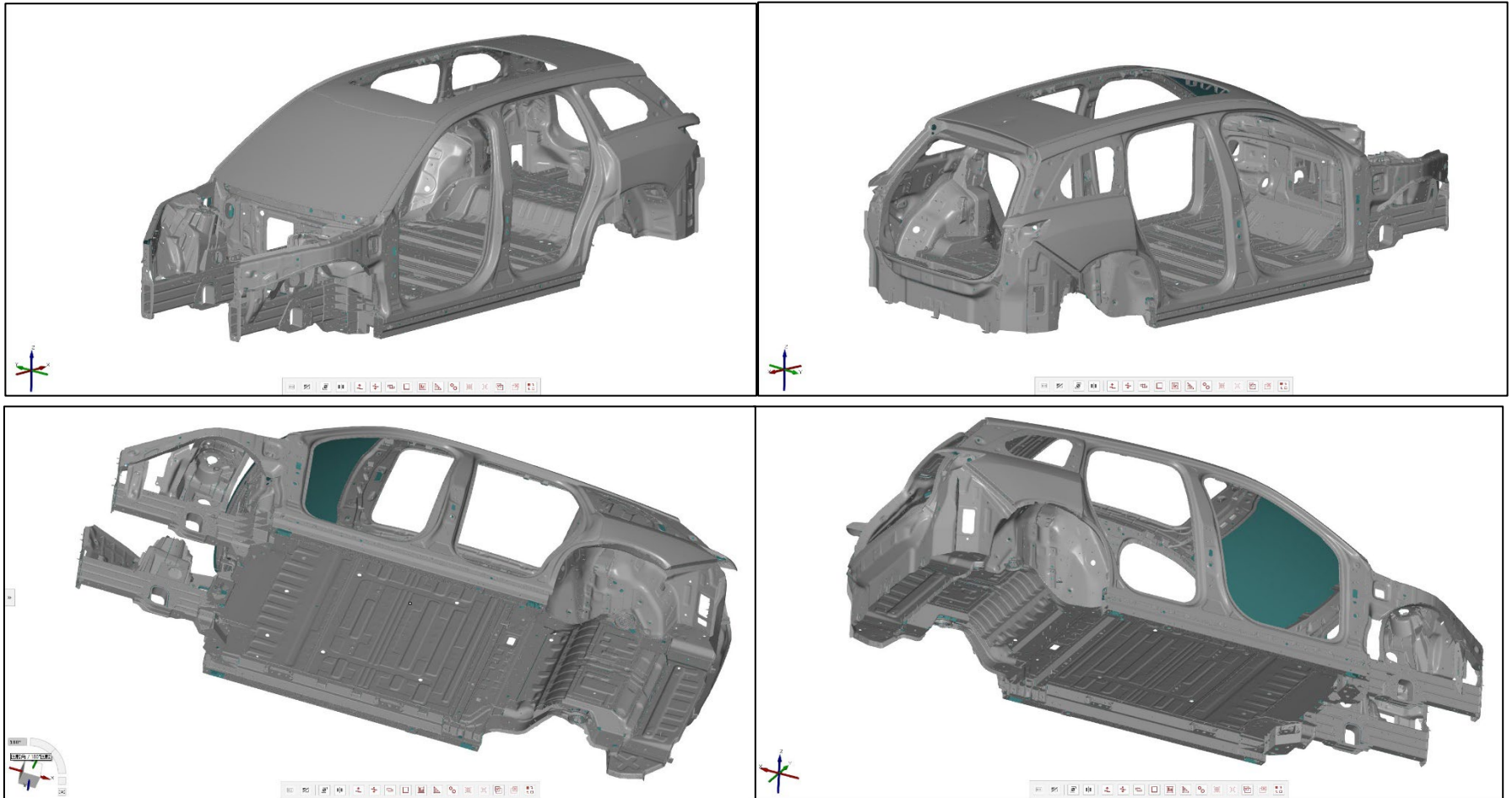
# 光学スキャンとSTLデータ作成

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## ② 計測データ

使用計測器：Go!SCAN 3D (CREAFORM)

処理ソフト：VXelements, GOM Inspect





# 光学スキャンとSTLデータ作成

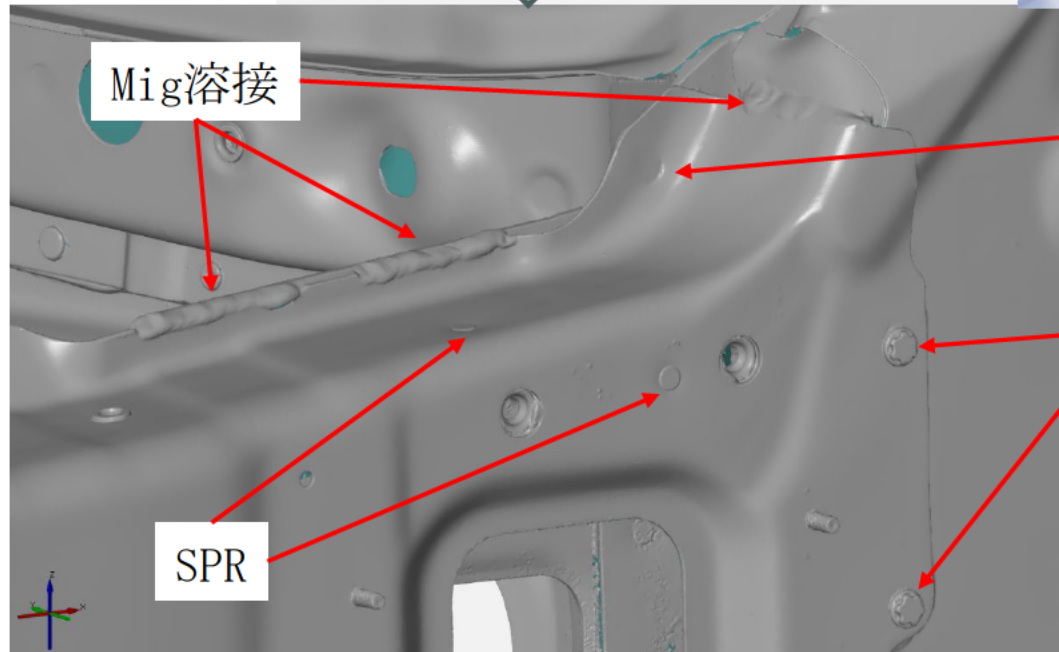
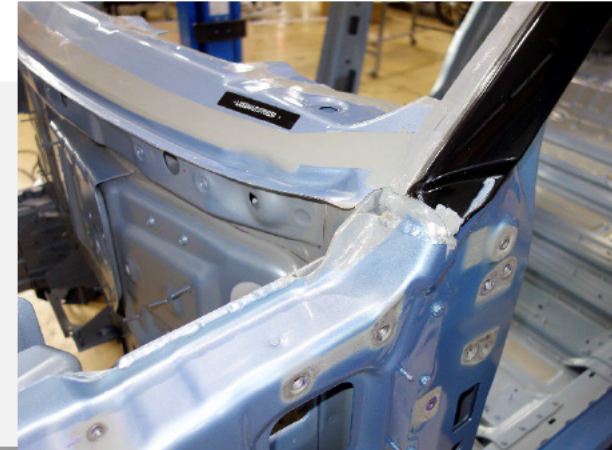
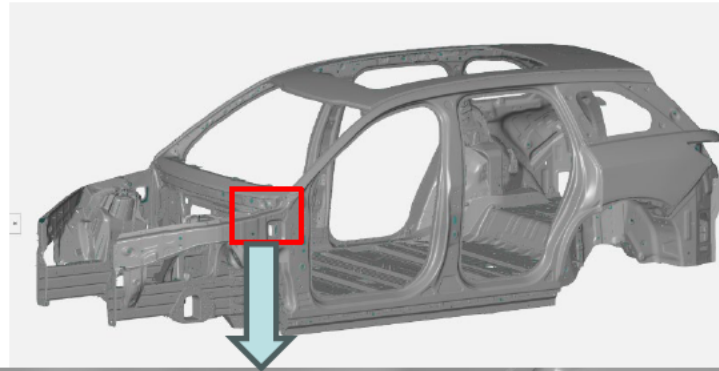
(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## ③ 締結データの作成

計測データおよび現物を確認しながら作成。

次ページ以降に締結方法別に作成したデータをまとめた。

例) Aピラー付け根周辺



SPOT溶接

FDS

SPR : Self-Pierce Riveting  
FDS : Flow Drilling Screw

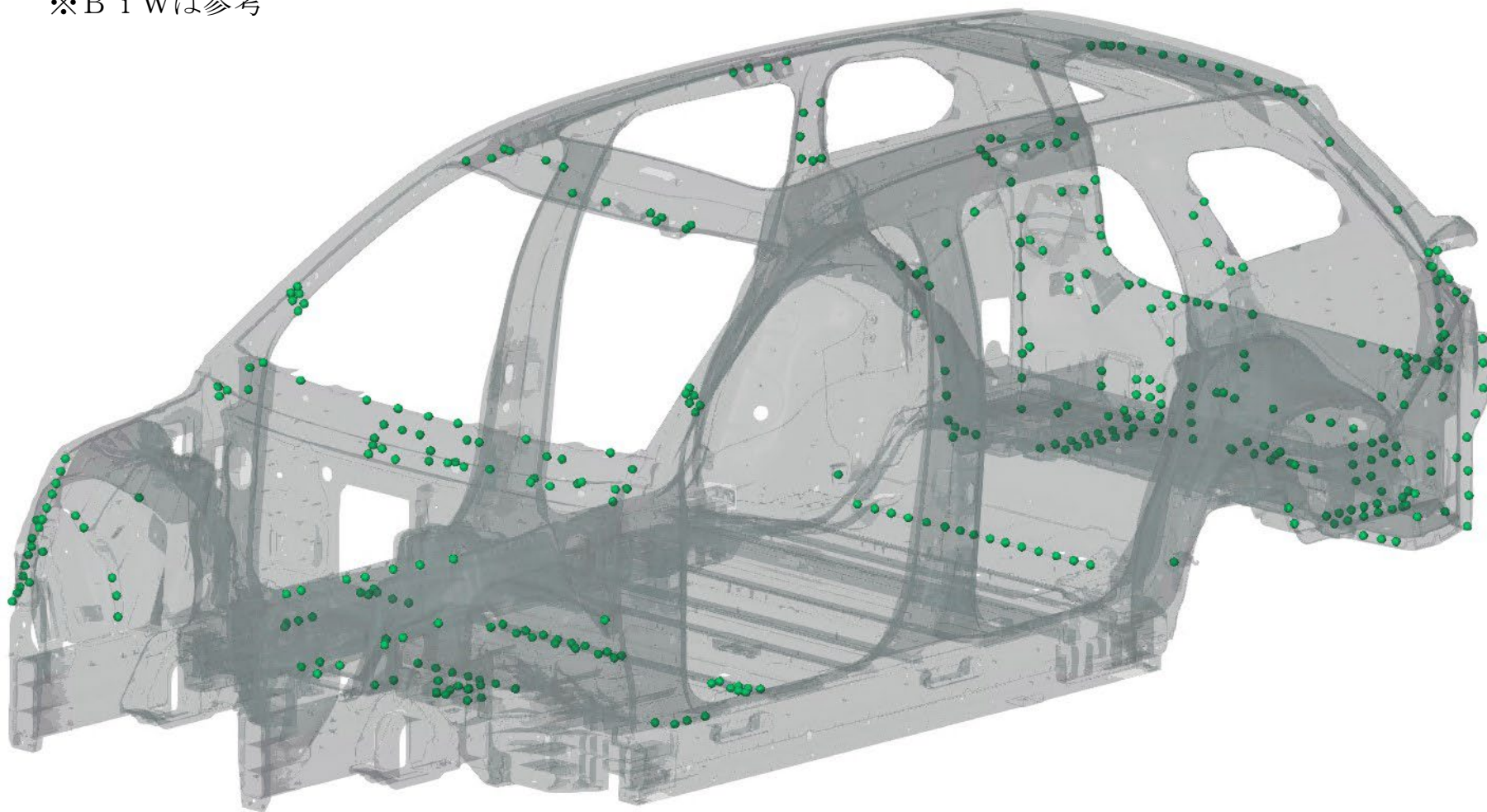


# 光学スキャンとSTLデータ作成

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## ● 2枚SPOT

※B i Wは参考

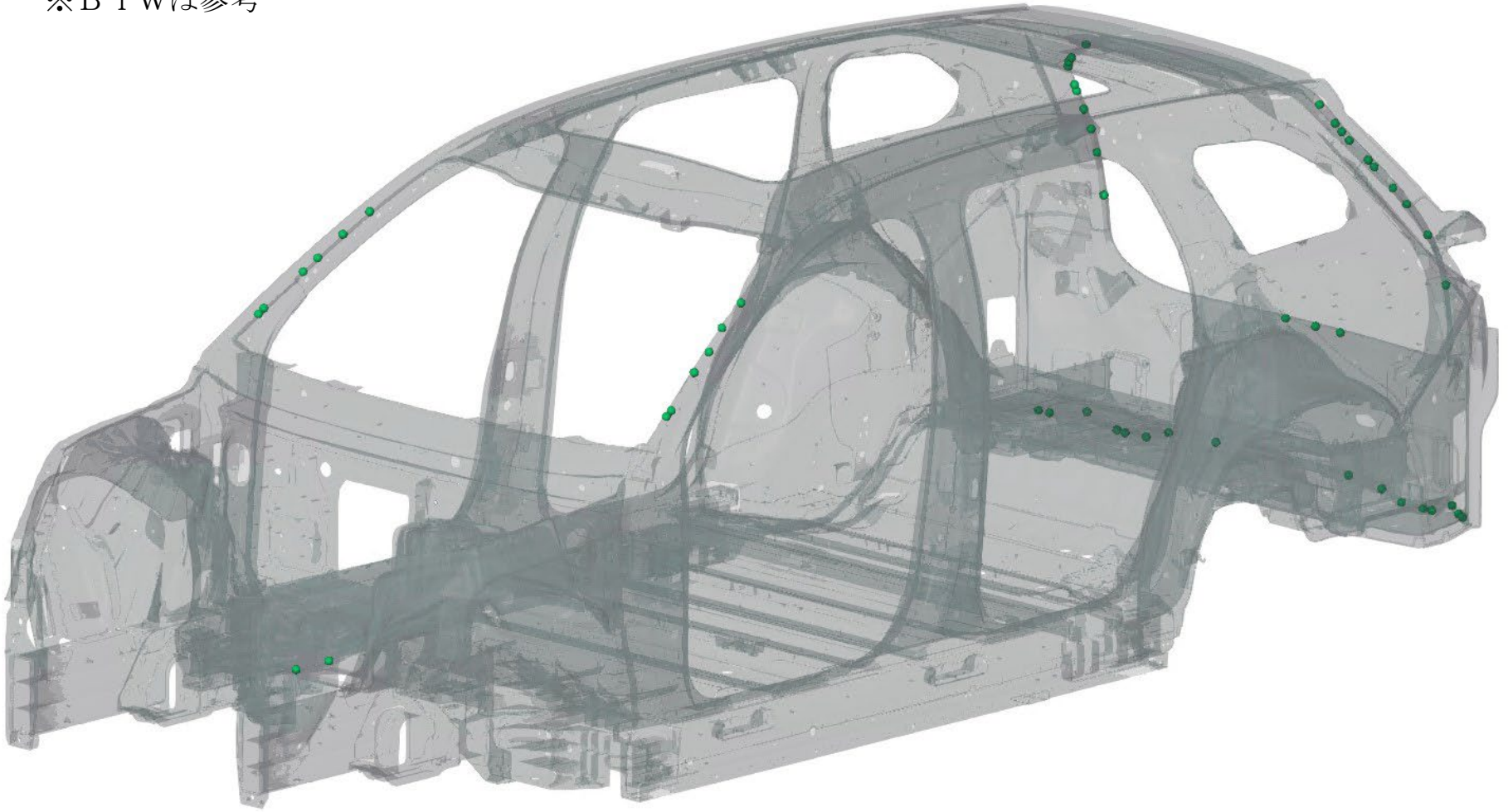


# 光学スキャンとSTLデータ作成

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## ● 3枚SPOT

※B i Wは参考



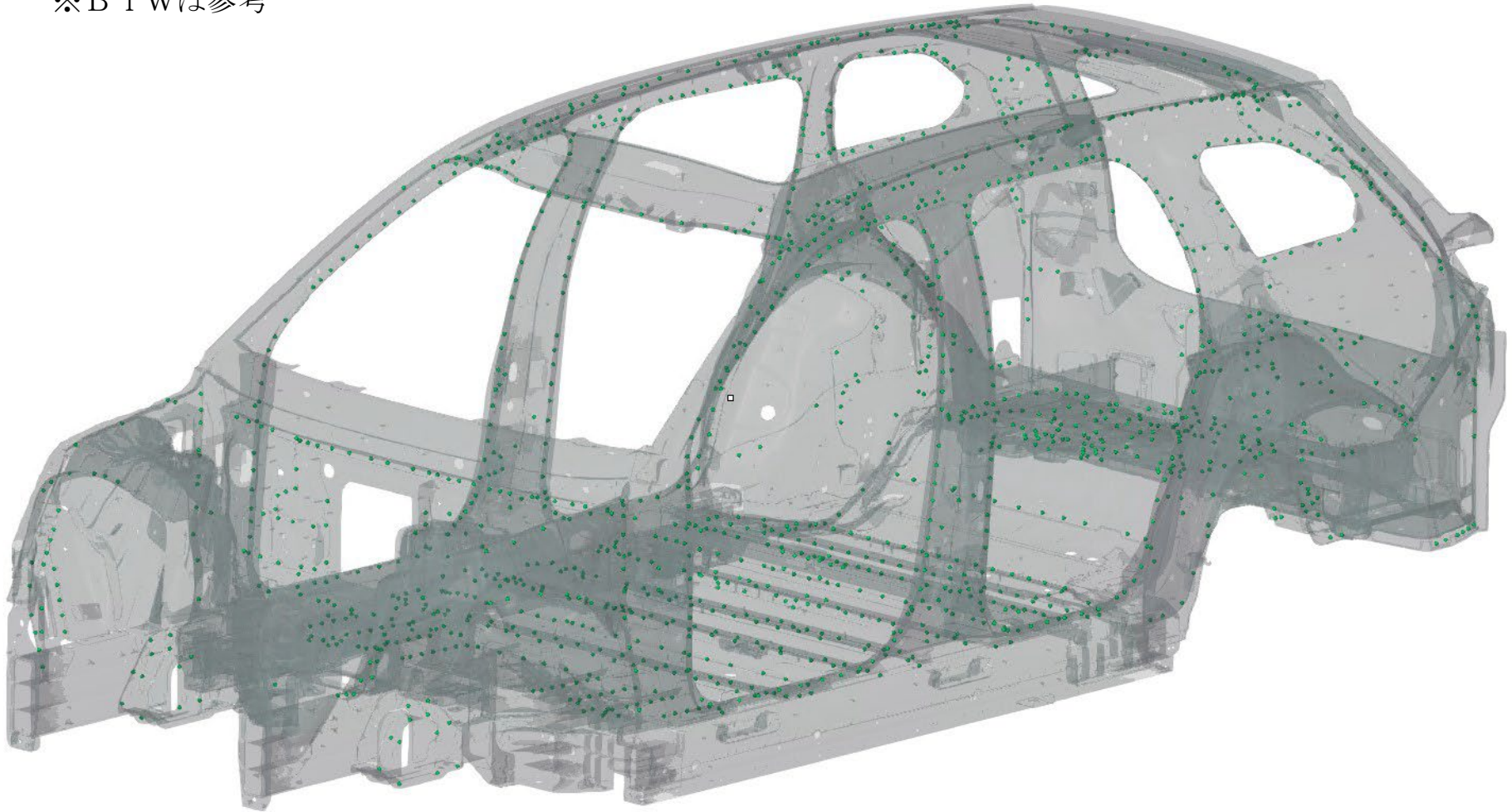


# 光学スキャンとSTLデータ作成

(1) ① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## ● SPR

※B i Wは参考



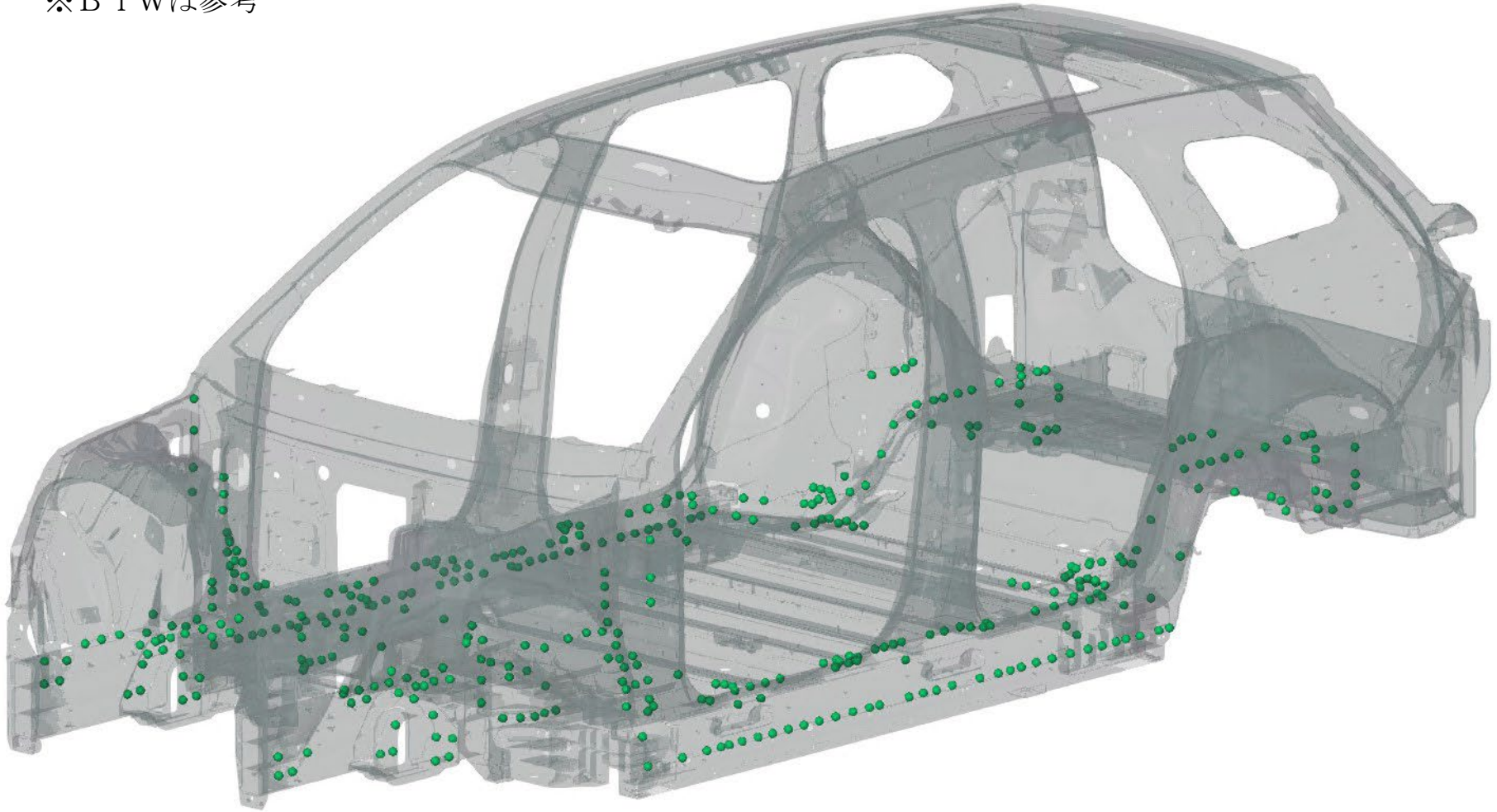


# 光学スキャンとSTLデータ作成

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## ● FDS

※B i Wは参考

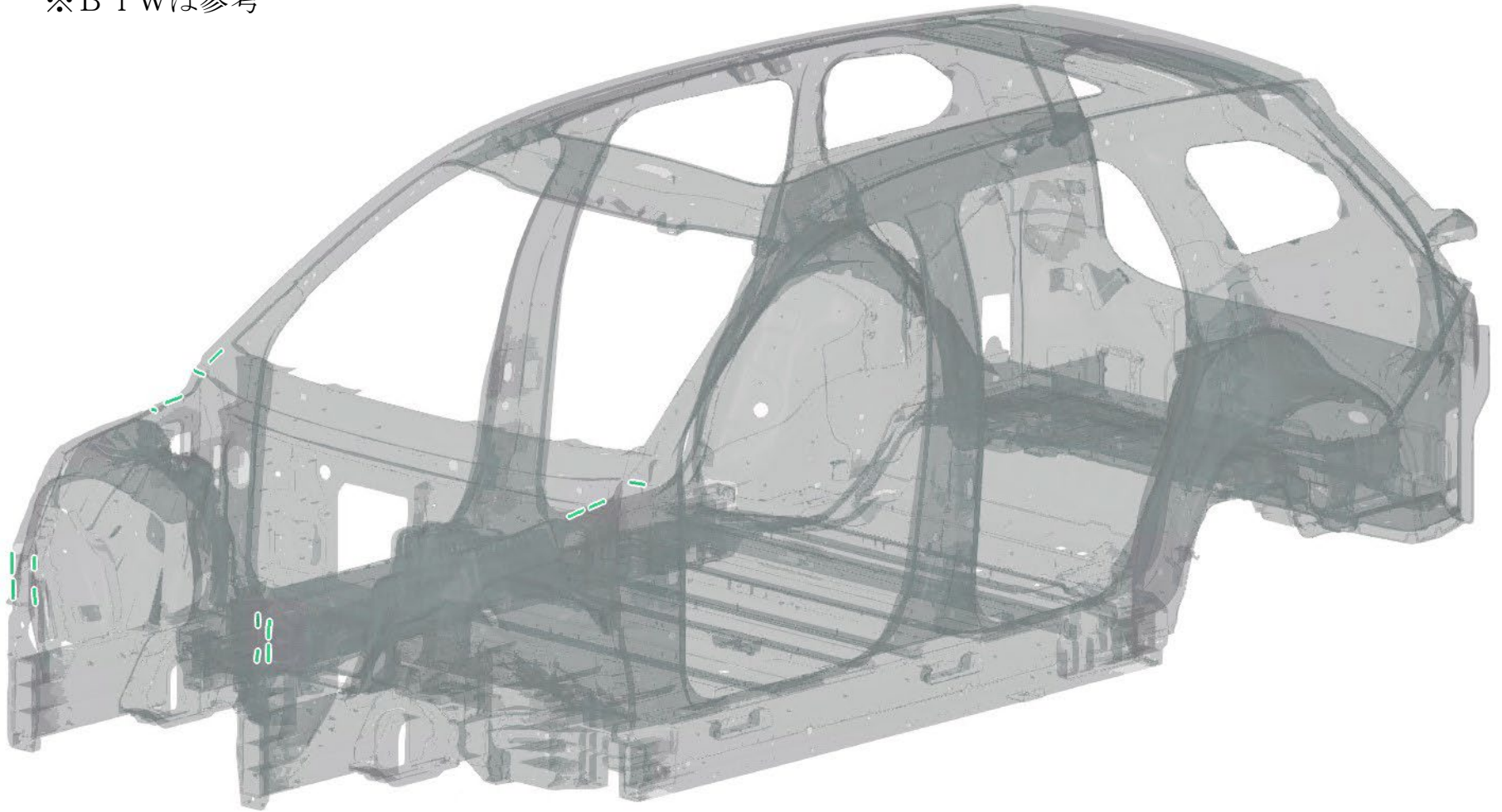


# 光学スキャンとSTLデータ作成

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## ● シーム溶接

※B i Wは参考

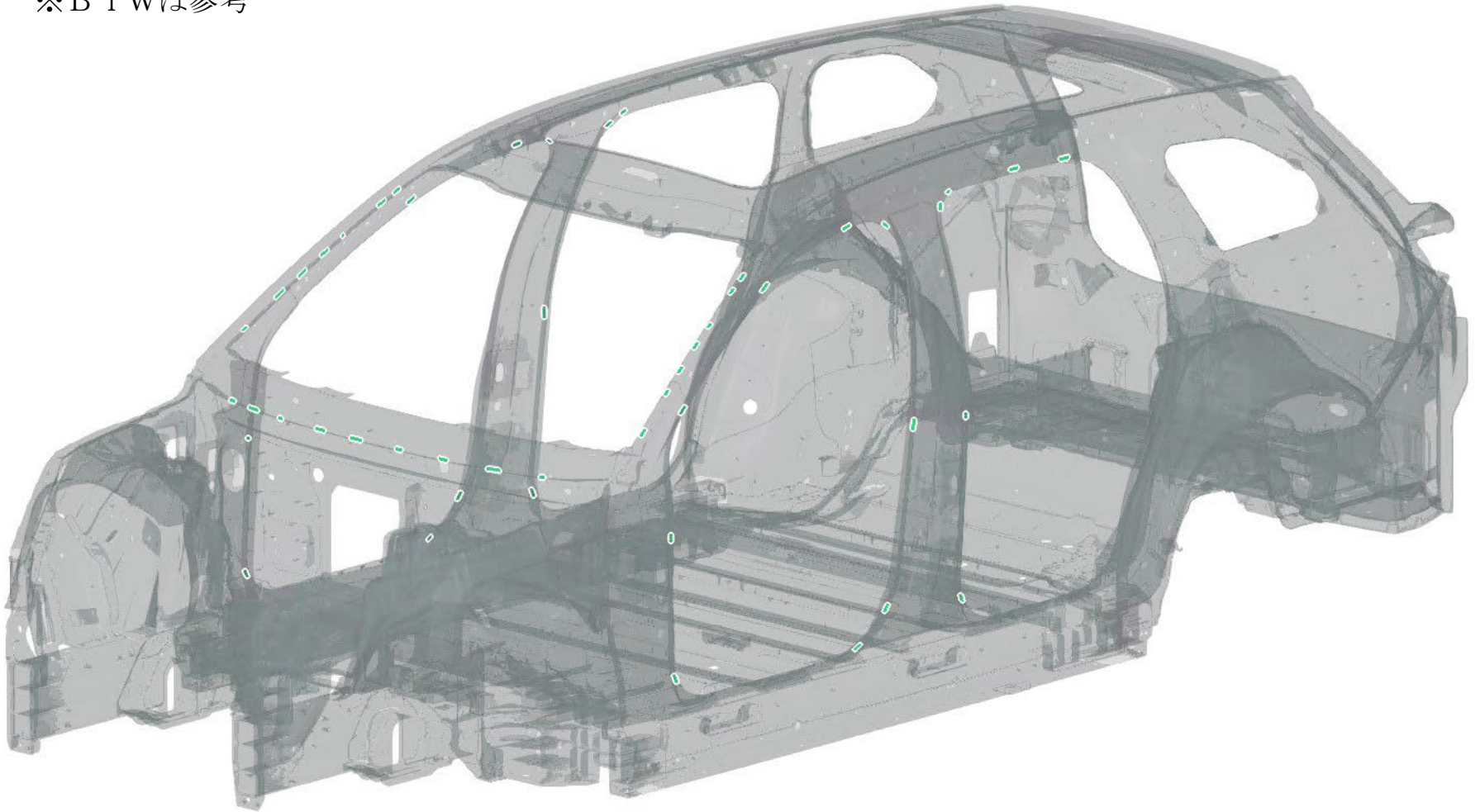


# 光学スキャンとSTLデータ作成

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## ● レーザー溶接

※B i Wは参考

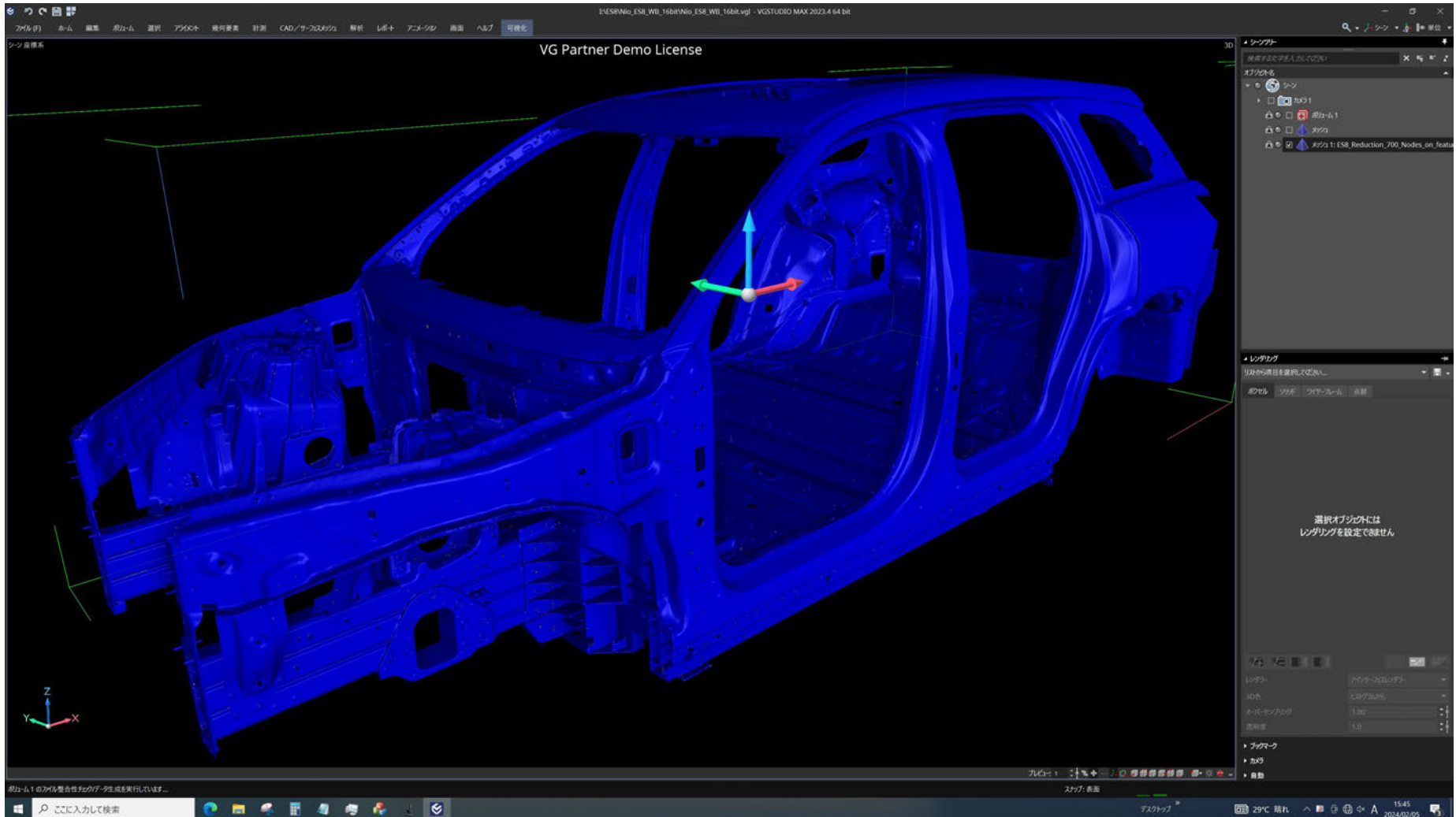




## X線CTデータから関心領域（B i W）の抽出

(1) ① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

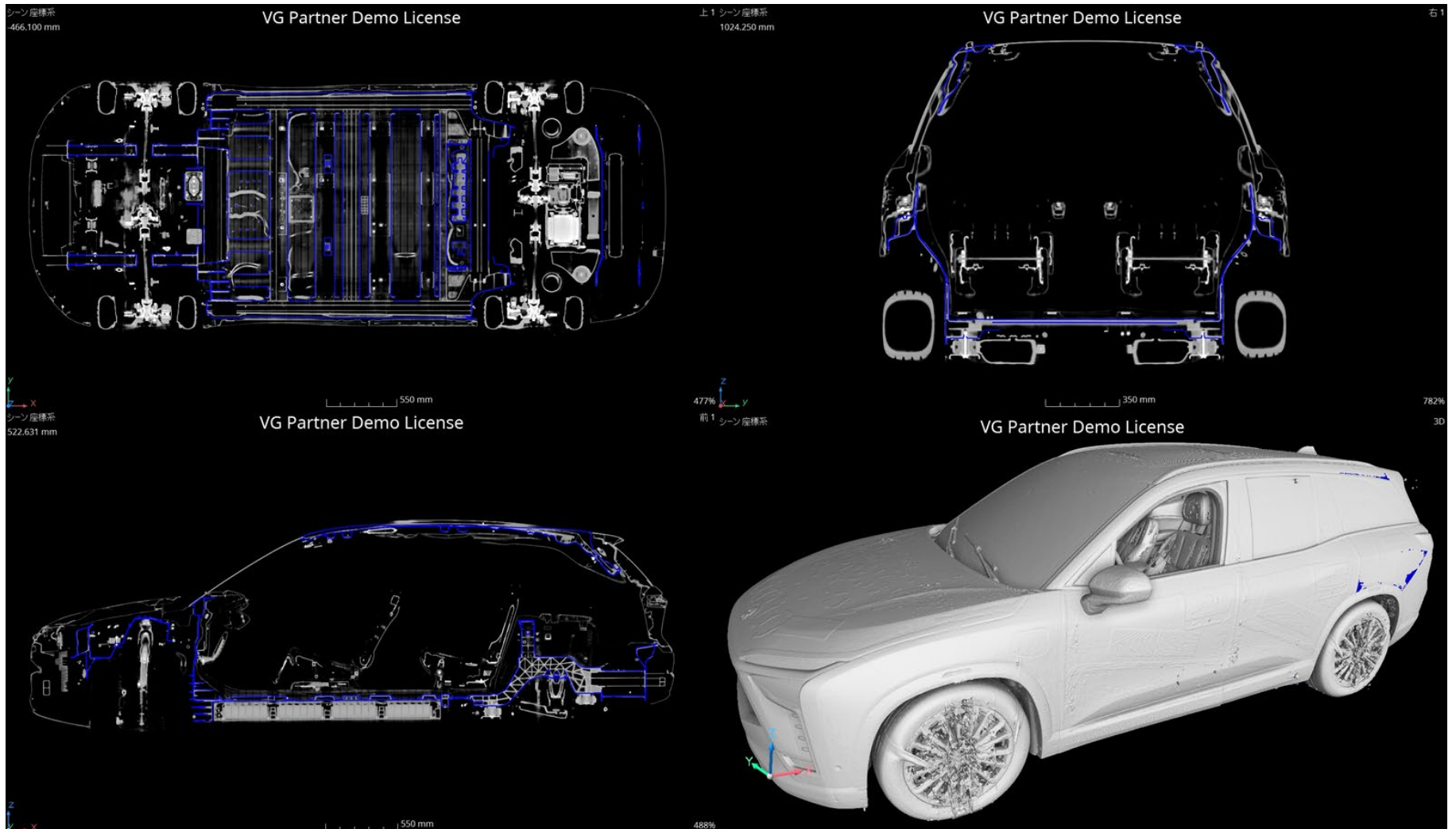
個体の違うES8をばらしてホワイトボディをファイバーホレーションにて光学スキャで取得したDataをSTL化し、VG StudioMAXに読み込む



## X線CTデータから関心領域（B i W）の抽出

(1) ー① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

光学スキャナで作成したSTL Dataを読み込み、ベストフィットによりそのSTLを  
基に、車体丸ごとのX線CTデータからBiWのみのX線CTデータを抜き出す

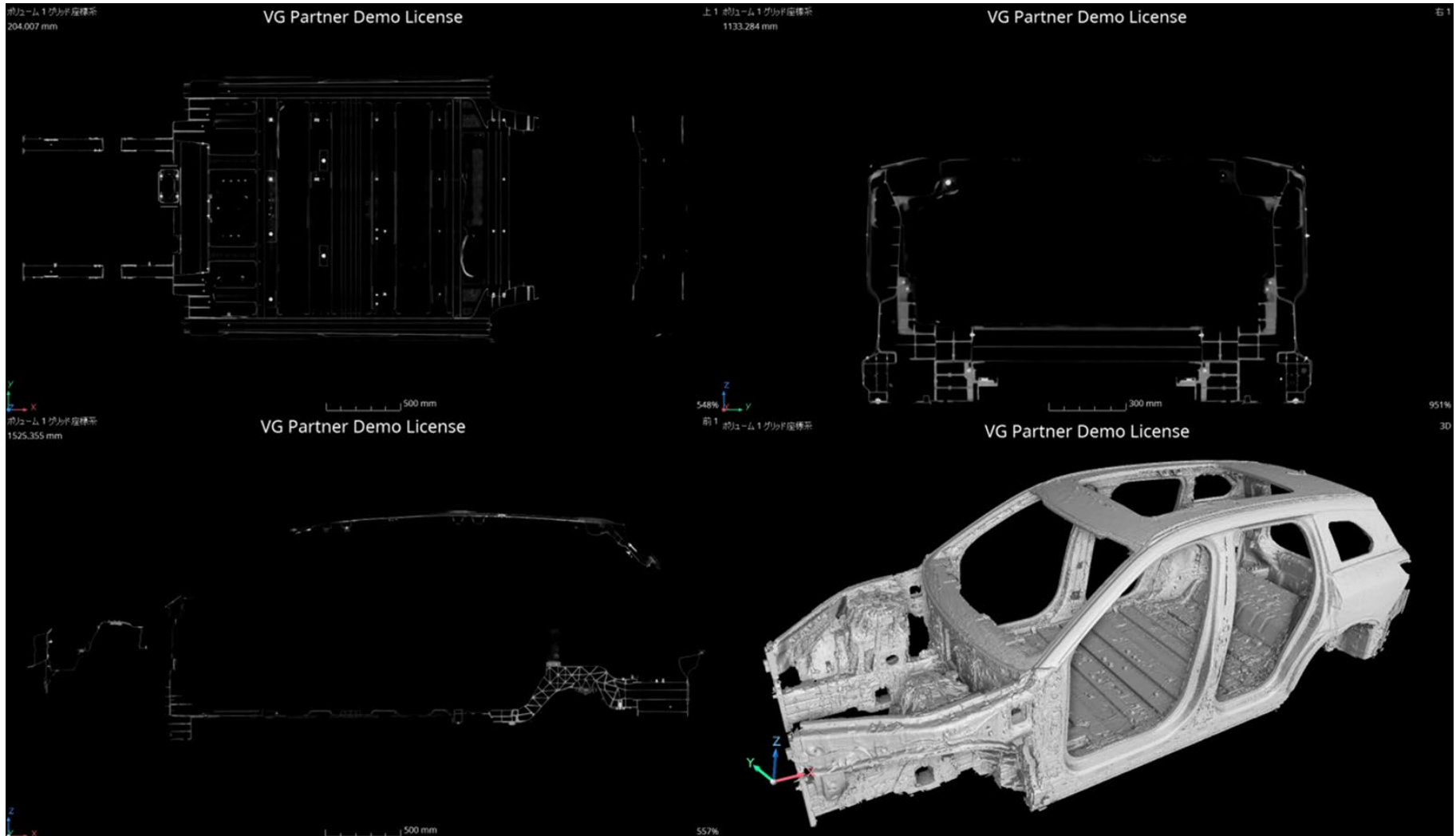


# X線CTデータから関心領域（BiW）の抽出

（1）－① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## BiW（ボディフレーム）のCT Data

車体丸ごとX線CTデータから抽出されたホワイトボディX線CTデータ



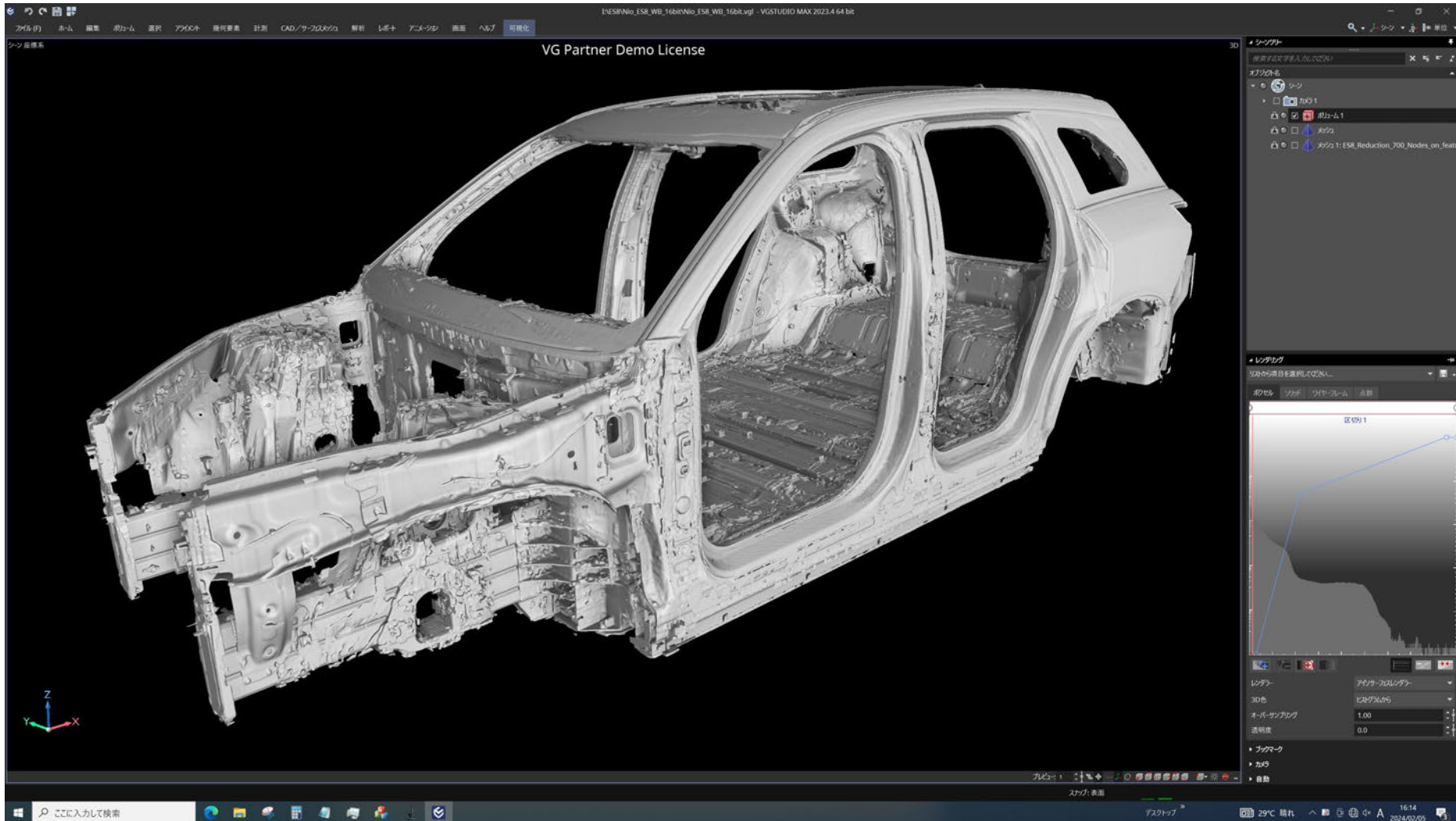


# X線CTデータから関心領域（BiW）の抽出

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## BiW（ボディフレーム）のCT Data

車体丸ごとX線CTデータから抽出されたホワイトボディX線CTデータ

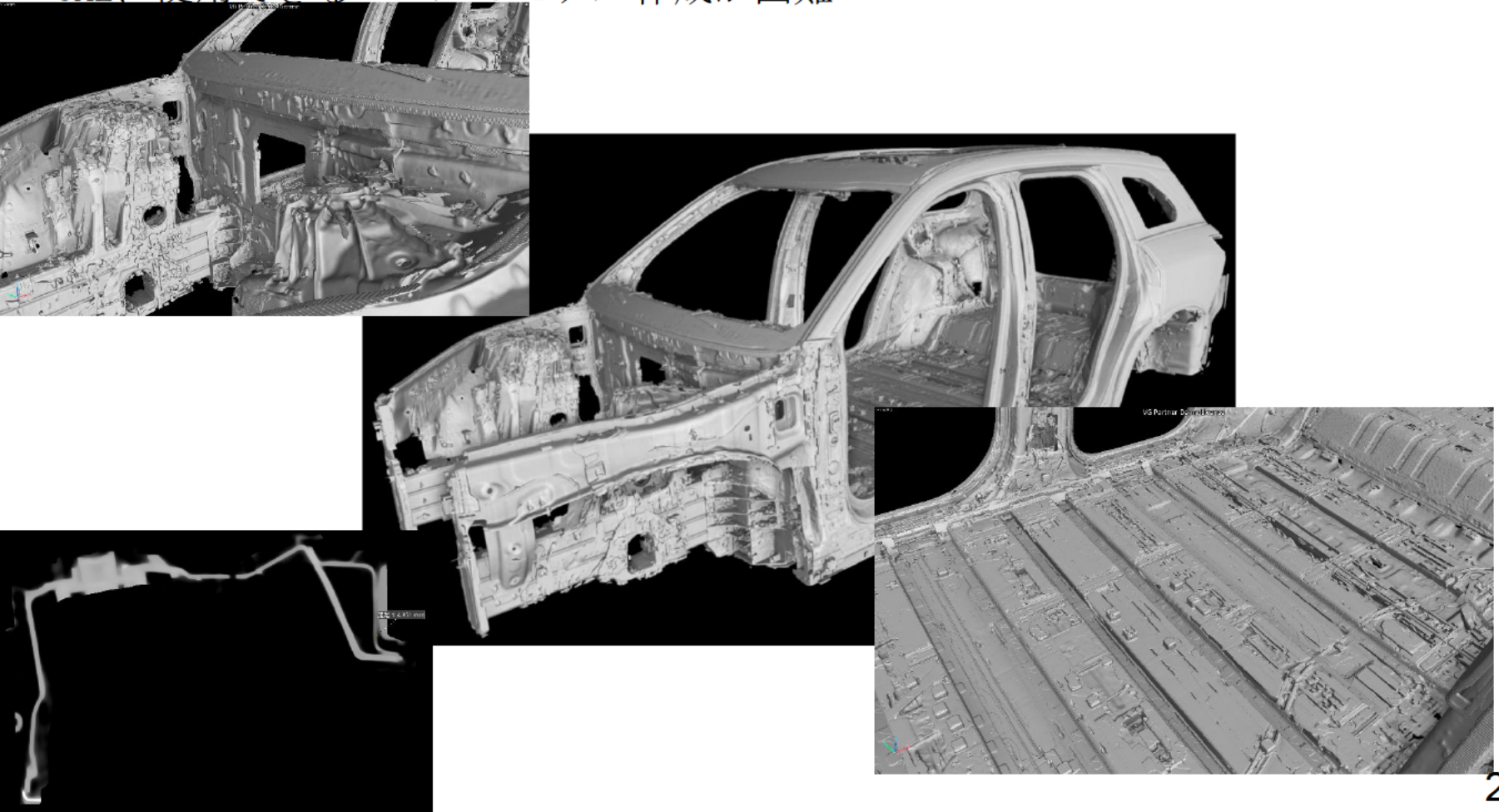


## X線CTデータから関心領域（B i W）の抽出

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

### VG StudioMAXによるSTL化

STL化自体は作成可能であるが、同一素材(アルミ鋳造/板など)の接合など隣接部のセグメンテーションが困難(外板、周辺電装部品除外することができない)  
CT画像の解像度不足(ボクセルサイズ: 670um)、ノイズの影響による境界面品質上、CAEに使用できるレベルのモデル作成が困難



## X線CTデータから関心領域（B i W）の抽出

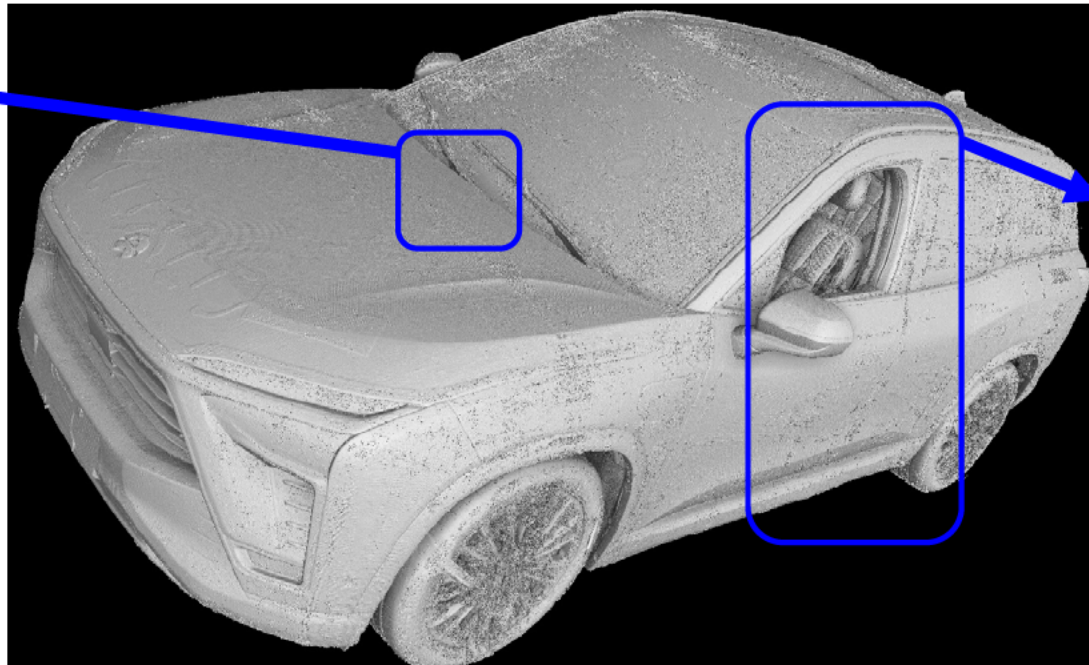
（1）－① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

### VG社以外のSoftware

“BETA社；RETOMO(STL化)、JSOL社；Simpleware(STL化/セグメンテーション)、研究ソフト；SEGMO(セグメンテーション/中立面作成)”  
を使用してそれぞれ得意分野での処理可能性の模索

\* RETOMO、Simplewareについては、同Softwareの読み込み容量制限から車体丸ごとのCT Dataから直接実施が出来なかった為、各ソフトの処理能力・機能を確認する事に主眼を置き、実施可能な処理効果が確認し易い一部を切り出し検証実施

RETOMO  
STL化について  
AIセグメンテーション  
機能に期待して  
当初CAE解析の目的  
の強度影響部品  
の一部で検証可能  
な領域をVG  
StudioMAXで抽出  
して実施



Simpleware  
STL化、  
セグメンテーション  
について実力値検  
証目的としてJSOL  
社で実施可能な領  
域を抽出して頂き  
検証実施

\* SEGMOについてはVG StudioMAXによりBiW部を抽出したCT Dataで検証実施<sup>30</sup>



## X線CTデータから関心領域（B i W）の抽出

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

### RETOMO

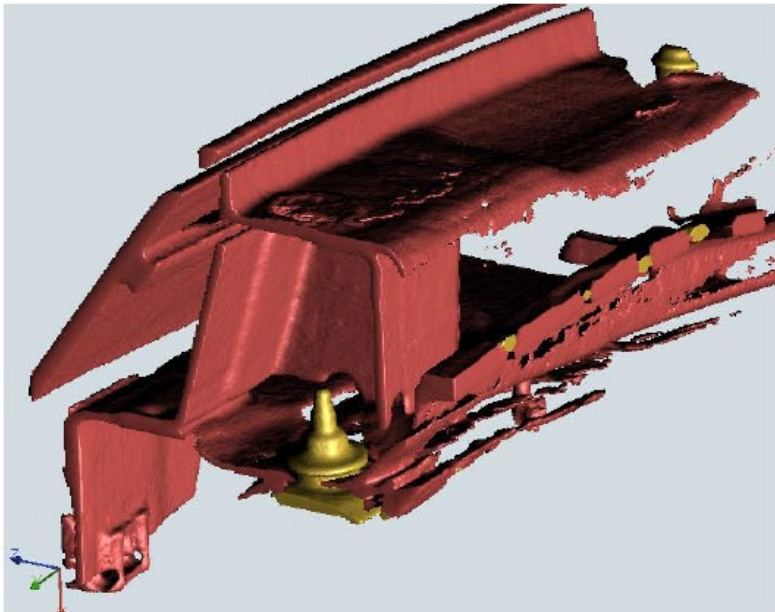
ノイズの少ないグレースケール値が明確に異なる材料レベルでピン部、本体部のようなレベルでのセグメンテーションは可能である。

ただし、同じ材料内でもグレースケールに分布があることから、自動セグメンテーションのみでは完全な形状を取得できない。

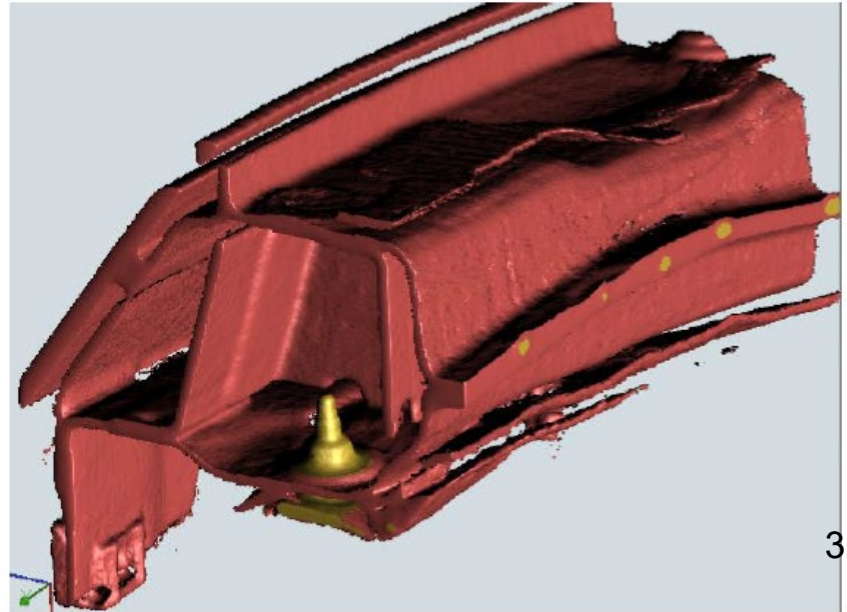
自動セグメンテーション後、形状欠落部や誤った材料に分類された領域にAIセグメンテーションを適用することで、形状を徐々に修正可能である。

今回のEZRTのCT Dataからの作業は境界面が粗く、Dataの欠損も多くモデル化は現状困難

自動セグメンテーション実行後



AIセグメンテーション実行後

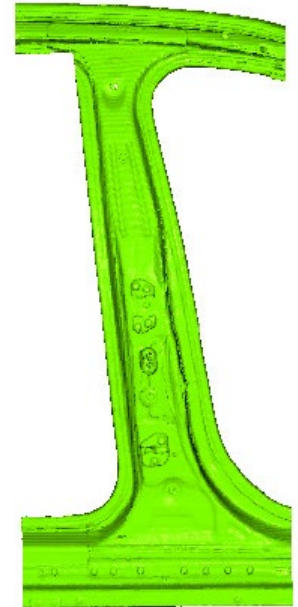
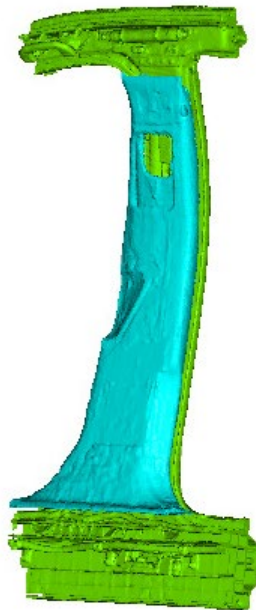


## X線CTデータから関心領域（BiW）の抽出

（1）－① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

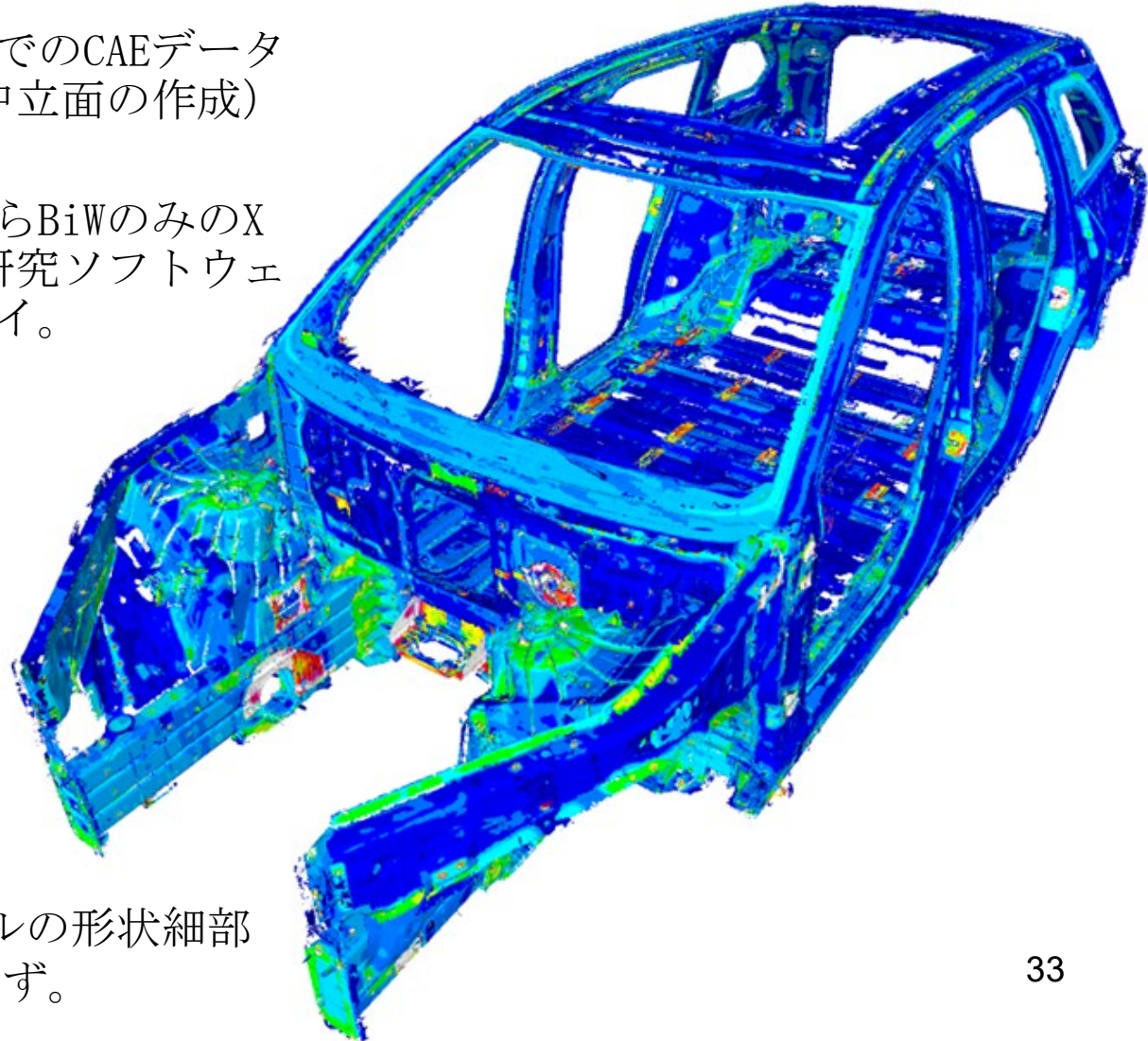
# Simpleware

- ・ ダンパーハウジングアルミダイキャスト部品はノイズがひどく、セグメンテーションは不可能
- ・ 参考までにBピラーのみを抽出するのは画像の品質上困難であり、サイドシルや電装部品を除外することはできなかった。
- ・ BiWを含めてモデル化は困難



## 研究ソフトウェアによるモデル化

- ・ ES8\_EZRT撮像のX線CTデータでのCAEデータの作成ソフトウェア対応（中立面の作成）
- ・ 車体丸ごとのX線CTデータからBiWのみのX線CTデータを抜き出して、研究ソフトウェアでCAE用データ作成をトライ。



残念ながらCAEに使えるレベルの形状細部が再現されるデータにはならず。



## X線CTデータから関心領域（B i W）の抽出

（１）－① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

### CAE実施の方策

EZRTのX線CTデータをソフトウェア対応でCAE用モデルに変換するのはできない  
CAEの実施はモデルデータの人手作成等での対応にならざるを得ない  
(X線CTデータを人手でCAD作成するのが現状)

### 令和3年からCT取得した装置の主な仕様の比較

|             | ナカシマフラット                                                     | ナカシマライン                  | NSLフラット                                  | NSLライン                        | フランフォーファEZRT             |
|-------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 線源<br>ディテクタ | 450kVミリフォーカス<br>4343フラットパネルセンサー                              | 450kVミリフォーカス<br>ラインセンサー  | 450kVマイクロフォーカス<br>1621EHSフラットパネル<br>センサー | 450kVマイクロフォーカス<br>CLDAラインセンサー | 8MeVミリフォーカス<br>ラインセンサー   |
| 透過力         | ○                                                            | ○                        | △                                        | △                             | ◎                        |
| 解像度         | △                                                            | ○                        | ◎                                        | ◎                             | △                        |
| ボクセル<br>サイズ | 518um                                                        | 533um                    | 142um                                    | 269um                         | 670um                    |
| ノイズ量        | 大                                                            | 低                        | 大                                        | 低                             | 低                        |
| 取得<br>範囲    | φ 2500 x H173mm<br>(1Scan)                                   | 最大 φ 1100mm<br>最大H2700mm | φ 530 x H280mm<br>(1Scan)                | 最大 φ 550mm<br>最大H950mm        | 最大 φ 3200mm<br>最大H4500mm |
| 課題          | Hardwareによるノイズ除去機能、画質向上<br>Softwareによるノイズ除去機能、セグメンテーション機能の開発 |                          |                                          |                               |                          |

## EZRT\_X線CTデータの評価

- ・ 内部構造含めた形状認識を行うことはできるが、CT画像の解像度が低く、欠落部分が多いなど、このままではCAEに使えるデータではない。
- ・ 衝突解析、EMC解析のそれぞれの用途で使う場合に、X線CTデータをもとにしたソフト処理で使えるかの検討を行っているが、同一素材(アルミ鋳造/板など)の接合など隣接部のセグメンテーションが困難(外板、周辺電装部品除外することができない)。
- ・ ソフト処理できない場合、昨年度と同様に人手によるCADデータ作成を実施するしかない。

# CAE用中立面メッシュ作成

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

衝突、EMC解析ともに中立面メッシュが必要。

衝突はQUADメッシュ、EMCはTRI Aメッシュとなるため、それぞれのモデルを作成。

## ①-1 中立面メッシュの作成 (STLデータから)

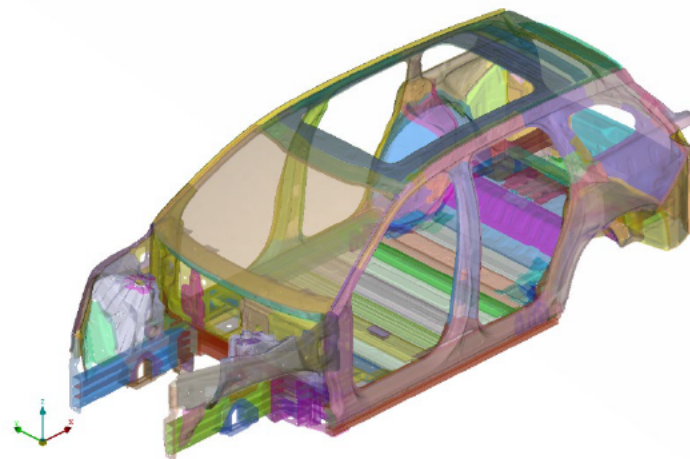
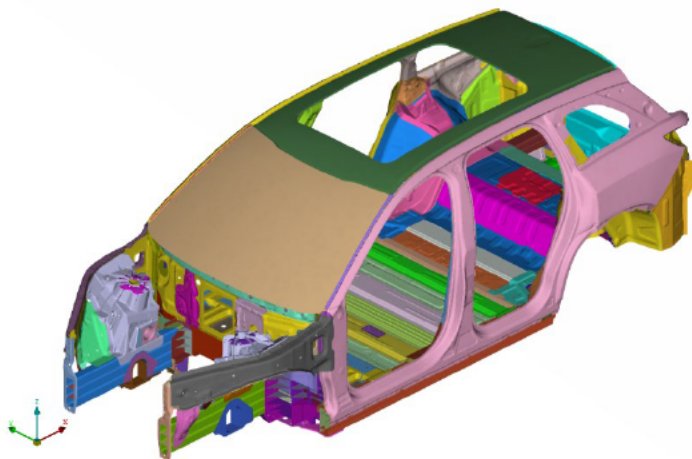
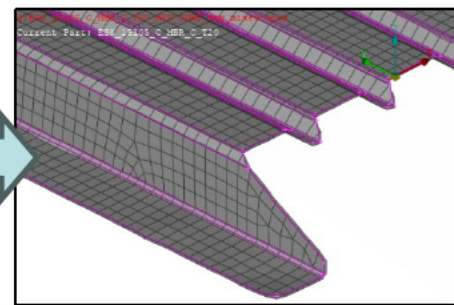
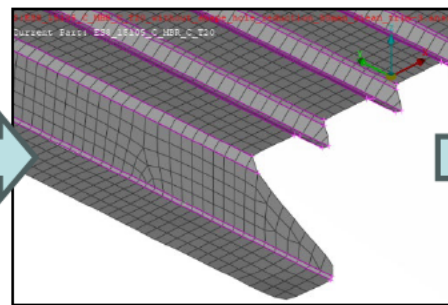
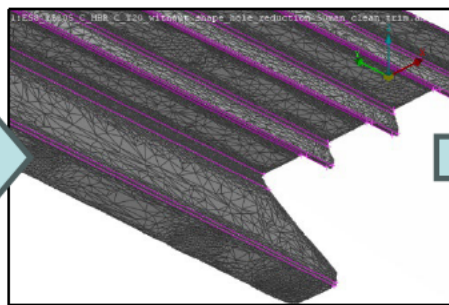
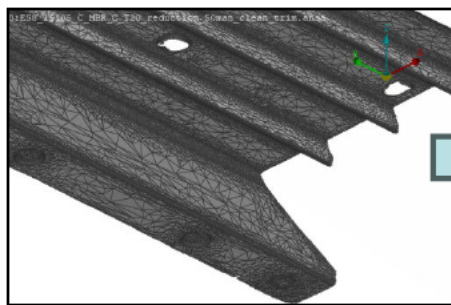
例) 15105 C MBR C (板厚2.0mm)

STLデータ  
(リダクション済み)

STLデータ  
(SPR, HOLE等削除、穴埋め)

QUADメッシュ  
(基本5mm)

QUADメッシュ  
(中立面オフセット)





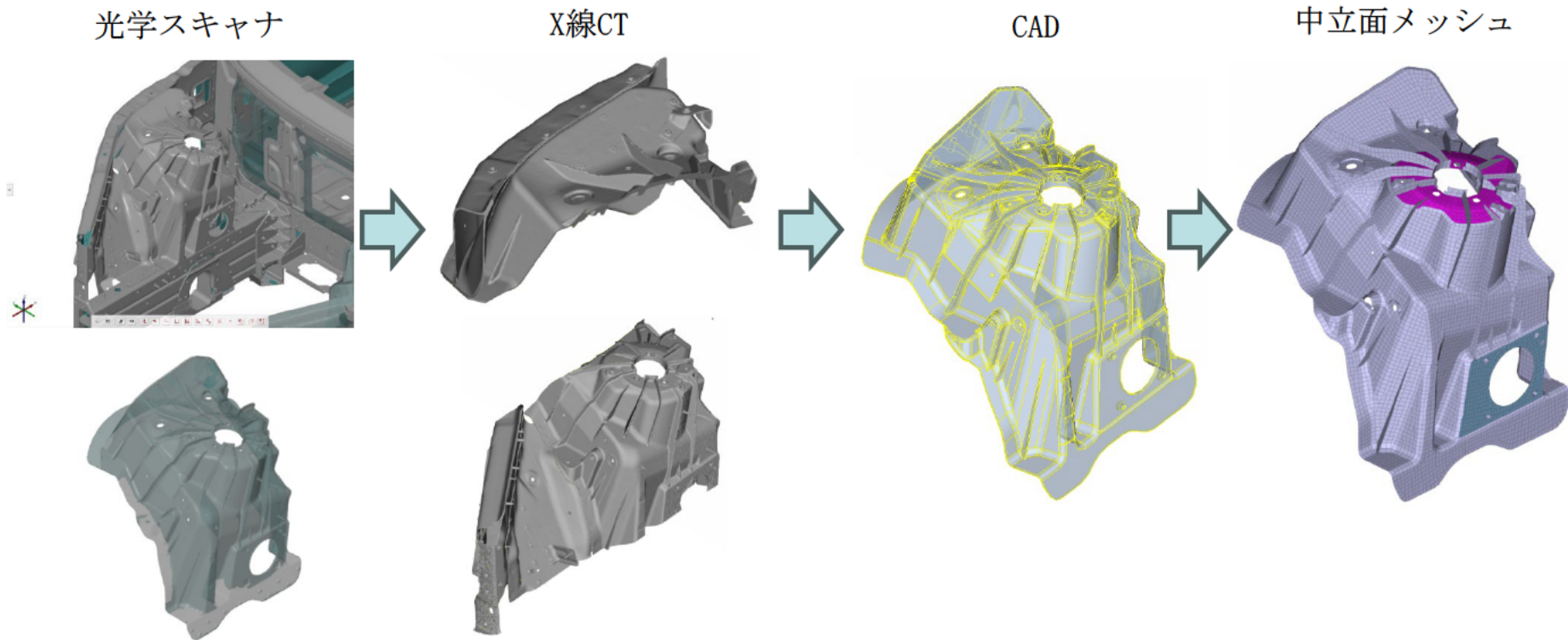
# C A E用中立面メッシュ作成

(1) -① X線C T及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## ①-2 中立面メッシュの作成 (C A D化してから)

部品同士がラップするなど光学スキャンでは計測しきれない部品については、  
X線C Tデータを参考にC A Dデータを作成してから中立面メッシュを作成。

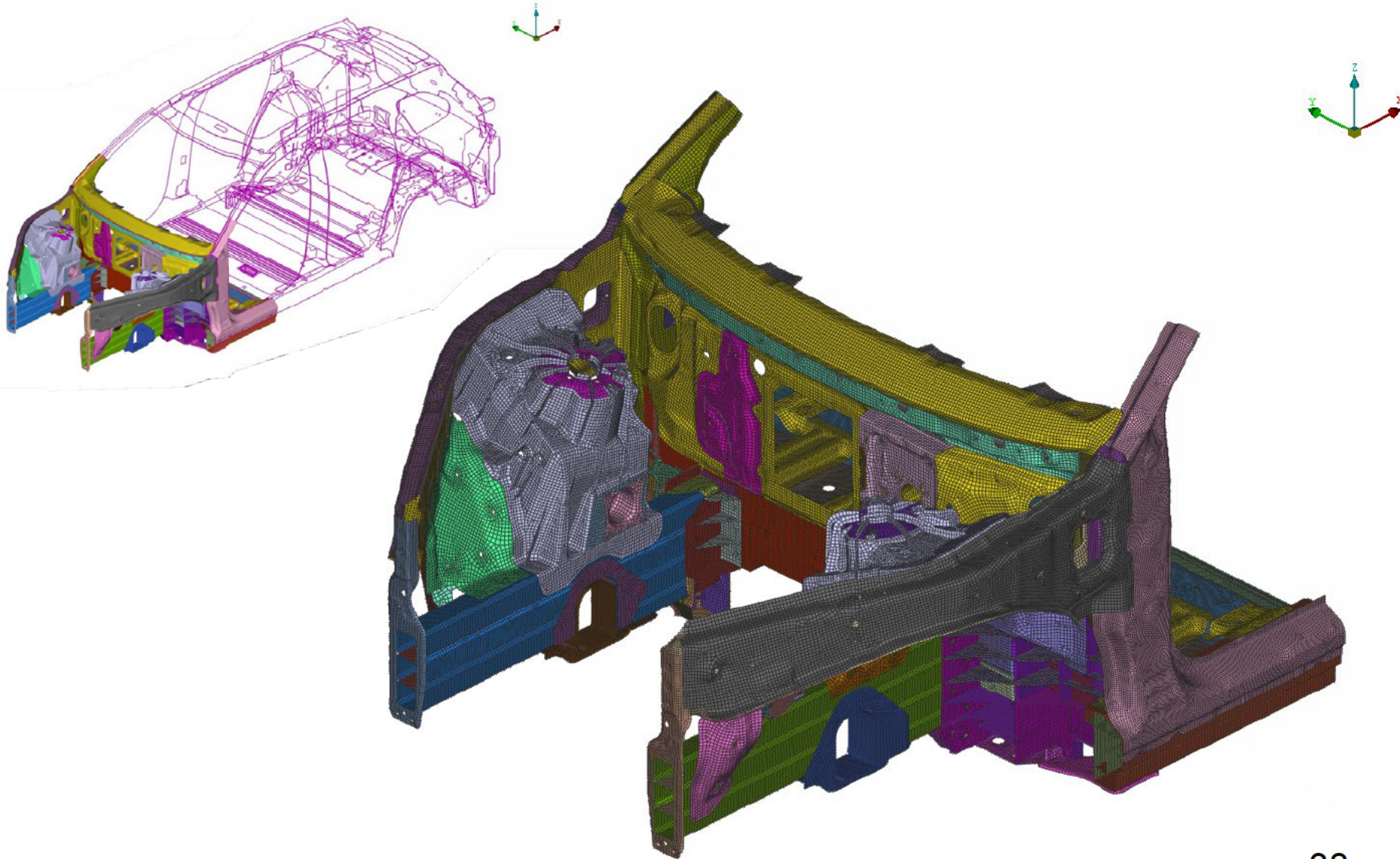
例) 10621 FR DMPR HSG RH



# CAE用中立面メッシュ作成

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## ② 衝突解析用中立面メッシュ (QUADメッシュ)

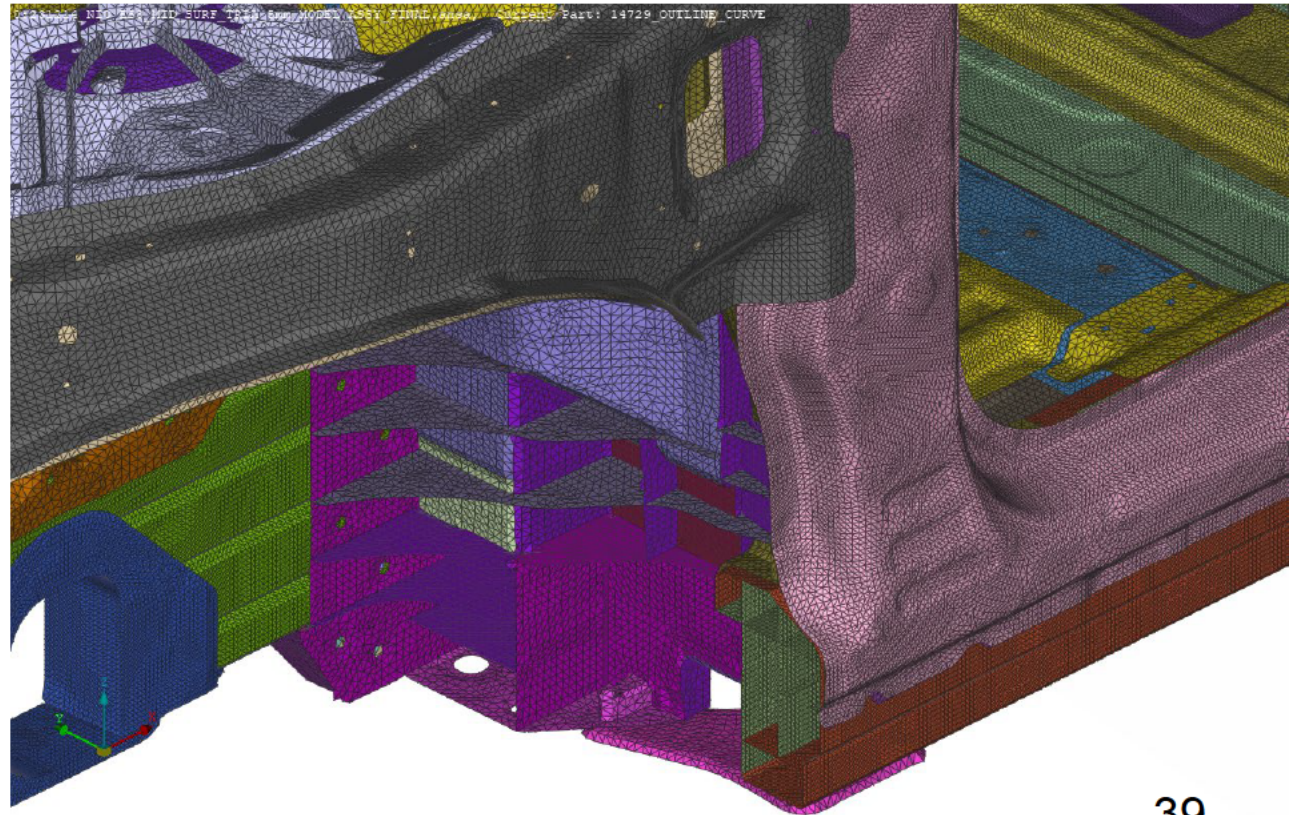
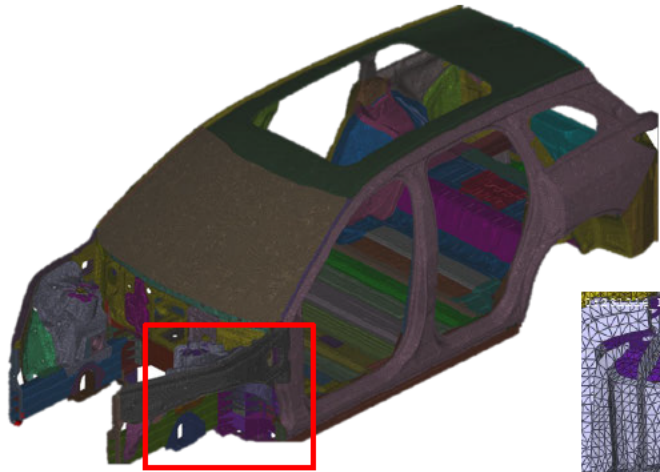




# CAE用中立面メッシュ作成

(1) -① X線CT及び光学系スキャナー等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

## ③ EMC解析用中立面メッシュ (T R I Aメッシュ)

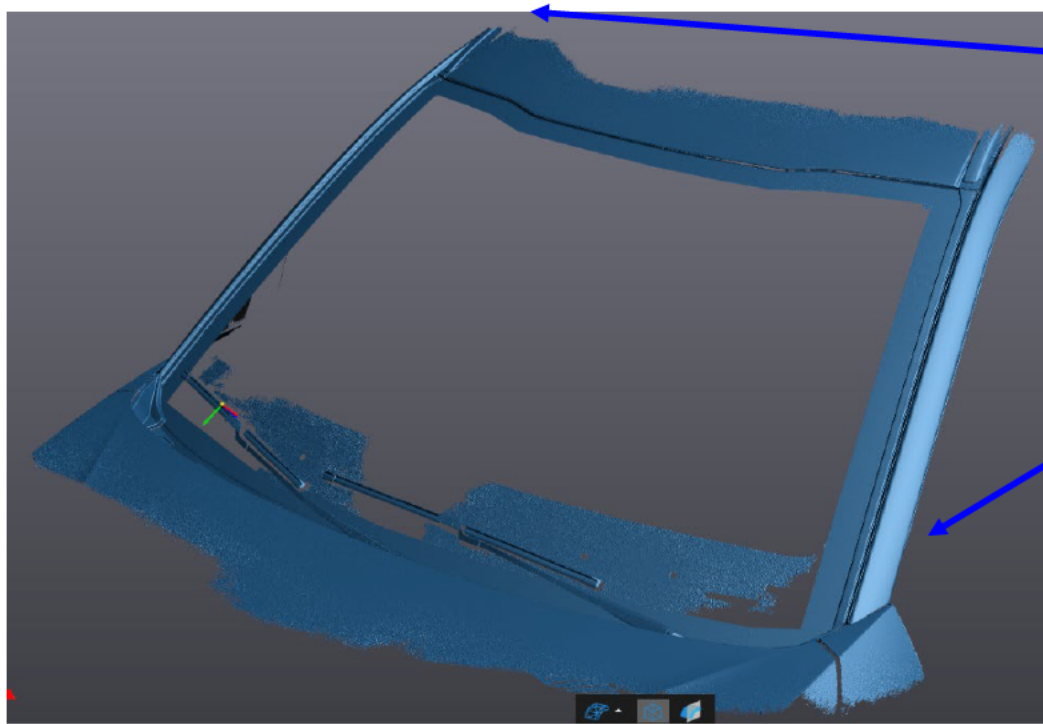




## ES 8のX線CTデータと光学スキャナデータ比較

(1) -① X線CT及び光学系スキャナ等による製品の部品の形状及び配置の計測 別紙

X線CT Dataの測定と光学系スキャナによる測定の車両寸法測定値比較による  
X線CT Dataによる測定精度について評価検証を行う



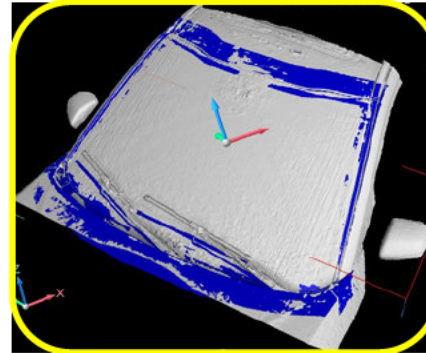
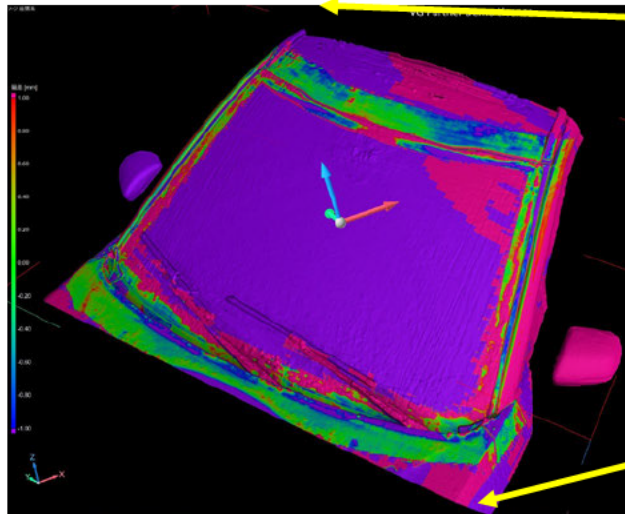
EZRTにて計測した車体の図で囲まれた範囲について光学スキャナで表面形状のDataを取得

このフロントガラス部を除くA Pillarと上下ボディの一部を取得した表面形状DataをVG StudioMaxに読み込み、このデータをレファレンスとして、誤差比較を実施

## ES 8 の X 線 C T データ と 光学 スキャナ データ 比較

(1) -① X 線 C T 及び 光学 系 スキャナ 等 による 製品 の 部品 の 形状 及び 配置 の 計測 別紙

光学式スキャナで取得した表面形状DataをVGstudioMaxに読み込み、このSTL Dataをレファレンスとして、誤差比較を実施



|         | 空間分解能  | 計測範囲 |
|---------|--------|------|
| 光学スキャン  | 0.01mm | 車体表面 |
| XCTスキャン | 0.5mm  | 車体全体 |

上記右図の青色の部分が光学スキャナで取得したレファレンス領域

### 誤差比較結果（光学スキャン基準）

上記左図のようにボンネット、屋根部の平面部に関して緑色の領域が確認される。この領域はX線CTデータとの誤差は $\pm 0.2\text{mm}$ 範囲に収まっている。

また、A Piller間距離方向は、上部の1440mm幅がある側面部分に対し左右それぞれ1mm弱の誤差（0.14%未満）が確認され、X線CTデータの方が大きい結果となった。

この原因としては光学スキャンは計測対象を直接計測しているのに対して、XCTスキャンは車体内部をX線が通過する際の減衰値から3次元再構成の結果、形状データを算出している。このため、車体内部の構造による影響を受ける。今回の計測部位は近隣にモーターなど高密度部品がレイアウトされており、この影響が出ていると考えられる。用途にもよるが機械工学的には誤差レベルを認識して対応するには問題ないと考えられる。

# (1) 製品の計測、材料分析、データ化

## (1) ー② 製品の分解による個別部品の材料分析 (機械特性、物性計測)

X線CT計測に用いた車両の個別部品のうち、特にその内部構造、材質、機械的特性等を測定することでX線CTの活用可能性又はリバーエンジニアリング対策に関する知見の集約につながると認められるものについて、計測・評価を行う。測定した結果のうち、X線CTによる計測で得られた結果のみからは推測が難しい特性について、リバーエンジニアリング対策の視点から、その効果について評価する。



## 1) -② 製品の分解による個別部品の材料分析（機械特性、物性計測）

### 今年度実施内容

- ・ B i Wのガラス有無によるウェイト計測
- ・ 計測データおよび現物から板厚計測。現物による材料の特定。  
⇒リバーサ B O Mおよび解析モデルに反映済み。  
⇒材料の種類は特定できたが、塑性域までの材料特性は検証出来ていない。  
→非線形領域の材料特性はR 4年度の計測データを基にC A Eを実施する。

### 今年度成果

- ・ 昨年からのアップデート情報は特になし。

### 今後の課題

- ・ 非線形領域の材料特性は、現物からテストピースを切り出して試験する必要がある、車一台分の静的引張試験を実施するには数百万円の費用が必要となる。  
また、衝突C A Eなどの時間依存性を考慮した材料試験となると高速引張試験を実施する必要がある、国内で受託試験を実施している企業はあるが、こちらは車一台分となると数千万円の費用が必要となり容易に取得できない。  
⇒材料試験のみならず、車一台の様々な検証試験ができる公営施設が必要である。  
(設備費用を潤沢に確保できない中小企業などが活用できる)

## B i W ウェイト

1) -② 製品の分解による個別部品の材料分析（機械特性、物性計測） 別紙



| 完成車     | B i W   | 比率  |
|---------|---------|-----|
| 2,425kg | 340.5kg | 14% |

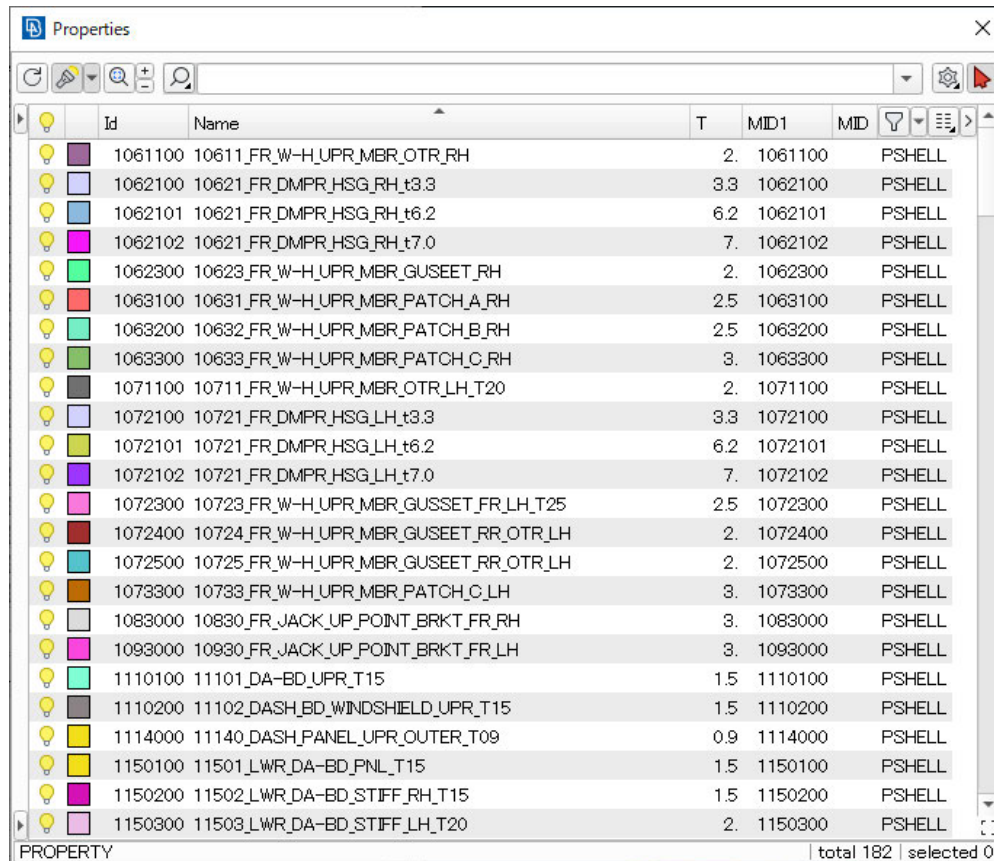
スチール製のボディの場合、車両重量に占めるB i Wの割合は20～30%であるため、本車両のアルミ製ボディは軽量である。

## 板厚と材料特性

1) -② 製品の分解による個別部品の材料分析（機械特性、物性計測） 別紙

計測データおよび現物から板厚計測、材料の種類を特定し、中立面および弾性材料をC A Eモデルに反映  
ただし、弾性域の物性値のみ

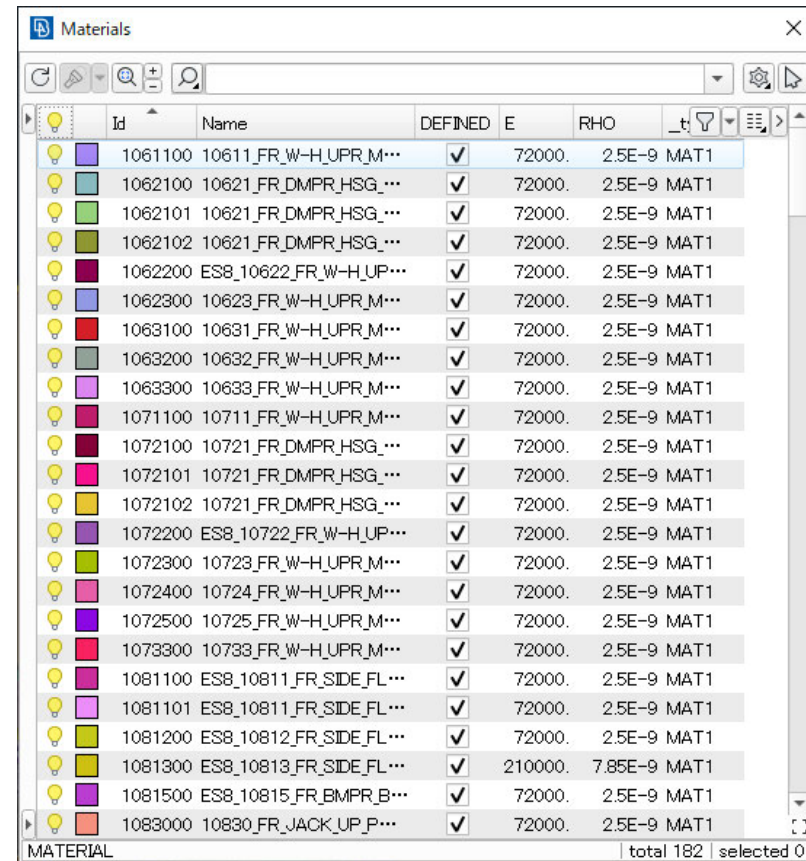
ANSA Property情報（一部）



The screenshot shows the 'Properties' dialog box in ANSA. It contains a table with columns: Id, Name, T, MID1, MID, and a filter icon. The table lists 30 properties, each with a unique ID and name, and a thickness (T) value. The bottom status bar indicates 'PROPERTY' and 'total 182 | selected 0'.

| Id      | Name                                  | T   | MID1    | MID    |
|---------|---------------------------------------|-----|---------|--------|
| 1061100 | 10611_FR_W-H_UPR_MBR_OTR_RH           | 2.  | 1061100 | PSHELL |
| 1062100 | 10621_FR_DMPR_HSG_RH_t3.3             | 3.3 | 1062100 | PSHELL |
| 1062101 | 10621_FR_DMPR_HSG_RH_t6.2             | 6.2 | 1062101 | PSHELL |
| 1062102 | 10621_FR_DMPR_HSG_RH_t7.0             | 7.  | 1062102 | PSHELL |
| 1062300 | 10623_FR_W-H_UPR_MBR_GUSEET_RH        | 2.  | 1062300 | PSHELL |
| 1063100 | 10631_FR_W-H_UPR_MBR_PATCH_A_RH       | 2.5 | 1063100 | PSHELL |
| 1063200 | 10632_FR_W-H_UPR_MBR_PATCH_B_RH       | 2.5 | 1063200 | PSHELL |
| 1063300 | 10633_FR_W-H_UPR_MBR_PATCH_C_RH       | 3.  | 1063300 | PSHELL |
| 1071100 | 10711_FR_W-H_UPR_MBR_OTR_LH_T20       | 2.  | 1071100 | PSHELL |
| 1072100 | 10721_FR_DMPR_HSG_LH_t3.3             | 3.3 | 1072100 | PSHELL |
| 1072101 | 10721_FR_DMPR_HSG_LH_t6.2             | 6.2 | 1072101 | PSHELL |
| 1072102 | 10721_FR_DMPR_HSG_LH_t7.0             | 7.  | 1072102 | PSHELL |
| 1072300 | 10723_FR_W-H_UPR_MBR_GUSSET_FR_LH_T25 | 2.5 | 1072300 | PSHELL |
| 1072400 | 10724_FR_W-H_UPR_MBR_GUSEET_RR_OTR_LH | 2.  | 1072400 | PSHELL |
| 1072500 | 10725_FR_W-H_UPR_MBR_GUSEET_RR_OTR_LH | 2.  | 1072500 | PSHELL |
| 1073300 | 10733_FR_W-H_UPR_MBR_PATCH_C_LH       | 3.  | 1073300 | PSHELL |
| 1083000 | 10830_FR_JACK_UP_POINT_BRKT_FR_RH     | 3.  | 1083000 | PSHELL |
| 1093000 | 10930_FR_JACK_UP_POINT_BRKT_FR_LH     | 3.  | 1093000 | PSHELL |
| 1110100 | 11101_DA-BD_UPR_T15                   | 1.5 | 1110100 | PSHELL |
| 1110200 | 11102_DASH_BD_WINDSHIELD_UPR_T15      | 1.5 | 1110200 | PSHELL |
| 1114000 | 11140_DASH_PANEL_UPR_OUTER_T09        | 0.9 | 1114000 | PSHELL |
| 1150100 | 11501_LWR_DA-BD_PNL_T15               | 1.5 | 1150100 | PSHELL |
| 1150200 | 11502_LWR_DA-BD_STIFF_RH_T15          | 1.5 | 1150200 | PSHELL |
| 1150300 | 11503_LWR_DA-BD_STIFF_LH_T20          | 2.  | 1150300 | PSHELL |

ANSA Material情報（一部）



The screenshot shows the 'Materials' dialog box in ANSA. It contains a table with columns: Id, Name, DEFINED, E, RHO, and a filter icon. The table lists 20 materials, each with a unique ID and name, and a Young's modulus (E) and density (RHO) value. The bottom status bar indicates 'MATERIAL' and 'total 182 | selected 0'.

| Id      | Name                    | DEFINED | E       | RHO          |
|---------|-------------------------|---------|---------|--------------|
| 1061100 | 10611_FR_W-H_UPR_M...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1062100 | 10621_FR_DMPR_HSG_...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1062101 | 10621_FR_DMPR_HSG_...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1062102 | 10621_FR_DMPR_HSG_...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1062200 | ES8_10622_FR_W-H_UP...  | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1062300 | 10623_FR_W-H_UPR_M...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1063100 | 10631_FR_W-H_UPR_M...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1063200 | 10632_FR_W-H_UPR_M...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1063300 | 10633_FR_W-H_UPR_M...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1071100 | 10711_FR_W-H_UPR_M...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1072100 | 10721_FR_DMPR_HSG_...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1072101 | 10721_FR_DMPR_HSG_...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1072102 | 10721_FR_DMPR_HSG_...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1072200 | ES8_10722_FR_W-H_UP...  | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1072300 | 10723_FR_W-H_UPR_M...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1072400 | 10724_FR_W-H_UPR_M...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1072500 | 10725_FR_W-H_UPR_M...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1073300 | 10733_FR_W-H_UPR_M...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1081100 | ES8_10811_FR_SIDE_FL... | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1081101 | ES8_10811_FR_SIDE_FL... | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1081200 | ES8_10812_FR_SIDE_FL... | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1081300 | ES8_10813_FR_SIDE_FL... | ✓       | 210000. | 7.85E-9 MAT1 |
| 1081500 | ES8_10815_FR_BMPR_B...  | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |
| 1083000 | 10830_FR_JACK_UP_P...   | ✓       | 72000.  | 2.5E-9 MAT1  |



# (1) 製品の計測、材料分析、データ化

## (1) - ③ C P E のためのデータ構築・データベース管理手法の検討

令和4年度までに構築したC A D / C A Eデータ管理環境に(1) - ①、(1) - ②等で得られた新規データ等の格納を進め、主要部品のデータについて、リバーズB O M (Bills of Materials) の構築を行い、データ構造を構築する際の課題を抽出する。また、データ利用の利便性とセキュリティのバランス及びその実用性を向上するために必要な事項について、調査検討する。

# (1) -③ C P Eのためのデータ構築・データベース管理手法の検討

## 今年度実施内容

- ・ B i Wを構成する単品部品の部品名および部品番号の振り分け完了。  
(別紙 リバース B O M、計測 (分割) 部品一覧)  
⇒袋形状内部の部品などのバラシが必要な部品は未記載。  
X線 C Tデータをもとに、一部対応。

## 今年度成果

- ・ リバース B O Mについては、昨年同様、 E X C E Lによる部品表の作成のみに留まった。
- ・ 光学スキャン、 X - C Tデータの扱いと管理方法の道筋が見えた。(以下に記載)

## 今後の課題

- ・ データファイルの扱いと保管方法
  - ー計測生データは、各計測器に付属のソフトで取り扱うことが多く、フォーマットが多岐にわたる。  
A T O S : G O M i n s p e c t (. g i n s p e c t)  
C r e a f o r m : V X e l e m e n t s (. c s f) など
  - ー生データをサードパーティーのソフトで扱うには、点群や S T Lなどの中間ファイルに変換が必要となるが、データの容量が大きくなり、今回の B i Wのデータでもリダクションしていない S T Lデータでは R A Mが 6 4 G B以上が必要となり、容易にハンドリングできない。
  - ー X - C Tデータについては、 E S 8の撮像データが 2 8 8 G Bであり、これを V I E W E Rソフトで開くだけでも R A M 5 1 2 G Bが必要で、データ処理ソフトでデータを扱うにはそれ以上の R A Mが必要になる。
  - ーデータの扱いのみならず、一台の撮像データで約 3 0 0 G Bであり、保管に必要なストレージサイズも膨大になる。

# リバースBOM

(1) -③ CPEのためのデータ構築・データベース管理手法の検討 別紙

R 4年度同様、EXCELを使用して取り纏めを実施した。

● ファイル名： 231212\_CPE\_NIO\_ES8\_BOM.xlsx (下表)

| A B  |      | C       | D    | E       | F    | G    | H    | I    | J    | K    |
|------|------|---------|------|---------|------|------|------|------|------|------|
|      |      | ホワイトボディ |      | フロントボディ |      |      |      |      |      | 目次   |
| 1    | 2    | 3       | 4    | 5       | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   |
| 12   | 13   | 14      | 15   | 16      | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   |
| 23   | 24   | 25      | 26   | 27      | 28   | 29   | 30   | 31   | 32   | 33   |
| 34   | 35   | 36      | 37   | 38      | 39   | 40   | 41   | 42   | 43   | 44   |
| 45   | 46   | 47      | 48   | 49      | 50   | 51   | 52   | 53   | 54   | 55   |
| 56   | 57   | 58      | 59   | 60      | 61   | 62   | 63   | 64   | 65   | 66   |
| 67   | 68   | 69      | 70   | 71      | 72   | 73   | 74   | 75   | 76   | 77   |
| 78   | 79   | 80      | 81   | 82      | 83   | 84   | 85   | 86   | 87   | 88   |
| 89   | 90   | 91      | 92   | 93      | 94   | 95   | 96   | 97   | 98   | 99   |
| 100  | 101  | 102     | 103  | 104     | 105  | 106  | 107  | 108  | 109  | 110  |
| 111  | 112  | 113     | 114  | 115     | 116  | 117  | 118  | 119  | 120  | 121  |
| 122  | 123  | 124     | 125  | 126     | 127  | 128  | 129  | 130  | 131  | 132  |
| 133  | 134  | 135     | 136  | 137     | 138  | 139  | 140  | 141  | 142  | 143  |
| 144  | 145  | 146     | 147  | 148     | 149  | 150  | 151  | 152  | 153  | 154  |
| 155  | 156  | 157     | 158  | 159     | 160  | 161  | 162  | 163  | 164  | 165  |
| 166  | 167  | 168     | 169  | 170     | 171  | 172  | 173  | 174  | 175  | 176  |
| 177  | 178  | 179     | 180  | 181     | 182  | 183  | 184  | 185  | 186  | 187  |
| 188  | 189  | 190     | 191  | 192     | 193  | 194  | 195  | 196  | 197  | 198  |
| 199  | 200  | 201     | 202  | 203     | 204  | 205  | 206  | 207  | 208  | 209  |
| 210  | 211  | 212     | 213  | 214     | 215  | 216  | 217  | 218  | 219  | 220  |
| 221  | 222  | 223     | 224  | 225     | 226  | 227  | 228  | 229  | 230  | 231  |
| 232  | 233  | 234     | 235  | 236     | 237  | 238  | 239  | 240  | 241  | 242  |
| 243  | 244  | 245     | 246  | 247     | 248  | 249  | 250  | 251  | 252  | 253  |
| 254  | 255  | 256     | 257  | 258     | 259  | 260  | 261  | 262  | 263  | 264  |
| 265  | 266  | 267     | 268  | 269     | 270  | 271  | 272  | 273  | 274  | 275  |
| 276  | 277  | 278     | 279  | 280     | 281  | 282  | 283  | 284  | 285  | 286  |
| 287  | 288  | 289     | 290  | 291     | 292  | 293  | 294  | 295  | 296  | 297  |
| 298  | 299  | 300     | 301  | 302     | 303  | 304  | 305  | 306  | 307  | 308  |
| 309  | 310  | 311     | 312  | 313     | 314  | 315  | 316  | 317  | 318  | 319  |
| 320  | 321  | 322     | 323  | 324     | 325  | 326  | 327  | 328  | 329  | 330  |
| 331  | 332  | 333     | 334  | 335     | 336  | 337  | 338  | 339  | 340  | 341  |
| 342  | 343  | 344     | 345  | 346     | 347  | 348  | 349  | 350  | 351  | 352  |
| 353  | 354  | 355     | 356  | 357     | 358  | 359  | 360  | 361  | 362  | 363  |
| 364  | 365  | 366     | 367  | 368     | 369  | 370  | 371  | 372  | 373  | 374  |
| 375  | 376  | 377     | 378  | 379     | 380  | 381  | 382  | 383  | 384  | 385  |
| 386  | 387  | 388     | 389  | 390     | 391  | 392  | 393  | 394  | 395  | 396  |
| 397  | 398  | 399     | 400  | 401     | 402  | 403  | 404  | 405  | 406  | 407  |
| 408  | 409  | 410     | 411  | 412     | 413  | 414  | 415  | 416  | 417  | 418  |
| 419  | 420  | 421     | 422  | 423     | 424  | 425  | 426  | 427  | 428  | 429  |
| 430  | 431  | 432     | 433  | 434     | 435  | 436  | 437  | 438  | 439  | 440  |
| 441  | 442  | 443     | 444  | 445     | 446  | 447  | 448  | 449  | 450  | 451  |
| 452  | 453  | 454     | 455  | 456     | 457  | 458  | 459  | 460  | 461  | 462  |
| 463  | 464  | 465     | 466  | 467     | 468  | 469  | 470  | 471  | 472  | 473  |
| 474  | 475  | 476     | 477  | 478     | 479  | 480  | 481  | 482  | 483  | 484  |
| 485  | 486  | 487     | 488  | 489     | 490  | 491  | 492  | 493  | 494  | 495  |
| 496  | 497  | 498     | 499  | 500     | 501  | 502  | 503  | 504  | 505  | 506  |
| 507  | 508  | 509     | 510  | 511     | 512  | 513  | 514  | 515  | 516  | 517  |
| 518  | 519  | 520     | 521  | 522     | 523  | 524  | 525  | 526  | 527  | 528  |
| 529  | 530  | 531     | 532  | 533     | 534  | 535  | 536  | 537  | 538  | 539  |
| 540  | 541  | 542     | 543  | 544     | 545  | 546  | 547  | 548  | 549  | 550  |
| 551  | 552  | 553     | 554  | 555     | 556  | 557  | 558  | 559  | 560  | 561  |
| 562  | 563  | 564     | 565  | 566     | 567  | 568  | 569  | 570  | 571  | 572  |
| 573  | 574  | 575     | 576  | 577     | 578  | 579  | 580  | 581  | 582  | 583  |
| 584  | 585  | 586     | 587  | 588     | 589  | 590  | 591  | 592  | 593  | 594  |
| 595  | 596  | 597     | 598  | 599     | 600  | 601  | 602  | 603  | 604  | 605  |
| 606  | 607  | 608     | 609  | 610     | 611  | 612  | 613  | 614  | 615  | 616  |
| 617  | 618  | 619     | 620  | 621     | 622  | 623  | 624  | 625  | 626  | 627  |
| 628  | 629  | 630     | 631  | 632     | 633  | 634  | 635  | 636  | 637  | 638  |
| 639  | 640  | 641     | 642  | 643     | 644  | 645  | 646  | 647  | 648  | 649  |
| 650  | 651  | 652     | 653  | 654     | 655  | 656  | 657  | 658  | 659  | 660  |
| 661  | 662  | 663     | 664  | 665     | 666  | 667  | 668  | 669  | 670  | 671  |
| 672  | 673  | 674     | 675  | 676     | 677  | 678  | 679  | 680  | 681  | 682  |
| 683  | 684  | 685     | 686  | 687     | 688  | 689  | 690  | 691  | 692  | 693  |
| 694  | 695  | 696     | 697  | 698     | 699  | 700  | 701  | 702  | 703  | 704  |
| 705  | 706  | 707     | 708  | 709     | 710  | 711  | 712  | 713  | 714  | 715  |
| 716  | 717  | 718     | 719  | 720     | 721  | 722  | 723  | 724  | 725  | 726  |
| 727  | 728  | 729     | 730  | 731     | 732  | 733  | 734  | 735  | 736  | 737  |
| 738  | 739  | 740     | 741  | 742     | 743  | 744  | 745  | 746  | 747  | 748  |
| 749  | 750  | 751     | 752  | 753     | 754  | 755  | 756  | 757  | 758  | 759  |
| 760  | 761  | 762     | 763  | 764     | 765  | 766  | 767  | 768  | 769  | 770  |
| 771  | 772  | 773     | 774  | 775     | 776  | 777  | 778  | 779  | 780  | 781  |
| 782  | 783  | 784     | 785  | 786     | 787  | 788  | 789  | 790  | 791  | 792  |
| 793  | 794  | 795     | 796  | 797     | 798  | 799  | 800  | 801  | 802  | 803  |
| 804  | 805  | 806     | 807  | 808     | 809  | 810  | 811  | 812  | 813  | 814  |
| 815  | 816  | 817     | 818  | 819     | 820  | 821  | 822  | 823  | 824  | 825  |
| 826  | 827  | 828     | 829  | 830     | 831  | 832  | 833  | 834  | 835  | 836  |
| 837  | 838  | 839     | 840  | 841     | 842  | 843  | 844  | 845  | 846  | 847  |
| 848  | 849  | 850     | 851  | 852     | 853  | 854  | 855  | 856  | 857  | 858  |
| 859  | 860  | 861     | 862  | 863     | 864  | 865  | 866  | 867  | 868  | 869  |
| 870  | 871  | 872     | 873  | 874     | 875  | 876  | 877  | 878  | 879  | 880  |
| 881  | 882  | 883     | 884  | 885     | 886  | 887  | 888  | 889  | 890  | 891  |
| 892  | 893  | 894     | 895  | 896     | 897  | 898  | 899  | 900  | 901  | 902  |
| 903  | 904  | 905     | 906  | 907     | 908  | 909  | 910  | 911  | 912  | 913  |
| 914  | 915  | 916     | 917  | 918     | 919  | 920  | 921  | 922  | 923  | 924  |
| 925  | 926  | 927     | 928  | 929     | 930  | 931  | 932  | 933  | 934  | 935  |
| 936  | 937  | 938     | 939  | 940     | 941  | 942  | 943  | 944  | 945  | 946  |
| 947  | 948  | 949     | 950  | 951     | 952  | 953  | 954  | 955  | 956  | 957  |
| 958  | 959  | 960     | 961  | 962     | 963  | 964  | 965  | 966  | 967  | 968  |
| 969  | 970  | 971     | 972  | 973     | 974  | 975  | 976  | 977  | 978  | 979  |
| 980  | 981  | 982     | 983  | 984     | 985  | 986  | 987  | 988  | 989  | 990  |
| 991  | 992  | 993     | 994  | 995     | 996  | 997  | 998  | 999  | 1000 | 1001 |
| 1002 | 1003 | 1004    | 1005 | 1006    | 1007 | 1008 | 1009 | 1010 | 1011 | 1012 |
| 1013 | 1014 | 1015    | 1016 | 1017    | 1018 | 1019 | 1020 | 1021 | 1022 | 1023 |
| 1024 | 1025 | 1026    | 1027 | 1028    | 1029 | 1030 | 1031 | 1032 | 1033 | 1034 |
| 1035 | 1036 | 1037    | 1038 | 1039    | 1040 | 1041 | 1042 | 1043 | 1044 | 1045 |
| 1046 | 1047 | 1048    | 1049 | 1050    | 1051 | 1052 | 1053 | 1054 | 1055 | 1056 |
| 1057 | 1058 | 1059    | 1060 | 1061    | 1062 | 1063 | 1064 | 1065 | 1066 | 1067 |
| 1068 | 1069 | 1070    | 1071 | 1072    | 1073 | 1074 | 1075 | 1076 | 1077 | 1078 |
| 1079 | 1080 | 1081    | 1082 | 1083    | 1084 | 1085 | 1086 | 1087 | 1088 | 1089 |
| 1090 | 1091 | 1092    | 1093 | 1094    | 1095 | 1096 | 1097 | 1098 | 1099 | 1100 |
| 1101 | 1102 | 1103    | 1104 | 1105    | 1106 | 1107 | 1108 | 1109 | 1110 | 1111 |
| 1112 | 1113 | 1114    | 1115 | 1116    | 1117 | 1118 | 1119 | 1120 | 1121 | 1122 |
| 1123 | 1124 | 1125    | 1126 | 1127    | 1128 | 1129 | 1130 | 1131 | 1132 | 1133 |
| 1134 | 1135 | 1136    | 1137 | 1138    | 1139 | 1140 | 1141 | 1142 | 1143 | 1144 |
| 1145 | 1146 | 1147    | 1148 | 1149    | 1150 | 1151 | 1152 | 1153 | 1154 | 1155 |
| 1156 | 1157 | 1158    | 1159 | 1160    | 1161 | 1162 | 1163 | 1164 | 1165 | 1166 |
| 1167 | 1168 | 1169    | 1170 | 1171    | 1172 | 1173 | 1174 | 1175 | 1176 | 1177 |
| 1178 | 1179 | 1180    | 1181 | 1182    | 1183 | 1184 | 1185 | 1186 | 1187 | 1188 |
| 1189 | 1190 | 1191    | 1192 | 1193    | 1194 | 1195 | 1196 | 1197 | 1198 | 1199 |
| 1200 | 1201 | 1202    | 1203 | 1204    | 1205 | 1206 | 1207 | 1208 | 1209 | 1210 |
| 1211 | 1212 | 1213    | 1214 | 1215    | 1216 | 1217 | 1218 | 1219 | 1220 | 1221 |
| 1222 | 1223 | 1224    | 1225 | 1226    | 1227 | 1228 | 1229 | 1230 | 1231 | 1232 |
| 1233 | 1234 | 1235    | 1236 | 1237    | 1238 | 1239 | 1240 | 1241 | 1242 | 1243 |
| 1244 | 1245 | 1246    | 1247 | 1248    | 1249 | 1250 | 1251 | 1252 | 1253 | 1254 |
| 1255 | 1256 | 1257    | 1258 | 1259    | 1260 | 1261 | 1262 | 1263 | 1264 | 1265 |
| 1266 | 1267 | 1268    | 1269 | 1270    | 1271 | 1272 | 1273 | 1274 | 1275 | 1276 |
| 1277 | 1278 | 1279    | 1280 | 1281    | 1282 | 1283 | 1284 | 1285 | 1286 | 1287 |
| 1288 | 1289 | 1290    | 1291 | 1292    | 1293 | 1294 | 1295 | 1296 | 1297 | 1298 |
| 1299 | 1300 | 1301    | 1302 | 1303    | 1304 | 1305 | 1306 | 1307 | 1308 | 1309 |
| 1310 | 1311 | 1312    | 1313 | 1314    | 1315 | 1316 | 1317 | 1318 | 1319 | 1320 |
| 1321 | 1322 | 1323    | 1324 | 1325    | 1326 | 1327 | 1328 | 1329 | 1330 | 1331 |
| 1332 | 1333 | 1334    | 1335 | 1336    | 1337 | 1338 | 1339 | 1340 | 1341 | 1342 |
| 1343 | 1344 | 1345    | 1346 | 1347    | 1348 | 1349 | 1350 | 1351 | 1352 | 1353 |
| 1354 | 1355 | 1356    | 1357 | 1358    | 1359 | 1360 | 1361 | 1362 | 1363 | 1364 |
| 1365 | 1366 | 1367    | 1368 | 1369    | 1370 | 1371 | 1372 | 1373 |      |      |

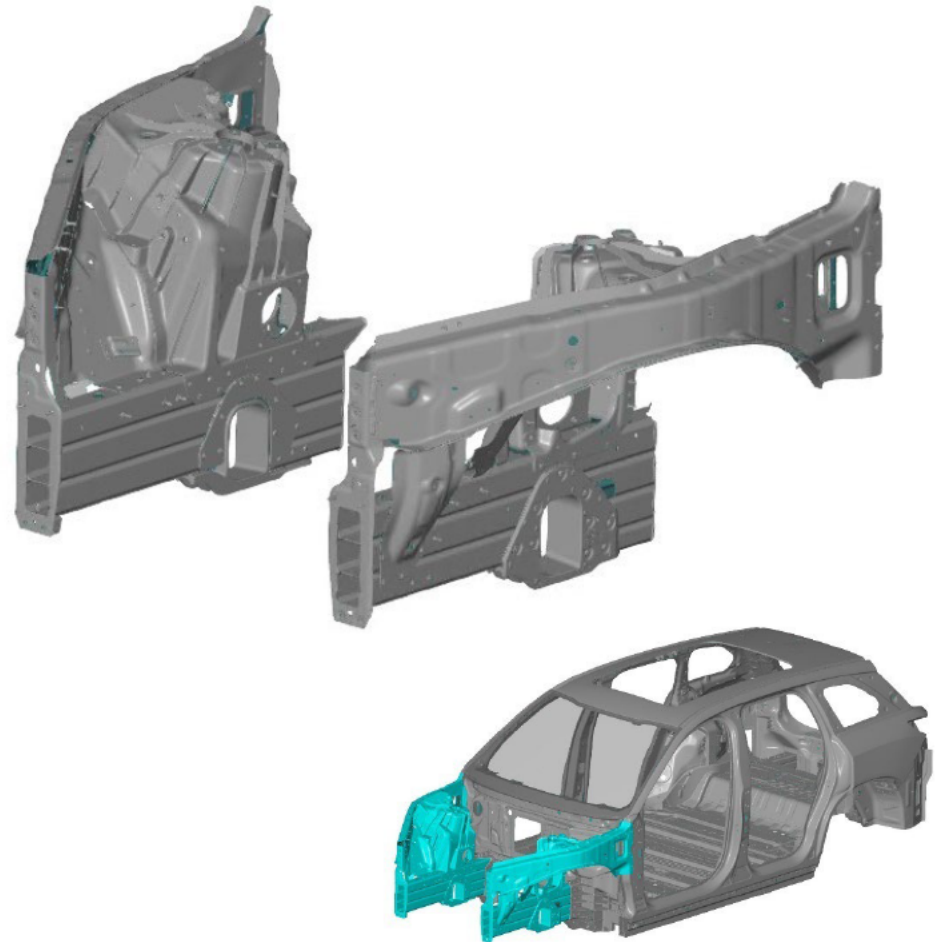


# 計測（分割）部品一覧

(1) -③ C P Eのためのデータ構築・データベース管理手法の検討 別紙

## 10611～10915 FR SIDE FRAME周り

| 部番    | 部品名                             |
|-------|---------------------------------|
| 10611 | FR W/H UPR MBR OTR RH           |
| 10621 | FR DMPR HSG RH                  |
| 10622 | FR W/H UPR MBR INR RH           |
| 10623 | FR W/H UPR MBR GUSSET RH        |
| 10626 | FR W/H UPR MBR GUSSET BRKT RH   |
| 10627 | FR DMPR HSG BRKT RH             |
| 10631 | FR W/H UPR MBR PATCH A RH       |
| 10632 | FR W/H UPR MBR PATCH B RH       |
| 10633 | FR W/H UPR MBR PATCH C RH       |
| 10640 | FR DMPR HSG INR RH BRKT         |
| 10711 | FR W/H UPR MBR OTR LH           |
| 10721 | FR DMPR HSG LH                  |
| 10722 | FR W/H UPR MBR INR LH           |
| 10723 | FR W/H UPR MBR GUSSET FR LH     |
| 10724 | FR W/H UPR MBR GUSSET RR OTR LH |
| 10725 | FR W/H UPR MBR GUSSET RR INN LH |
| 10727 | FR DMPR HSG BRKT LH             |
| 10728 | FR DMPR HSG BRKT LH A           |
| 10733 | FR W/H UPR MBR PATCH C LH       |
| 10740 | FR W/H UPR MBR INR LH BRKT      |
| 10811 | FR SIDE FRAME RH                |
| 10812 | FR SIDE FRAME STIFF OTR RH      |
| 10813 | FR SIDE FRAME STIFF INR RH      |
| 10815 | FR BMPR BEAM EXTN FLANGE RH     |



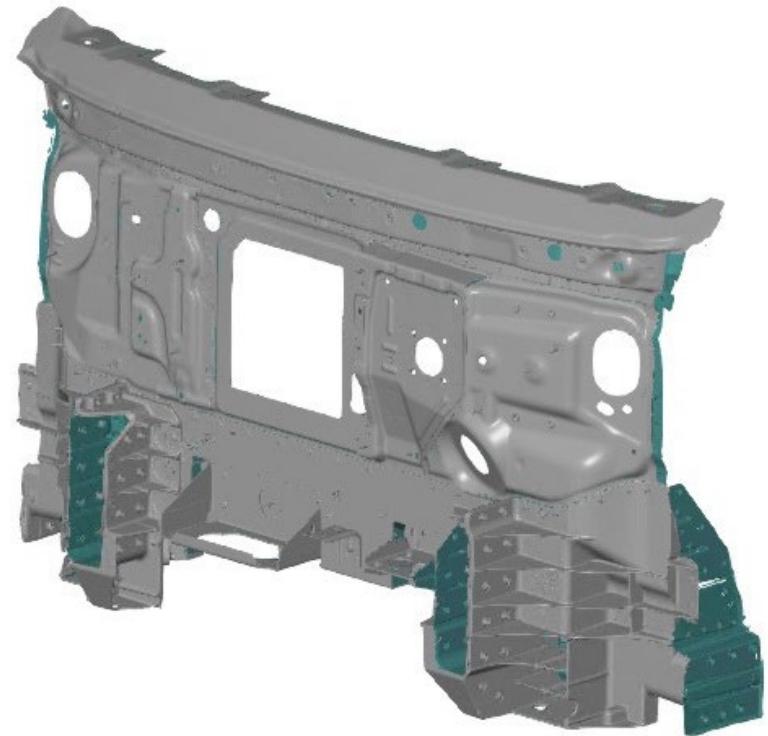
| 部番    | 部品名                         |
|-------|-----------------------------|
| 10816 | FR BMPR BEAM EXTN BRKT RH   |
| 10911 | FR SIDE FRAME LH            |
| 10912 | FR SIDE FRAME STIFF OTR LH  |
| 10913 | FR SIDE FRAME STIFF INR LH  |
| 10915 | FR BMPR BEAM EXTN FLANGE LH |

# 計測（分割）部品一覧

(1) -③ C P E のためのデータ構築・データベース管理手法の検討 別紙

## 11101～11524 DA/BD周り

| 部番    | 部品名                       |
|-------|---------------------------|
| 11101 | DA/BD UPR                 |
| 11102 | DASH BD WINDSHIELD UPR    |
| 11140 | DASH PANEL UPR OUTER      |
| 11501 | LWR DA/BD PNL             |
| 11502 | LWR DA/BD STIFF RH        |
| 11503 | LWR DA/BD STIFF LH        |
| 11504 | LWR DA/BD BRKT A          |
| 11505 | LWR DA/BD BRKT B          |
| 11511 | DA/BD LWR PNL OTR         |
| 11513 | BATTERY CONNECTER BRKT    |
| 11514 | COOLANT HOSE BRKT         |
| 11515 | BATTERY WATER HOSE BRKT A |
| 11516 | BATTERY WATER HOSE BRKT B |
| 11517 | LWR DA/BD STIFF OTR RH    |
| 11518 | LWR DA/BD STIFF OTR LH    |
| 11519 | LWR DA/BD STIFF INSIDE RH |
| 11520 | LWR DA/BD STIFF INSIDE LH |
| 11521 | LWR DA/BD STIFF INR RH    |
| 11522 | LWR DA/BD STIFF INR LH    |
| 11523 | BATTERY BRKT B RH         |
| 11524 | BATTERY BRKT B LH         |

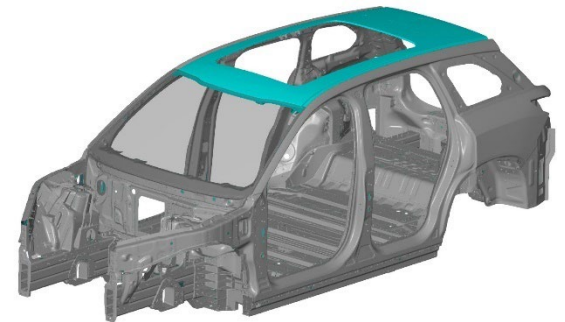
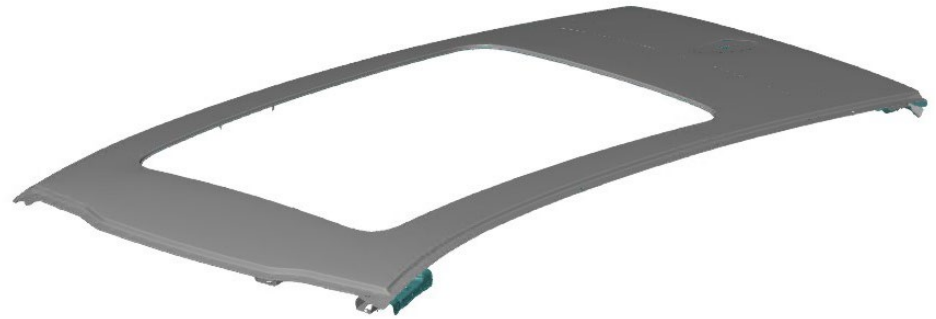


# 計測（分割）部品一覧

（１）－③ ＣＰＥのためのデータ構築・データベース管理手法の検討 別紙

## 12100～12171 ROOF周り

| 部番    | 部品名                         |
|-------|-----------------------------|
| 12100 | SUNROOF                     |
| 12101 | SUNROOF INN                 |
| 12102 | RR ROOF STIFF               |
| 12121 | FR ROOF RAIL                |
| 12122 | FR ROOF RAIL BRKT RH        |
| 12123 | FR ROOF RAIL BRKT LH        |
| 12124 | ROOF CNSL BRKT              |
| 12125 | SUN VISOR BRKT A            |
| 12126 | SUN VISOR BRKT B            |
| 12127 | SUN VISOR BRKT C            |
| 12128 | SUN VISOR BRKT D            |
| 12140 | GUTTER UPR RR               |
| 12141 | GUTTER UPR RR HINGE BRKT RH |
| 12142 | GUTTER UPR RR HINGE BRKT LH |
| 12150 | RR ROOF RAIL INR            |
| 12170 | FR ROOF RH                  |
| 12171 | FR ROOF LH                  |



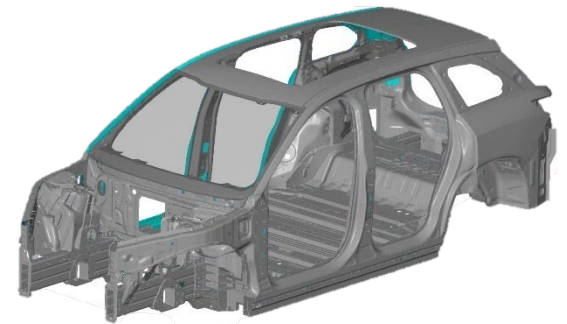


# 計測（分割）部品一覧

(1) -③ C P E のためのデータ構築・データベース管理手法の検討 別紙

## 13100～13324 SIDE PNL OUTER RH周り

| 部番    | 部品名                                |
|-------|------------------------------------|
| 13100 | FR OUTSIDE PNL RH                  |
| 13101 | FR PLR LWR RH NAKA                 |
| 13140 | A-PLR OUTSIDE PNL INR RH           |
| 13150 | CTR-PLR OUTSIDE PNL INR RH         |
| 13155 | CTR-PLR RR DOOR RH HINGE UPR PATCH |
| 13160 | C-PLR OUTSIDE PNL INR RH           |
| 13221 | SIDE SILL STIFF RH                 |
| 13222 | SIDE SILL PATCH RH                 |
| 13223 | FR FEN BRKT RH                     |
| 13224 | BATTERY BRKT A/B FR/RR RH/LH       |
| 13225 | FR BRKT RH                         |
| 13226 | RR BRKT RH                         |
| 13227 | SIDE SILL STIF RR END RH           |
| 13228 | SIDE SILL STIF FR END RH           |
| 13240 | SIDE SILL STIFF BRKT RH A          |
| 13241 | SIDE SILL STIFF BRKT RH B          |
| 13242 | SIDE SILL STIFF BRKT RH C          |
| 13310 | TL BRKT RH                         |
| 13321 | RR COMB LAMP ADPT RH               |
| 13322 | GUTTER LWR RH                      |
| 13323 | GUTTER RR UPR RH                   |
| 13324 | GUTTER MID RR RH                   |

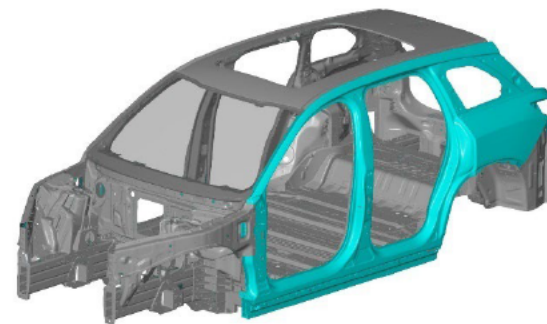


# 計測（分割）部品一覧

（１）－③ C P Eのためのデータ構築・データベース管理手法の検討 別紙

## 13500～13705 SIDE PNL OUTER LH周り

| 部番    | 部品名                                |
|-------|------------------------------------|
| 13500 | FR OUTSIDE PNL LH                  |
| 13501 | FR PLR LWR LH NAKA                 |
| 13540 | A-PLR OUTSIDE PNL INR LH           |
| 13550 | CTR-PLR OUTSIDE PNL INR LH         |
| 13555 | CTR-PLR RR DOOR LH HINGE UPR PATCH |
| 13560 | C-PLR OUTSIDE PNL INR LH           |
| 13621 | SIDE SILL STIFF LH                 |
| 13622 | SIDE SILL PATCH LH                 |
| 13623 | FR FEN BRKT LH                     |
| 13625 | FR BRKT LH                         |
| 13626 | RR BRKT LH                         |
| 13627 | SIDE SILL STIF RR END LH           |
| 13628 | SIDE SILL STIF FR END LH           |
| 13701 | RR COMB LAMP ADPT LH               |
| 13702 | TL BRKT LH                         |
| 13703 | GUTTER LWR LH                      |
| 13704 | GUTTER RR UPR LH                   |
| 13705 | GUTTER MID RR LH                   |

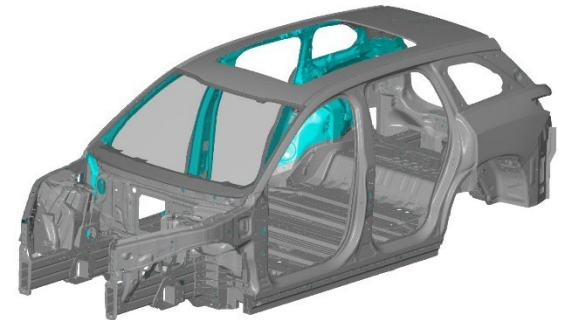
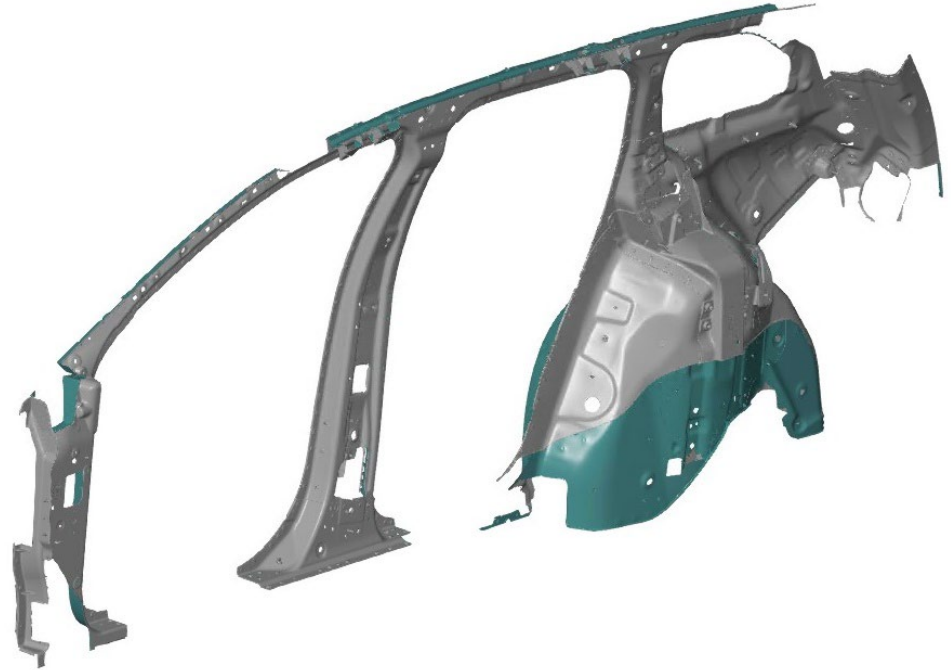


# 計測（分割）部品一覧

(1) -③ C P Eのためのデータ構築・データベース管理手法の検討 別紙

## 14116～14342 SIDE PNL INNER RH周り

| 部番    | 部品名                           |
|-------|-------------------------------|
| 14116 | FR PLR RH                     |
| 14117 | FR PLR LWR RH                 |
| 14211 | ROOF SIDE RAIL RH             |
| 14212 | FR GRAB RAIL RH               |
| 14213 | ROOF SIDE RAIL RH BRKT        |
| 14221 | CTR INR PLR RH                |
| 14222 | CTR PLR BRKT RH               |
| 14223 | RR DOOR HINGE LWR BRKT RH T A |
| 14224 | RR DOOR HINGE LWR BRKT RH T B |
| 14225 | CTR INR PLR RH INR            |
| 14301 | RR INSIDE PNL RH              |
| 14303 | RR SIDE PNL INR RH            |
| 14304 | RR INSIDE PNL BRKT RH         |
| 14311 | RR INR PLR LWR RH             |
| 14312 | RR INR PLR PNL RH             |
| 14321 | RR W/H INSIDE PNL RH          |
| 14322 | RR SEAT BELT BRKT B RH        |
| 14327 | RR DMPR BASE STIFF RH         |
| 14329 | RR DMPR BASE PATCH RH         |
| 14330 | RR W/H OUTSIDE PNL RH         |
| 14340 | RR AIR CON BRKT               |
| 14341 | RR W/H INSIDE PNL BRKT RH     |
| 14342 | RR W/H OUTSIDE PNL BRKT RH    |



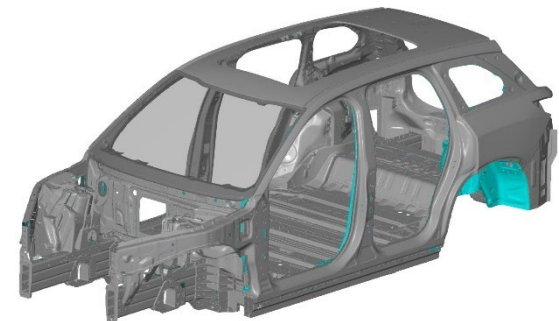
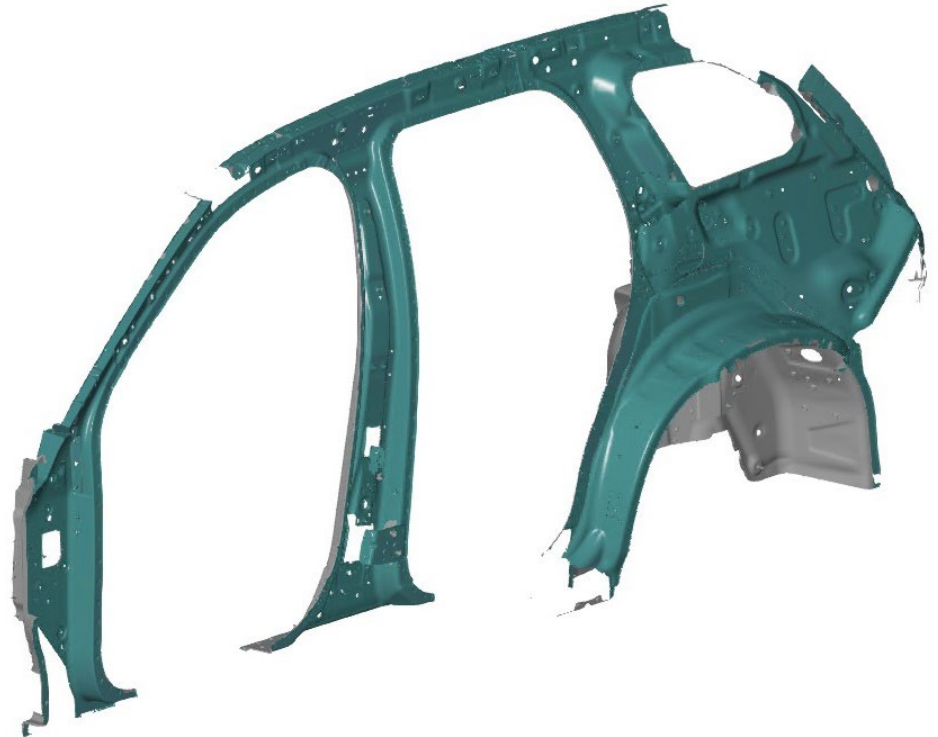


# 計測（分割）部品一覧

(1) -③ C P Eのためのデータ構築・データベース管理手法の検討 別紙

## 14516～14742 SIDE PNL INNER LH周り

| 部番    | 部品名                           |
|-------|-------------------------------|
| 14516 | FR PLR LH                     |
| 14517 | FR PLR LWR LH                 |
| 14611 | ROOF SIDE RAIL LH             |
| 14612 | FR GRAB RAIL LH               |
| 14613 | ROOF SIDE RAIL LH BRKT        |
| 14621 | CTR INR PLR LH                |
| 14622 | CTR PLR BRKT LH               |
| 14623 | RR DOOR HINGE LWR BRKT LH T A |
| 14624 | RR DOOR HINGE LWR BRKT LH T B |
| 14625 | CTR INR PLR LH INR            |
| 14701 | RR INSIDE PNL LH              |
| 14703 | RR SIDE PNL INR LH            |
| 14711 | RR INR PLR LWR LH             |
| 14712 | RR INR PLR PNL LH             |
| 14721 | RR W/H INSIDE PNL LH          |
| 14722 | RR SEAT BELT BRKT B LH        |
| 14727 | RR DMPR BASE STIFF LH         |
| 14729 | RR DMPR BASE PATCH LH         |
| 14730 | RR W/H OUTSIDE PNL LH         |
| 14741 | RR W/H INSIDE PNL BRKT LH     |
| 14742 | RR W/H OUTSIDE PNL BRKT LH    |

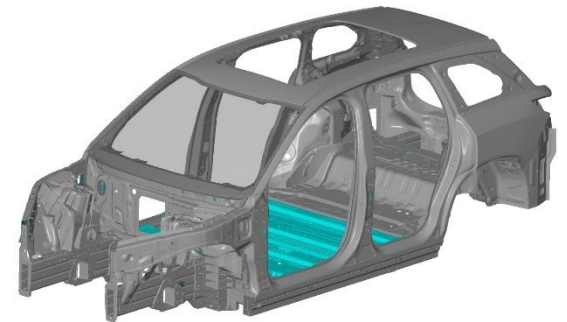
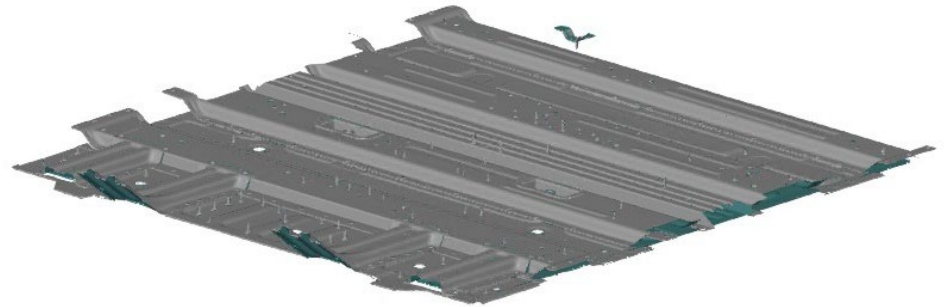


# 計測（分割）部品一覧

(1) -③ C P Eのためのデータ構築・データベース管理手法の検討 別紙

## 15101～15173 FR～CTR FLOOR周り

| 部番    | 部品名                     |
|-------|-------------------------|
| 15101 | FR FLOOR UPR FRAME RH A |
| 15102 | C MBR A                 |
| 15103 | C MBR A BRKT RH         |
| 15104 | C MBR B                 |
| 15105 | C MBR C                 |
| 15106 | C MBR D                 |
| 15107 | C MBR E                 |
| 15110 | FR FLOOR FR             |
| 15111 | FR FLOOR MID            |
| 15114 | FR FLOOR MID BRKT       |
| 15151 | FR FLOOR UPR FRAME LH A |
| 15152 | FR FLOOR UPR FRAME LH B |
| 15153 | C MBR A BRKT LH         |
| 15154 | C MBR E BRKT RH         |
| 15155 | C MBR E BRKT CTR        |
| 15156 | C MBR E BRKT LH         |
| 15160 | FR FLOOR UPR FRAME RH B |
| 15170 | C MBR B BRKT RH         |
| 15171 | C MBR B ADJUSTER RH     |
| 15172 | C MBR B BRKT LH         |
| 15173 | C MBR B ADJUSTER LH     |

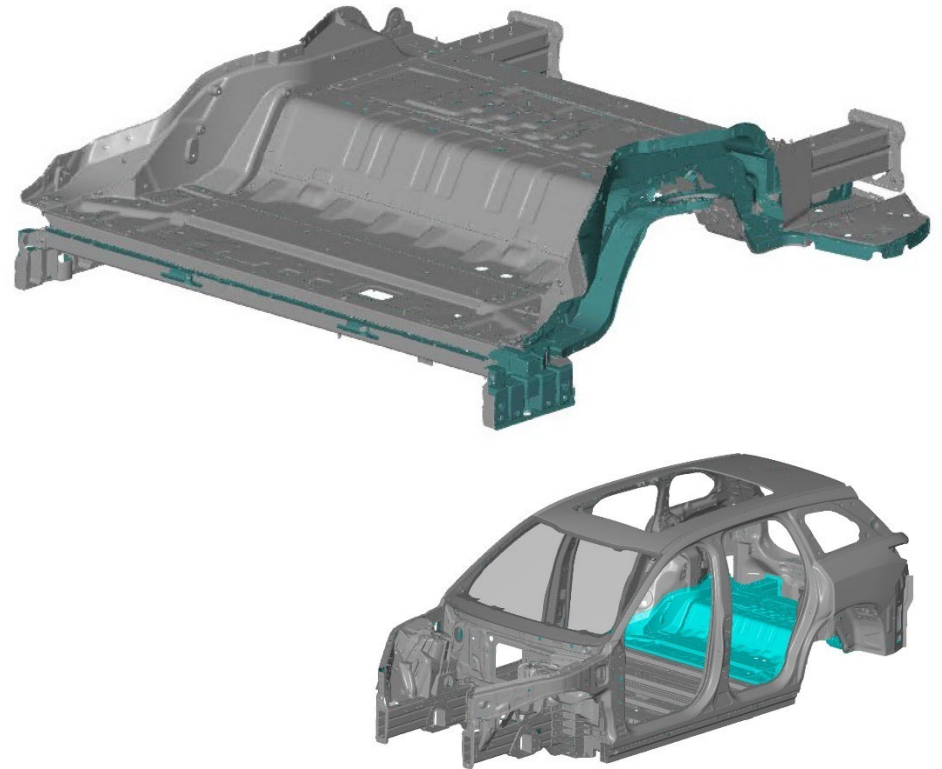


# 計測（分割）部品一覧

(1) -③ C P E のためのデータ構築・データベース管理手法の検討 別紙

## 15531～15706 RR FLOOR周り

| 部番    | 部品名                      |
|-------|--------------------------|
| 15531 | STIFF RR FRAME           |
| 15533 | STIFF RR FLOOR UPR RH    |
| 15534 | STIFF RR FLOOR UPR LH    |
| 15536 | RR FLOOR LWR 1           |
| 15538 | RR FLOOR LWR 3           |
| 15541 | RR FLOOR PNL             |
| 15543 | STIFF RR FRAME           |
| 15544 | RR FLOOR PNL CTR         |
| 15545 | RR FLOOR PNL LWR CTR     |
| 15546 | MOTER MOUNT BRKT FR RH   |
| 15547 | MOTER MOUNT BRKT FR LH   |
| 15550 | STIFF RR FRAME BRKT      |
| 15601 | RR FRAME RH              |
| 15602 | RR BMPR BEAM RH          |
| 15603 | RR BMPR BEAM LWR BRKT RH |
| 15605 | RR BMPR BEAM BRKT RH     |
| 15606 | RR FRAME RH 1            |
| 15607 | STIFF RR FRAME RH        |
| 15608 | GUSSET RR FRAME RH       |
| 15651 | RR FRAME LH              |
| 15652 | RR BMPR BEAM LH          |
| 15653 | RR BMPR BEAM LWR BRKT LH |
| 15655 | RR BMPR BEAM BRKT LH     |
| 15656 | RR FRAME LH 1            |



| 部番    | 部品名                |
|-------|--------------------|
| 15657 | STIFF RR FRAME LH  |
| 15658 | GUSSET RR FRAME LH |
| 15701 | RR LGG PNL CTR     |
| 15702 | RR LGG RH          |
| 15703 | RR LGG LH          |
| 15704 | RR MBR FR CTR      |
| 15705 | RR MBR FR FR       |
| 15706 | C MBR RR FLOOR     |

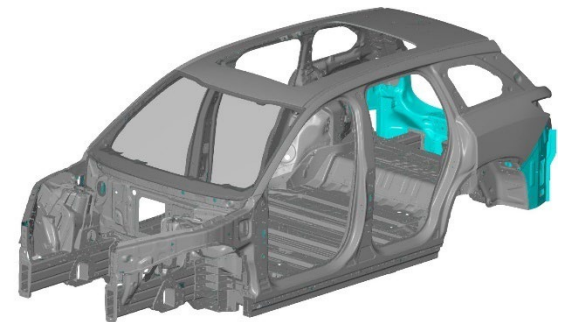
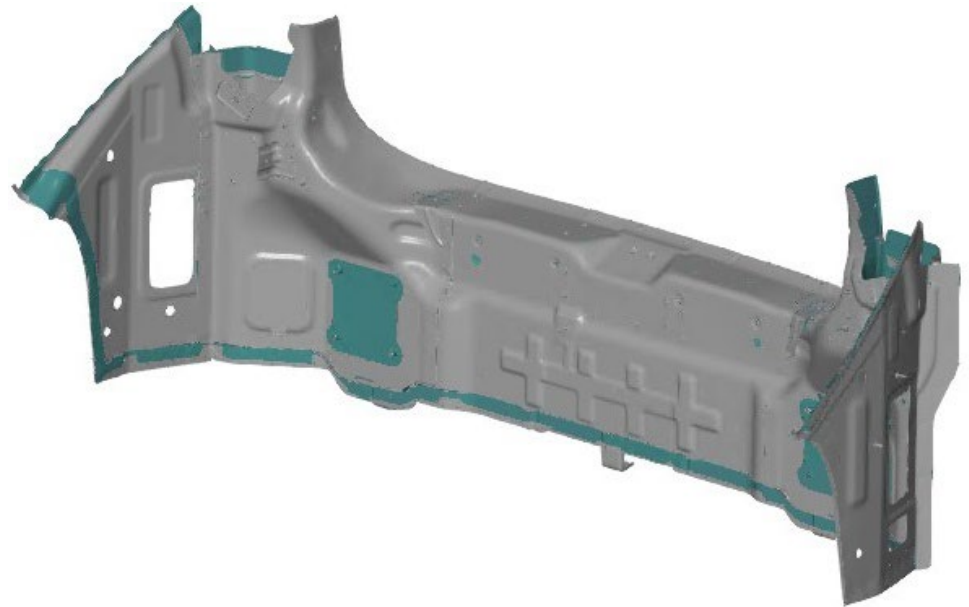


# 計測（分割）部品一覧

（１）－③ C P Eのためのデータ構築・データベース管理手法の検討 別紙

## 16101～16116 RR PNL周り

| 部番    | 部品名                              |
|-------|----------------------------------|
| 16101 | RR PNL OTR UPR                   |
| 16102 | RR PNL INR                       |
| 16103 | STIFF RR PNL SIDE RH             |
| 16104 | STIFF RR PNL SIDE LH             |
| 16105 | RR PNL SIDE RH                   |
| 16106 | RR PNL SIDE LH                   |
| 16110 | RR BMPR BRKT LWR RH/CTR/LH       |
| 16111 | RR BMPR BRKT UP RH               |
| 16112 | RR BMPR BRKT UP LH               |
| 16113 | TG ROCKER PNL BRKT RH            |
| 16114 | TG ROCKER PNL BRKT LH            |
| 16115 | STIFF RR PNL SIDE RH BRKT 1      |
| 16116 | STIFF RR PNL SIDE RH / LH BRKT 2 |

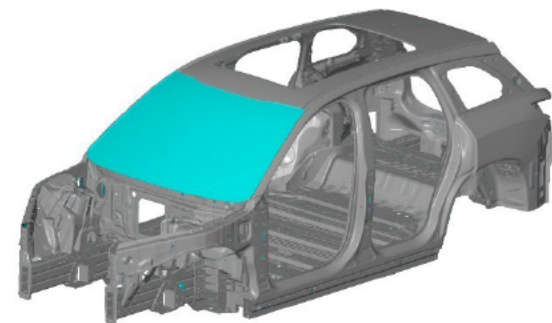
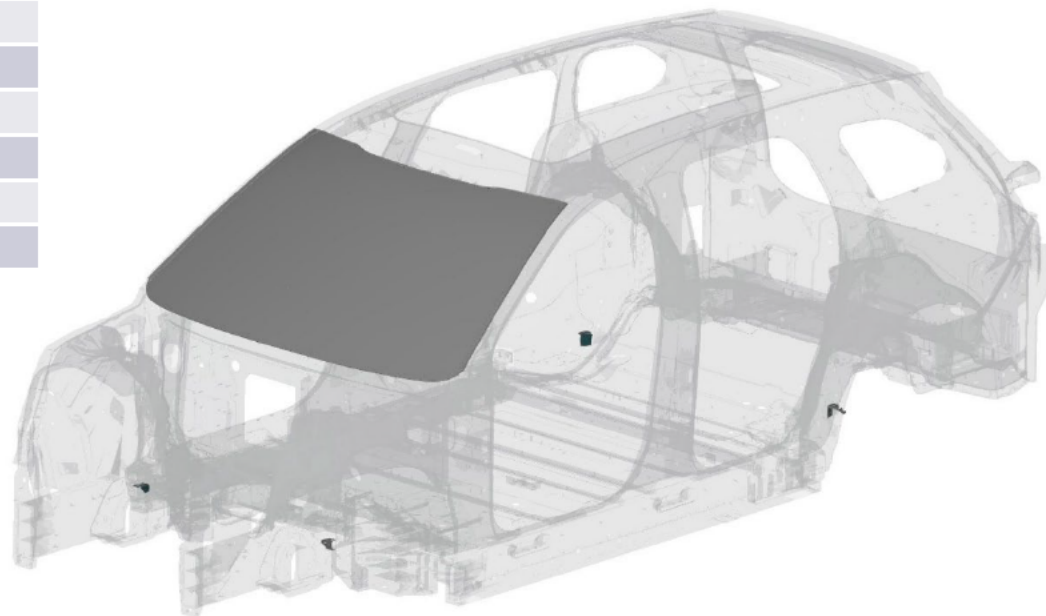


# 計測（分割）部品一覧

(1) -③ C P Eのためのデータ構築・データベース管理手法の検討 別紙

## 23111～23113、46424～46436 外装部品及びシャシー周り

| 部番    | 部品名                   |
|-------|-----------------------|
| 23111 | FR WINDSHIELD GLASS   |
| 23112 | FR GLASS MALL RH      |
| 23113 | FR GLASS MALL LH      |
| 46424 | FR LWR FRAME BRKT RH  |
| 46425 | FR SIDE FRAME BRKT LH |
| 46435 | RR BRAKE HOSE BRKT RH |
| 46436 | RR BRAKE HOSE BRKT LH |



## (2) CAEモデル化による各種シミュレーションの実施と検証

令和4年度までに取得・構築したCAEデータ又は(1)で得られた結果をもとに、衝突等についてCAEモデル計算を行い、X線CTによって得られたデータの活用可能性を調査検証する。シミュレーションの実施に当たっては、材料特性等のパラメータを変更すること等により、X線CTによる計測で得られた結果のみからは推測が難しい特性による影響を、リバースエンジニアリング対策の視点から評価する。



## (2)－① NIO ES8 の CAE モデル化

### 実施内容

- CAE 衝突解析用 ES8 モデルを作成する。なお解析で使うメッシュデータは測定データを元に作成する。
- ES8 は、昨年度作成した EC6 のモデルと部品を多く共用する。モデル作成工数を抑えるために、共用する部品のモデルは EC6 解析モデルより流用する。
- EC6/ES8 はアルミ部材を使用している。材料の違いによる影響を仮想空間で考察できるようにするため、鋼板材料へ置き換えた時の解析計算も実施した。
- 作成工程を振り返り、EC6 モデル作成における課題の違いを検討した。



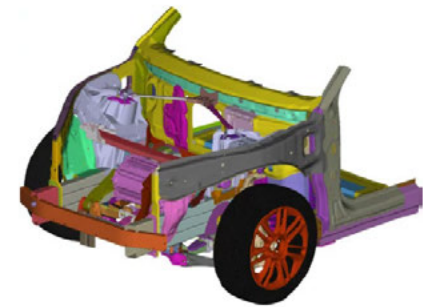
NIO ES8 実車写真



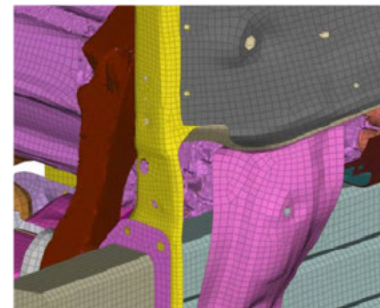
NIO EC6 実車写真



メッシュデータ(ES8)



メッシュデータ(EC6)

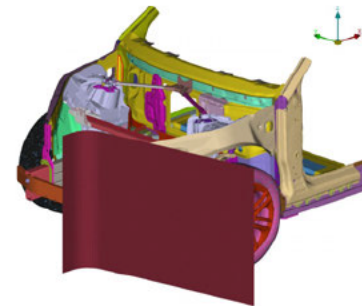


メッシュデータ拡大図

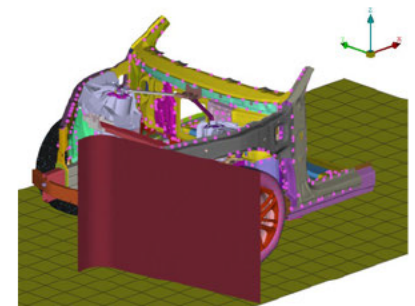
## (2)－① NIO ES8 の CAE モデル化

### 実施成果

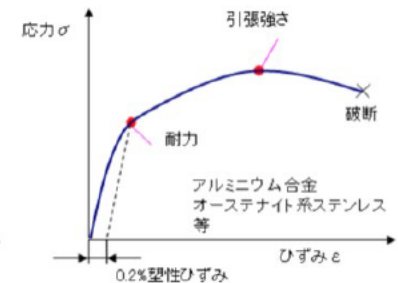
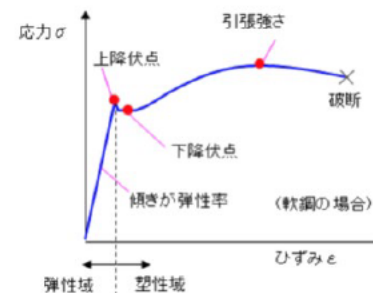
- ①測定データから解析メッシュデータを板厚中立に作り、形状の再現に成功した。
- ②部品毎にメッシュを集合化し、板厚を定義した。複数の板厚を持つ部品は板厚毎に集合化した。
- ③アルミと鋼板の材質違いによる結果影響を調べられるようにするため、異なる材料データを解析モデルへ定義した。
- ④部品締結のモデル化  
測定データより結合位置を示す CAD データを準備し、データ から締結情報を取得し締結モデルを作成した。
- ⑤EC6 モデル作成の課題比較  
メッシュデータ作成に使った測定データは EC6 モデルと同様に光学スキャンを主に使い、これを STL データ化してメッシュデータを作成した。  
このため、次ページに示す課題が発生した。これらは、EC6 モデル作成時と共通する。



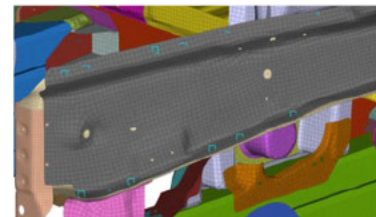
解析モデル(ES8)



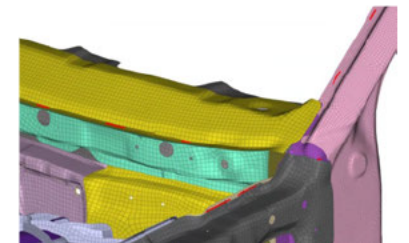
解析モデル(EC6)



材料データ例(左図:鋼板、右図:アルミ材)  
※ <https://note.com> より抜粋



結合データ例(点溶接)



結合データ例(線溶接)

# モデリング上の課題

## 1. 解析用メッシュデータ作成

EC6 用モデル作成と同様に、以下の課題が発生し、作業負荷の増加要因となった。

### ①不要形状を手動で削除

CAD 形状データはメッシュ化しない部品を非表示可能。一方、測定データは部品が締結された状態で測定されており、ボルト等の不要部品の表示を省くことができない。

### ②形状の保持

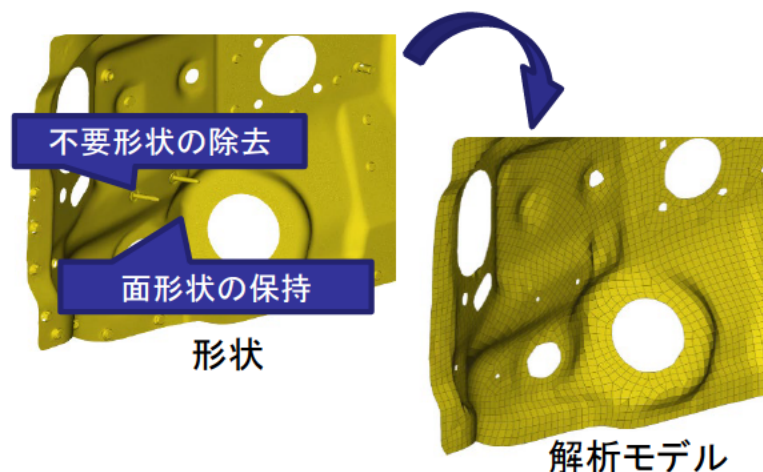
形状は CAD データでなく STL データを使用したため、稜線が存在しない。このため、メッシュの作成時に稜線と一致しない形状を手動でメッシュ調整する作業が必要となった。

## 2. 部品締結のモデル化

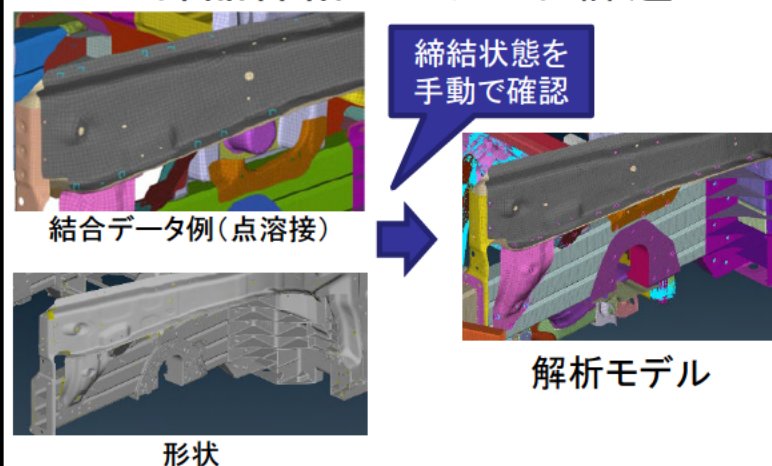
溶接位置の測定結果から CAD データを作り、本データを用いて部品締結モデルを作成した。

ただし、結合する部品に関する情報は含まれていない。このため、形状データ等を使って締結する部品を確認して、部品締結モデルを手動で作成した。これらは、作業負荷の増加へ影響する。部品形状から締結位置、締結部品、締結方法(溶接やボルト等)を判定して、締結モデルを自動作成するツール開発に期待したい。

### 形状データからのモデル化課題



### 部品締結のモデル化課題





## (2)－② NIO ES8 の衝突解析計算

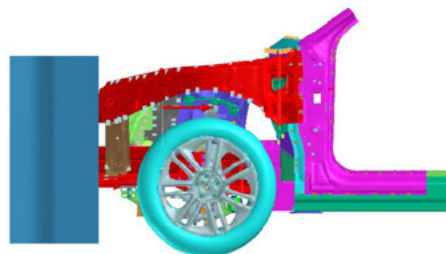
### 実施内容

- 衝突解析結果の評価  
動的解析ソフト「PAM-CRASH」を用いた衝突解析計算を行い、NIO ES8 前面衝突性能を評価した。  
また、昨年度に行った NIO EC6 との比較も行った。

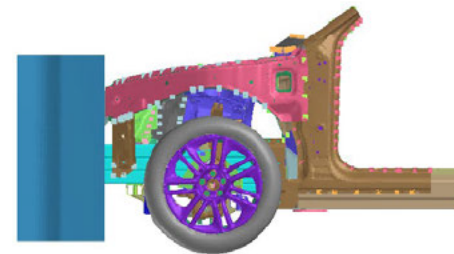
### 実施成果

シミュレーションにおいて下記の結果を得られ、適切な解析結果であると確認できた。

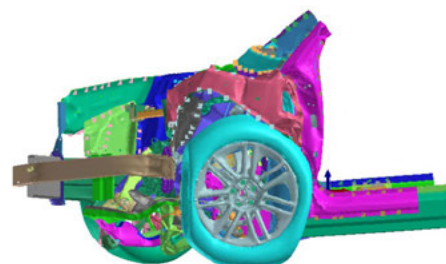
- 衝突速度は 64km/h と日本や欧米などで一般的に実施されるオフセット衝突を採用した。
- 衝突前後のエネルギーバランスのチェックを行い、運動量保存則より求められるエネルギー推定値と解析結果が等しく、全エネルギー量が安定していることを確認した。よって、解析計算は安定的に実施されたと判断できる。
- 主に衝突側(車両左側)の部材が大きく変形した。特に、前輪タイヤ周辺の部品変形が大きい。



EC6 解析モデル(2330Kg)



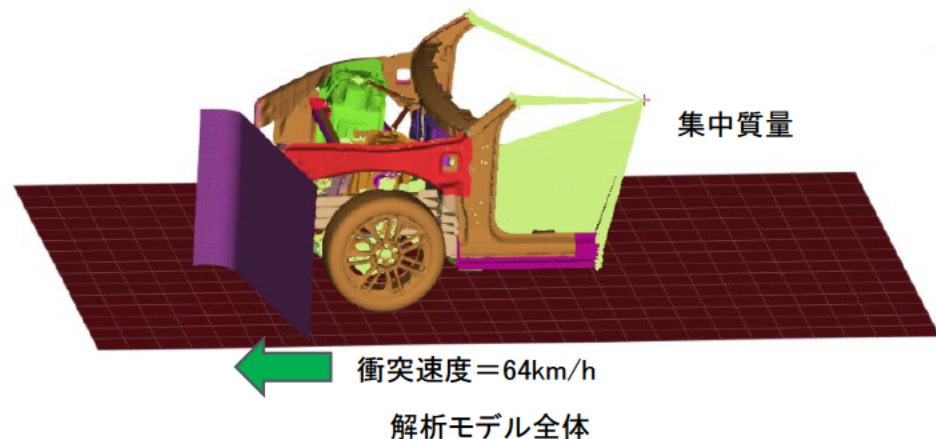
ES8 解析モデル(2428Kg)



EC6 解析結果(変形モード)



ES8 解析結果(変形モード)



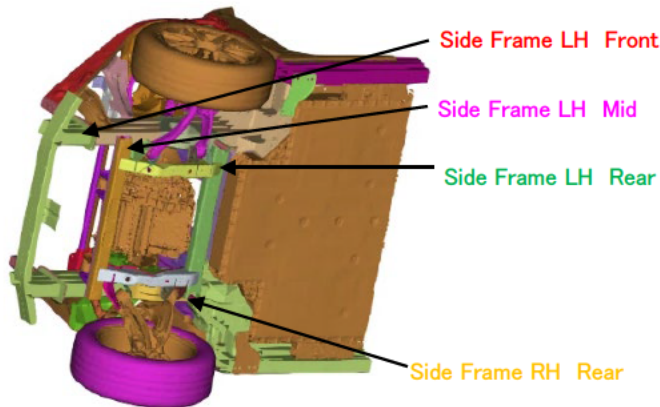


## (2)－② NIO ES8 の衝突解析計算

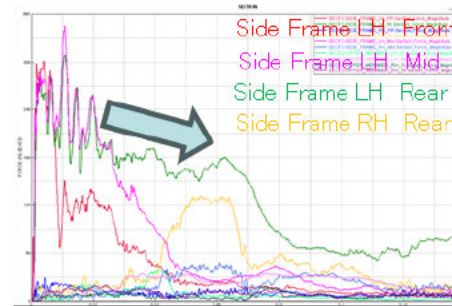
### 実施成果

シミュレーションで得られた主要な部品に掛かる荷重について考察する。

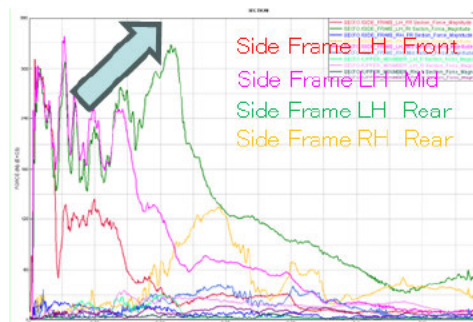
- EC6 は衝突直後に荷重がピークを迎え、その後は低い値を示した。車両前側の部品の剛性が非常に高く、本車両の特徴的な構造と考えられる。
- ES8 はフレーム前～中央部の変形、さらにリア側の変形時に荷重ピークが見られ、重い車重を効果的に吸収しているものと見られる(図中矢印の方向に負荷荷重が移動)。
- アルミ材よりも鋼板を使った車両の方が部品荷重は高くなる傾向を示した。材質違いによる剛性の差が要因と考えられる。



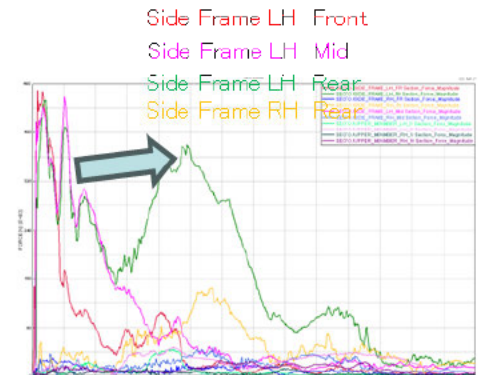
解析結果取得位置



EC6 部品荷重  
ピーク値: 約 350kN



ES8 部品荷重(アルミ)  
ピーク値: 約350kN



ES8 部品荷重(鋼板)  
ピーク値: 約 470kN

## (2)－② NIO EC6 の衝突解析計算(参考)

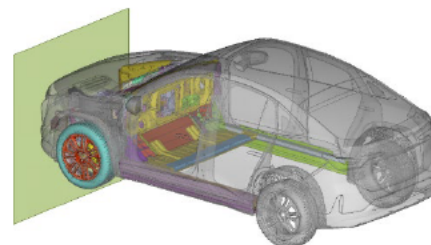
### 実施内容

- 衝突解析結果の評価  
動的解析ソフト「PAM-CRASH」を用いた衝突解析計算を行い、NIO EC6 前面衝突性能を評価した。  
また、初年度に行った VW Golf との比較も行った。

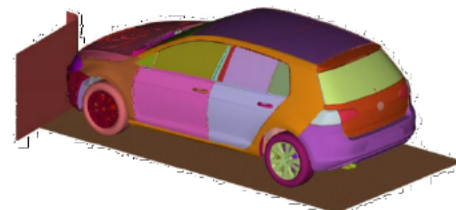
### 実施成果

シミュレーションにおいて下記の結果を得られ、適切な解析モデルであることが確認できた。

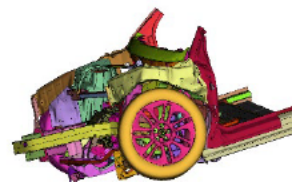
- 衝突前後のエネルギーバランスのチェックを行い、運動量保存則より求められる想定値と解析計算により求められる結果が等しく、全体エネルギー量が安定していることを確認した。よって、解析計算が問題無く実施されたものと確認できた。
- 主に衝突側の構造部材が大きく変形した。
- EC6 は、衝突開始直後に荷重がピークを迎えた。部品剛性が非常に高く、本車両の構造上の特徴と判明した。
- Golf は構造部材が潰れた時点で部品荷重がピークとなり、衝突による荷重のピーク値(衝撃)は EC6 の約半分に迎えられていることがわかった。これは EC6 と比べて衝撃吸収に優れていると言える。



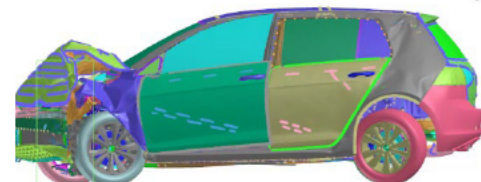
EC6 衝突解析モデル



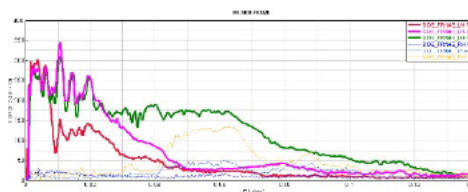
Golf 衝突解析モデル



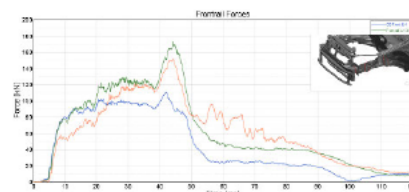
EC6 衝突解析結果  
(変形モード)



Golf 衝突解析結果  
(変形モード)



EC6 衝突解析結果  
(部品荷重)  
ピーク値: 約 350kN



Golf 衝突解析結果  
(部品荷重)  
ピーク値: 約170kN

## (2) C A Eモデル化による各種シミュレーションの実施と検証【 EMC解析 】

---

### 『 C A Eモデル化による各種シミュレーションの実施と検証』に関するEMC解析項目

1. 構築した**NIO-ES8 ホワイトボディの板厚無し中立面CADモデル**から、**EMC解析用モデル**を構築し、Dassault社MWSを用いてFEM解析し、**Sパラメータおよび電界伝搬のアニメーション動画**を導出する。
2. CADモデルから**EMC解析モデル構築までの工数および解析時間等**について、下記 2 モデルで比較する。
  - ① NIO-EC6(R4年度対象モデル：STLモデル、使用ツール：GOM Inspect)
  - ② NIO-ES8(R5年度対象モデル：CADモデル、使用ツール：Beta社ANSA)
3. EMC解析において、下記 2 モデルを作成し、**板厚有無によるSパラメータ有意差**を示す。
  - ① 板厚無し(材質：PEC, Perfect Electric Conductor 完全導体)
  - ② 板厚有り(材質：アルミニウム)
4. **板厚有りモデルの作成上の課題まとめ、および改善案**を提示する。

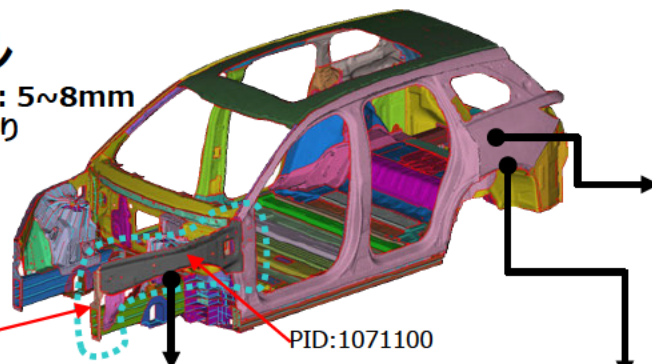




# EMC解析用に構築したモデル

## CADモデル

- ✓ メッシュサイズ：5~8mm
- ✓ 板厚情報：あり



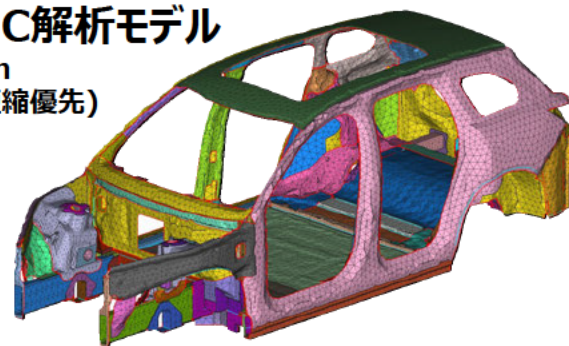
PID:1091500

PID:1071100

## ① NIO-ES8 EMC解析モデル

- ✓ メッシュサイズ：50mm  
(解析時間短縮優先)
- ✓ 不要パーツ：削除
- ✓ 不要リブ：削除
- ✓ 不要穴：削除

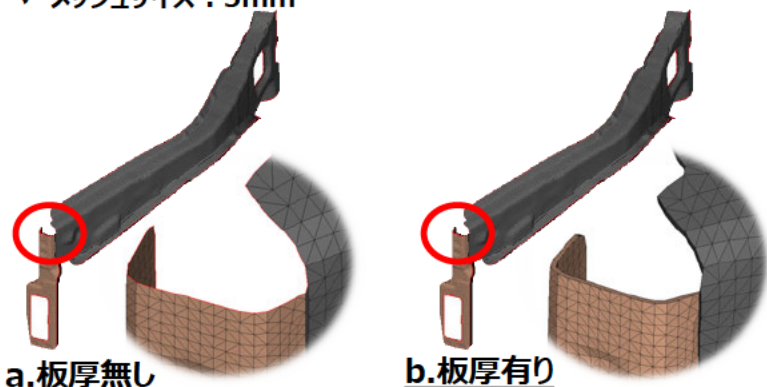
NIO-EC6/ES8比較用  
✓ モデル構築時間  
✓ 解析時間



## ② 板厚有無プレ解析モデル

板厚有無有意差プレ評価用

- ✓ メッシュサイズ：5mm



a.板厚無し

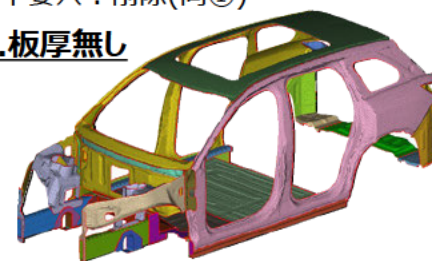
b.板厚有り

## ③ 板厚有無EMC解析モデル

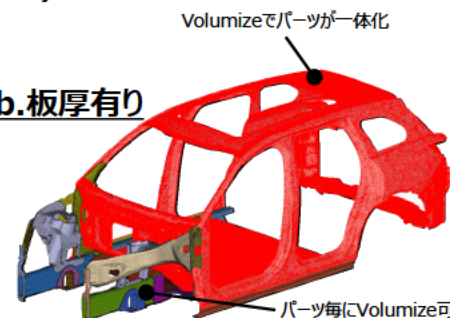
- ✓ 板厚モデル化不可パーツ：削除
- ✓ メッシュサイズ：Max 20mm(部品交差回避)
- ✓ 不要リブ：削除(同①)
- ✓ 不要穴：削除(同①)

・板厚有無有意差評価用  
・板厚有りモデル構築課題洗い出し

a.板厚無し



b.板厚有り

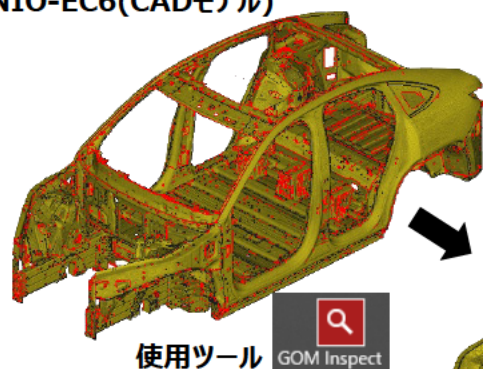


CADモデルから、以下3種(板厚有無を含めて分類すると5個)のモデルを作成。

- ① EMC解析用車両モデル：NIO-EC6とNIO-ES8のモデル作成手法の差異による工数および解析時間比較用モデル
- ② 板厚有無プレ解析モデル：NIO-ES8車両板厚ありモデル作成難易度が高いと予想し、事前検証用に作成したモデル
- ③ 板厚有無EMC解析モデル：NIO-ES8車両規模の板厚有無による有意差評価用モデル

# EMC解析モデル作成工数比較

NIO-EC6(CADモデル)



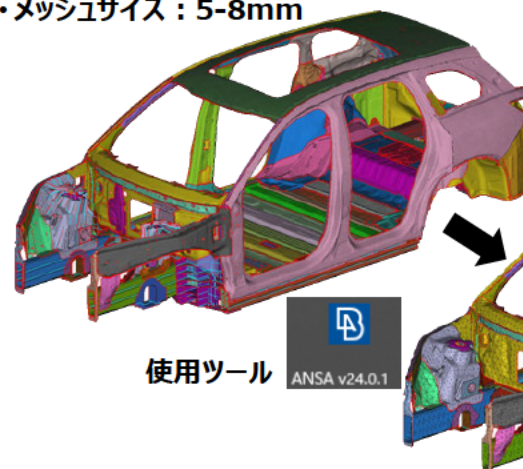
使用ツール GOM Inspect

NIO-EC6(EMC解析モデル)

- ・不要パーツ：削除
- ・不要リブ形状：削除
- ・不要穴：削除
- ・メッシュサイズ：部分により任意

NIO-ES8(CADモデル)

・メッシュサイズ：5-8mm



使用ツール ANSA v24.0.1

NIO-ES8(EMC解析モデル)

- ・不要パーツ：削除
- ・不要リブ形状：削除
- ・不要穴：削除
- ・メッシュサイズ：50mm
- ・部品間接続

|            |          | NIO-EC6                     |                |       | NIO-ES8                  |               |       | NIO-EC6/ES8<br>削減効果 |
|------------|----------|-----------------------------|----------------|-------|--------------------------|---------------|-------|---------------------|
|            |          | CADモデル                      | EMC解析モデル       | 要素削減率 | CADモデル                   | EMC解析モデル      | 要素削減率 |                     |
| モデル作成時間*1  |          | 車体部分のみ：40人・日 (2か月)          |                |       | 15人・日 (3週間)              |               |       | 37.5%(▲62.5%)       |
| モデル要素数     |          | 18,234,277                  | <b>362,661</b> | 1.99% | 2,883,438                | <b>93,667</b> | 3.25% | 25.8%               |
| 解析<br>時間*2 | 初期メッシュ   | 1d, 16h, 33m, 33s (146013s) |                |       | 23m, 51s (1431s)         |               |       | 0.98%               |
|            | Sパラメータ解析 | 7d, 1h, 53m, 28s (611608s)  |                |       | 5 h, 06 m, 45 s (18405s) |               |       | 3.01%               |
| 解析消費メモリ    |          | 317.3GB                     |                |       | 103.3GB                  |               |       | 32.6%               |

(\*1) 作業記録(日報)より算出

(\*2) NIO-EC6：ドア・テールゲート付き+ガラスアンテナ、NIO-ES8：ポールアンテナという差異があるため参考値

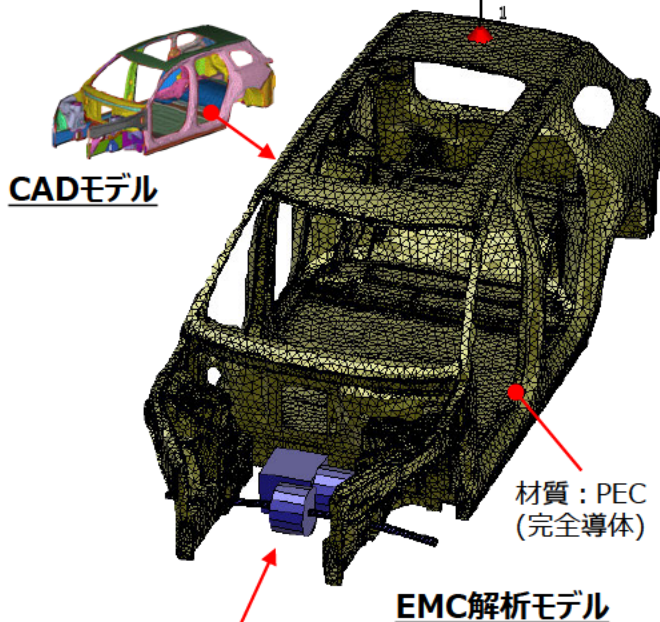
- モデリングツールに**ANSA**を利用することでEMC解析用モデル作成工数が**62.5%低減**できた。
- ANSA活用時、メッシュリダクションに適切なパラメータ値の検証に5日を要した。
- また、ANSAを初めて使用するに当たり、習熟までの期間(約15日)が別途必要であった。  
⇒ EMC解析モデル作成用のオペレーションマニュアル作成、および各種モデル対象におけるリダクションパラメータ検証が別途必要と考える。

# EMC解析①結果

## ①NIO-ES8 EMC解析モデル

- ✓アンテナ：ダミーFMアンテナ\*1
- ✓ノイズ源：モータドライブユニット\*2

(\*1) S11：ダミーFMアンテナ →

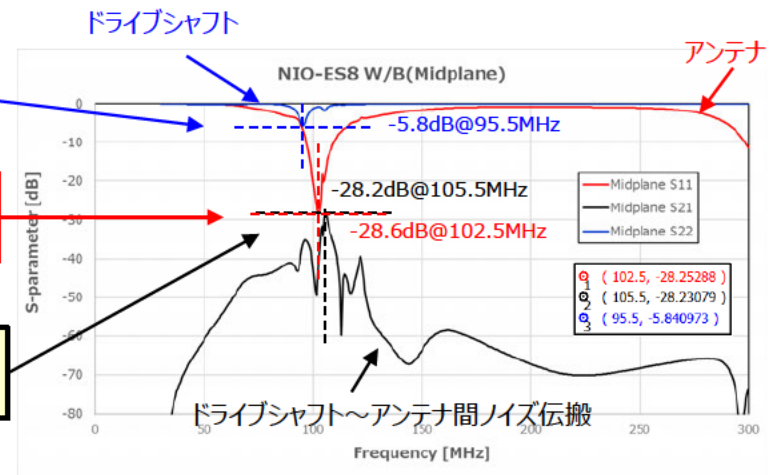


(\*2) S22：NIO-EC6のRrドライブユニットをFr部分に移植

ドライブシャフトがFM帯域で共振しノイズ源となっている

ポールアンテナとしたことで非常に高い感度を示している

FMアンテナ感度が高いため、ノイズ源～アンテナ結合が強い



板金端(接合されたエッジ部分)にノイズが集中して伝搬している

アンテナが車体(地板)と電磁結合しているためノイズ受信

ドライブシャフトから車体にノイズ伝搬

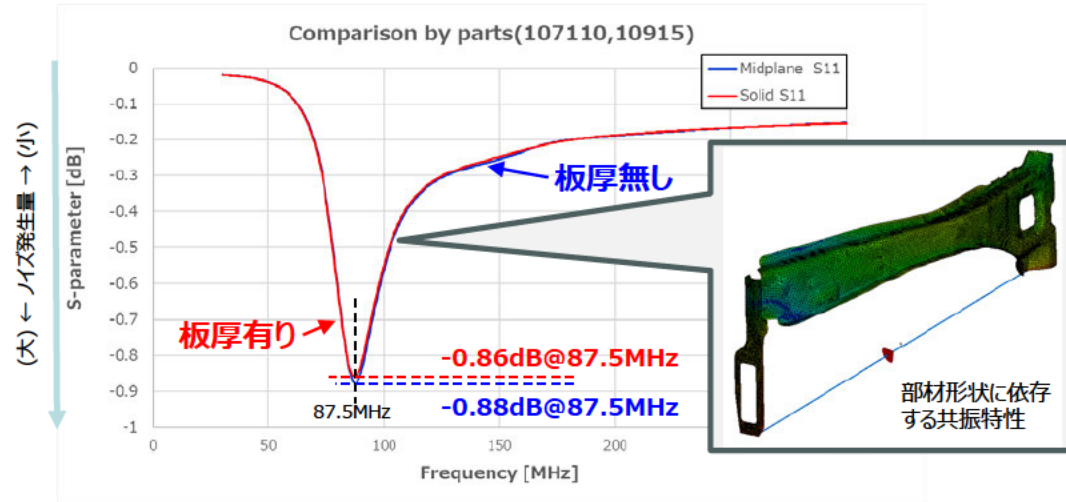
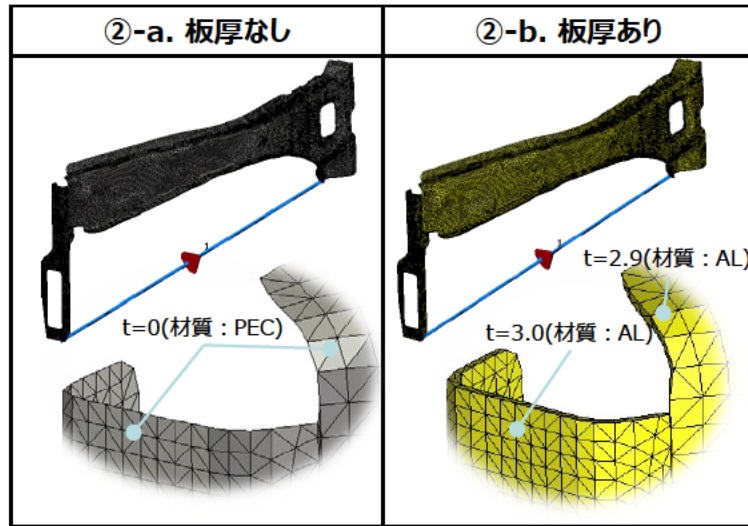
左右のドライブシャフト間に95.5MHzのノイズ励振

車体のエッジに沿ってノイズが伝搬している

ドライブシャフトのノイズがダミーFMアンテナに伝搬する状態をSパラメータと電界伝搬アニメで可視化



## EMC解析②結果



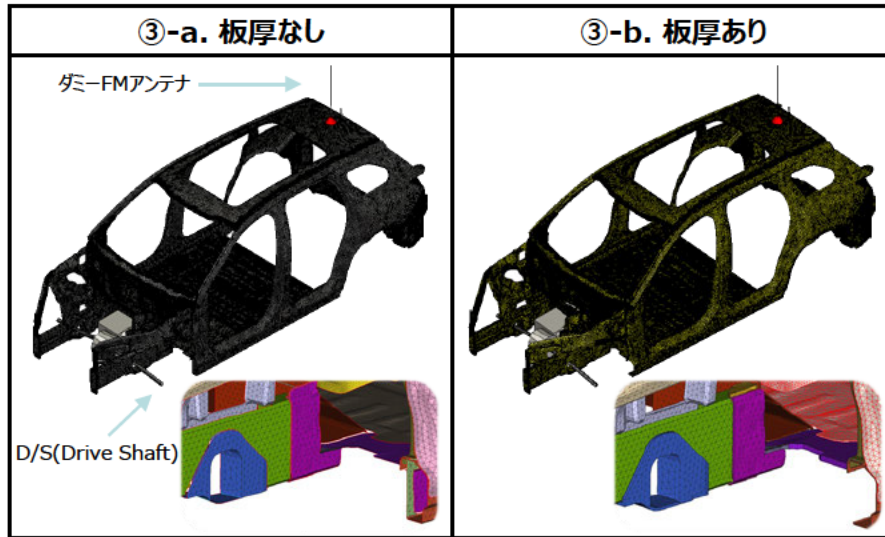
|       | 板厚なし<br>(PEC) | 板厚あり<br>(AL) | 板厚なし(PEC)<br>解析低減効果 |
|-------|---------------|--------------|---------------------|
| 解析時間  | 1444sec       | 2043sec      | ▲ 29.3%             |
| 消費メモリ | 42.7GB        | 51.8GB       | ▲ 17.6%             |

- 相関係数(R2) = 0.9997 ⇒ 30~300MHz範囲で極めて強い相関性を示す。
- ノイズ伝導量：PEC(-0.88dB) ≥ AL(-0.86dB) でPECがややノイズ発生量が多い。  
⇒ 理由は、PEC(完全導体：電気抵抗率=0)のため、ALに比べてノイズ伝導率が高い。  
⇒ EMC対策をする上で、ノイズ伝導量が多め = 対策マージンが増える傾向となる。
- 解析時間および消費メモリ削減効果：有り

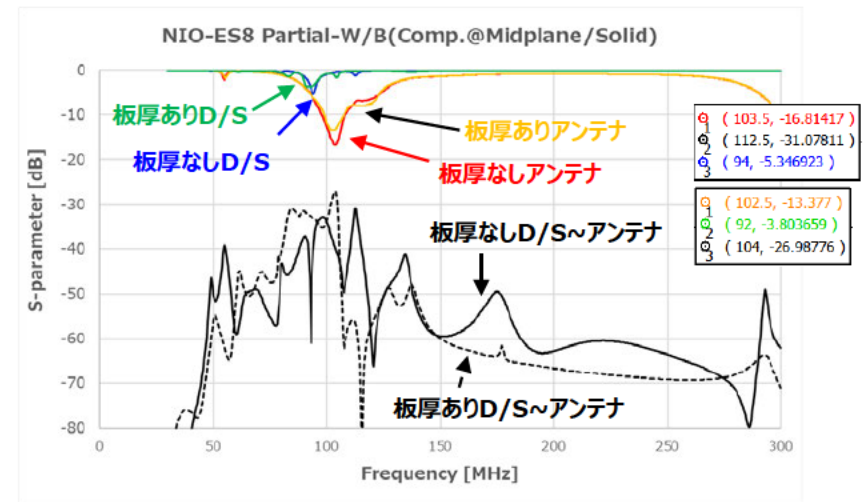
EMC解析をPEC(板厚=0)で解析するのは妥当



## EMC解析③結果



|       | 板厚なし<br>(PEC)            | 板厚あり<br>(AL)              | 板厚なし(PEC)<br>解析低減効果 |
|-------|--------------------------|---------------------------|---------------------|
| 解析時間  | 93,868sec<br>(26h04m28s) | 203,703sec<br>(56h35m03s) | ▲ 53.9%             |
| 消費メモリ | 81.0GB                   | 123.2GB                   | ▲ 34.3%             |



●相関係数( $R^2$ )  
( $\geq 0.7$ : 強い相関)

| アンテナS11 | D/S(S22) | アンテナ~D/S (S21) |
|---------|----------|----------------|
| 0.991   | 0.897    | 0.754          |

### ●相関係数( $R^2$ )について

- ・アンテナおよびD/Sの共振周波数に若干のズレ  $\Rightarrow$  近傍モデル形状不一致?
- ・D/S~アンテナ間伝導特性に明確なズレ  $\Rightarrow$  部材間距離・接合状態の差異  
 $\Rightarrow$  板厚有りモデルを構築するのが難航し、解析相関性改善まで踏み込めなかった。

### ●板厚あり/なしモデルによる解析負荷について

- ・解析時間: 56 $\rightarrow$ 26時間に短縮(1/2以下)
- ・消費メモリ: 123 $\rightarrow$ 81GBに低減(30%以上)

板厚なしモデルによる解析を推奨

# EMC解析結果まとめ

1. NIO-ES8 ホワイトボディの板厚無し中立面CADモデルから、ANSAを用いて下記のEMC解析用モデルを効率よく構築できた。
  - ① NIO-ES8 EMC解析モデル：NIO-EC6に比べ、工数：37.5%でモデリングでき、要素削減率：3.25%を達成できた。
  - ② 板厚有無プレ解析モデル：板厚有りモデル作成は高機能モデラー(ANSA)が必須であった。
  - ③ NIO-ES8 板厚有無EMC解析モデル：板厚有りモデル作成はの高機能モデラー(ANSA)が必須であった。
2. EMC解析モデル、および板厚有無EMC解析モデル作成に当たり、①不要パーツ削除→②不要リブ形状削除→③不要穴削除→③板間接続→④メッシュサイズ変更→(⑤板厚付与)→⑥メッシュ交差修正→⑦メッシュ品質チェック/修正 の作業工程を経るが、④メッシュサイズ設定によって、⑥メッシュ交差の発生レベルへの影響が大きいため、最適なパラメータ値の見極めが必要であった。  
特に、**板厚有りモデルは⑤板厚付与工程があり、より複雑なメッシュ交差が発生**するため、パラメータの見極めとモデリング修正作業を手間取ったため、板厚有りモデル作成には、別途、**メッシュサイズパラメータの設定検証と作業フローの見極めが必要**である。
3. EMC解析結果について
  - ① **NIO-ES8 EMC解析モデル**  
Frモータドライブシャフトから擬似FMアンテナのSパラメータ解析、およびノイズ伝搬の様子を可視化した。
  - ② **板厚有無プレ解析モデル**(一部パーツによる高精度な板厚有無の解析)  
非常に高い相関係数(0.9997)が得られ、車体モデルは板厚なしモデルによる解析でも問題ないことを示した。
  - ③ **NIO-ES8板厚有無EMC解析モデル**  
アンテナ：0.991、ドライブシャフト：0.897、アンテナ～ドライブシャフト：0.754という強い相関値を得ることができたもの、有意差がない板厚有無モデル作成のノウハウが無かったため、②と同様の高い相関性を得ることは出来なかった。



### (3) 本調査の目的を達成するための我が国体制の在り方の検討

#### (3) 本調査の目的を達成するための我が国体制の在り方の検討

(3)－① X線C Tによるリバースエンジニアリング対策の検討

(3)－② 我が国におけるX線C Tを用いたC P E体制構築  
可能性の検討



### (3) 本調査の目的を達成するための我が国体制の在り方の検討

本事業はX線CT技術により製品の内部を含めた構造情報が計測できるようになる見通しの調査とさらにはこの技術の将来的利用の可能性とそれを活性化するための国内産業に対する在り方を検討してきた。

「X線CT技術検討委員会」において、X線CT技術による実物からX線CT技術によって生成されるデジタルデータは別手法で計測した材料特性データと組み合わせることでCAEによる性能推定が可能であることから、この利用方法を中心に検討を行った。この課題としてX線CTによる計測データは計測ノイズやセグメンテーション技術が挙げられる。現状としてCAE利用に向けた達成度は十分ではないが、AIを利用した画像処理技術によって進歩するものと思われる。

またデータ利活用の利便性向上には計測から画像処理までのプロセスにおけるデータ素性変遷を明らかにして、利用用途別、データ素性別に画像処理対応を変える必要がある。「データプラットフォーム検討委員会」では多様性に富んだユーザーニーズに対応するためにデータとしての必要構造について検討しており、多様な利用用途と拡張性を持ったデータ構造を検討してきた。

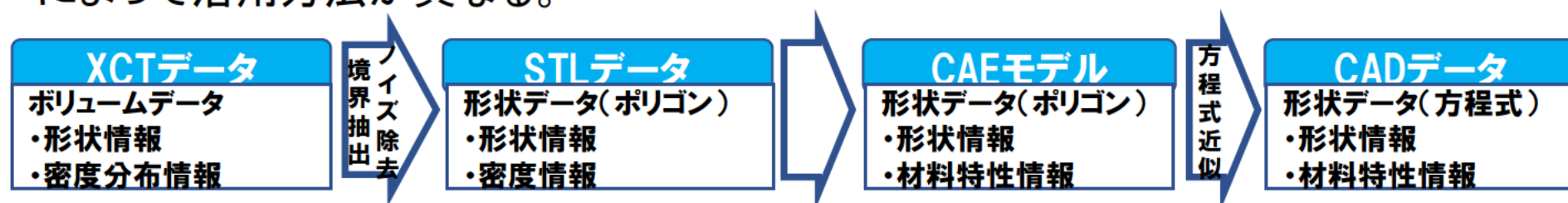
上記から、リバースエンジニアリング技術の利用価値は大きく、この進化を止めることは不可能である。むしろ積極的に利用する方向で、我が国体制を備える必要がある。

### (3) 本調査の目的を達成するための我が国体制の在り方の検討

#### (3) - ① X線CTによるリバースエンジニアリング対策の検討

改めて超大型XCTによって取得した情報がどのようなプロセスを経て加工されるかを示し、それぞれのプロセスでの利用価値と情報流出懸念を説明する。

計測データは下記のプロセスを経て、X線CTデータ(ボリューム)から、STLデータ、CAEモデル、CADデータと加工される。それぞれのデータフォーマットの特徴によって活用方法が異なる。

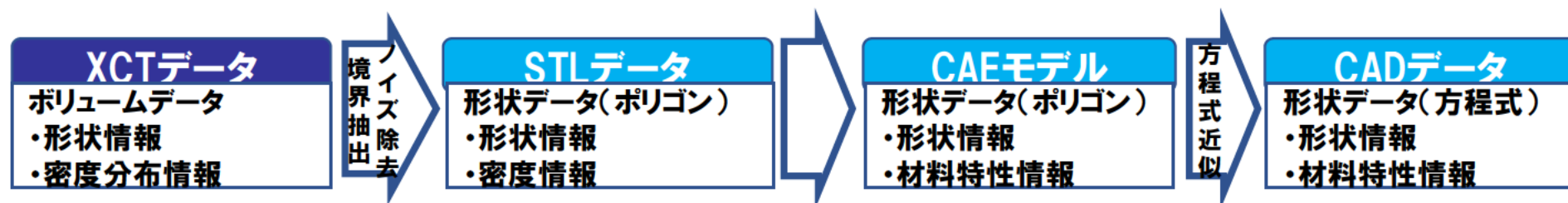


#### • X線CTデータの利用用途

- ボリュームデータの活用
- STLデータの活用
- CAEモデルの活用

### (3) 本調査の目的を達成するための我が国体制の在り方の検討

#### (3) - ① X線CTによるリバースエンジニアリング対策の検討



#### － ボリュームデータの活用

- ・ ベンチマーク車両データ
- ・ 衝突テスト終了車両の内部変形確認

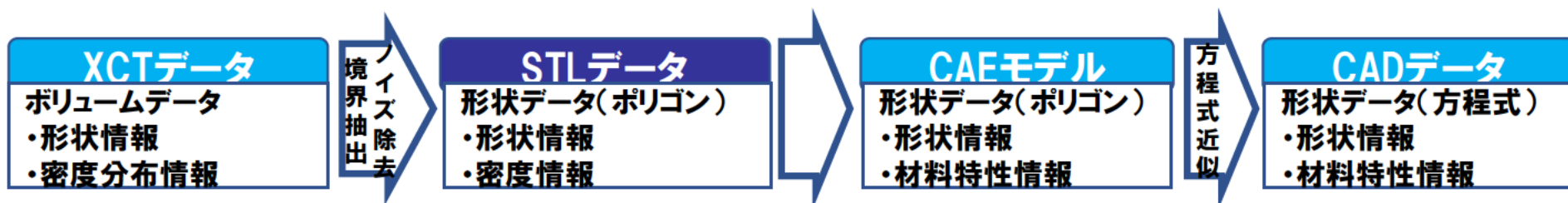
#### ◇ボリュームデータの活用

ボリュームデータは人の目で見て理解することができる。そのため人間が構造理解する用途に活用可能である。ボリュームデータは密度情報の分布であり、STL、CAD、CAEのような連続体ではない。しかし人間が理解する用途には十分であり、このデータは将来的にAI(生成AI、ディープラーニング)による学習データとしての利用可能性があり、この秘匿は難しいが、情報流出レベルは低い。

また衝突テスト終了後の車両をX線CTデータ化するニーズもあるが、このデータ利用も同様の原理である。しかしながら衝突試験が必須であり、XCT撮像データは自動車会社内部で流出防止管理は可能である。

### (3) 本調査の目的を達成するための我が国体制の在り方の検討

#### (3) - ① X線CTによるリバースエンジニアリング対策の検討



#### – STLデータの活用

- ・ AI学習データ

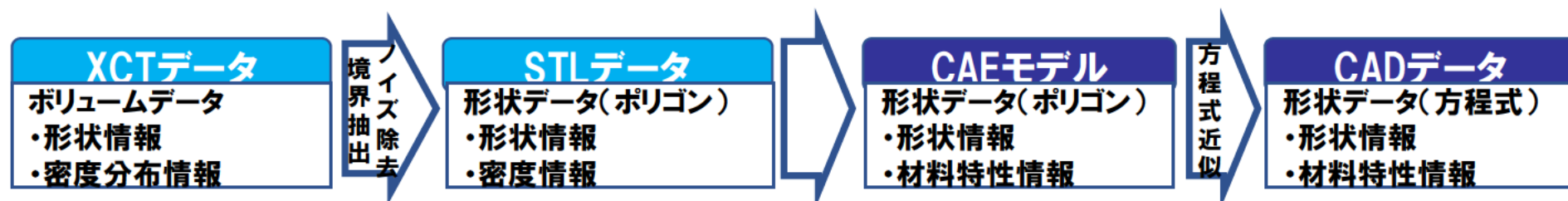
#### ◇STLデータの活用

STLデータはAIで形状特徴を学習可能である。生成AIやディープラーニングで形状特徴を理解させ、形状特徴を見つけ出し、そこから新技術について概要理解に活用できる。技術詳細まで紐解くことにはCAEによる詳細解析が必要であるが、概要レベルでの技術情報流出を防ぐことは難しいが、ボリュームデータ同様に情報流出レベルとしては低いと考える。



### (3) 本調査の目的を達成するための我が国体制の在り方の検討

#### (3) - ① X線CTによるリバースエンジニアリング対策の検討



#### – CAEモデルの活用

- ・ベンチマーク車両性能評価
- ・自社車両の図面比較検証

#### ◇CAEモデルの活用

本事業において衝突、EMCによる性能評価をCAEにより実施した。このモデルを構築するには測定時のノイズ除去、セグメンテーション処理の課題があり、現時点での画像処理技術では達成できていないことが分かった。またCAEを実行するにはXCTで取得した形状データの他に材料特性が必要であるが、これには材料検査が必須であり、分解によって試験片を切り出す必要がある。この時点で人海戦術による分析が必須となるため、超大型X線CTのみでの利活用は困難である。

。

しかしながらこの手法でデータ取得を行った場合は自動車会社が実施するCAE項目は網羅されるため、情報流出レベルは高い。

# (3) 本調査の目的を達成するための我が国体制の在り方の検討

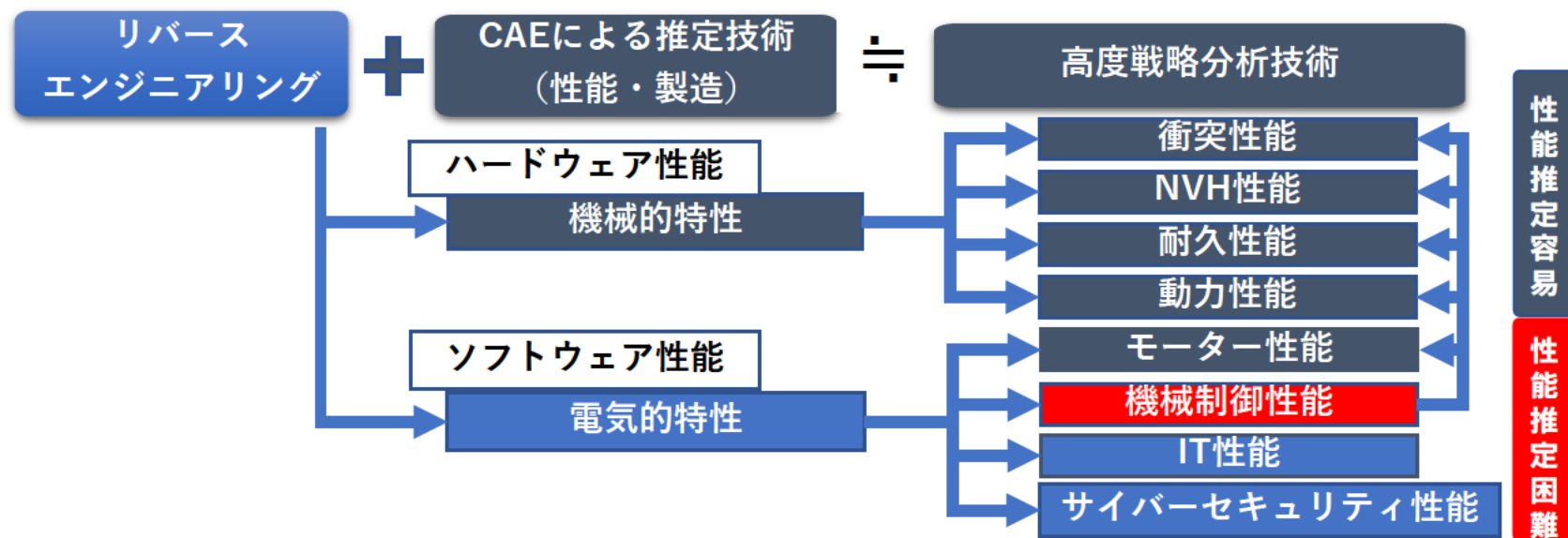
## (3) - ① X線CTによるリバースエンジニアリング対策の検討

### ◇製品情報秘匿の可能性

製品情報をXCT計測で取得する場合、秘匿することはもはや難しく、残された可能性として制御プログラムもしくは製造工程しかないと考える。

#### ①制御プログラム

製品性能は現代において機械製品と言えども、制御プログラムによる機能向上の割合が多くを占める状況となっている。このため、機械構造そのものを単純化して、制御プログラムで性能向上することが可能である。この制御プログラムは電子基板もしくはECUにプログラムとして記述されており、X線CT技術でこれを解読することは不可能である。



### (3) 本調査の目的を達成するための我が国体制の在り方の検討

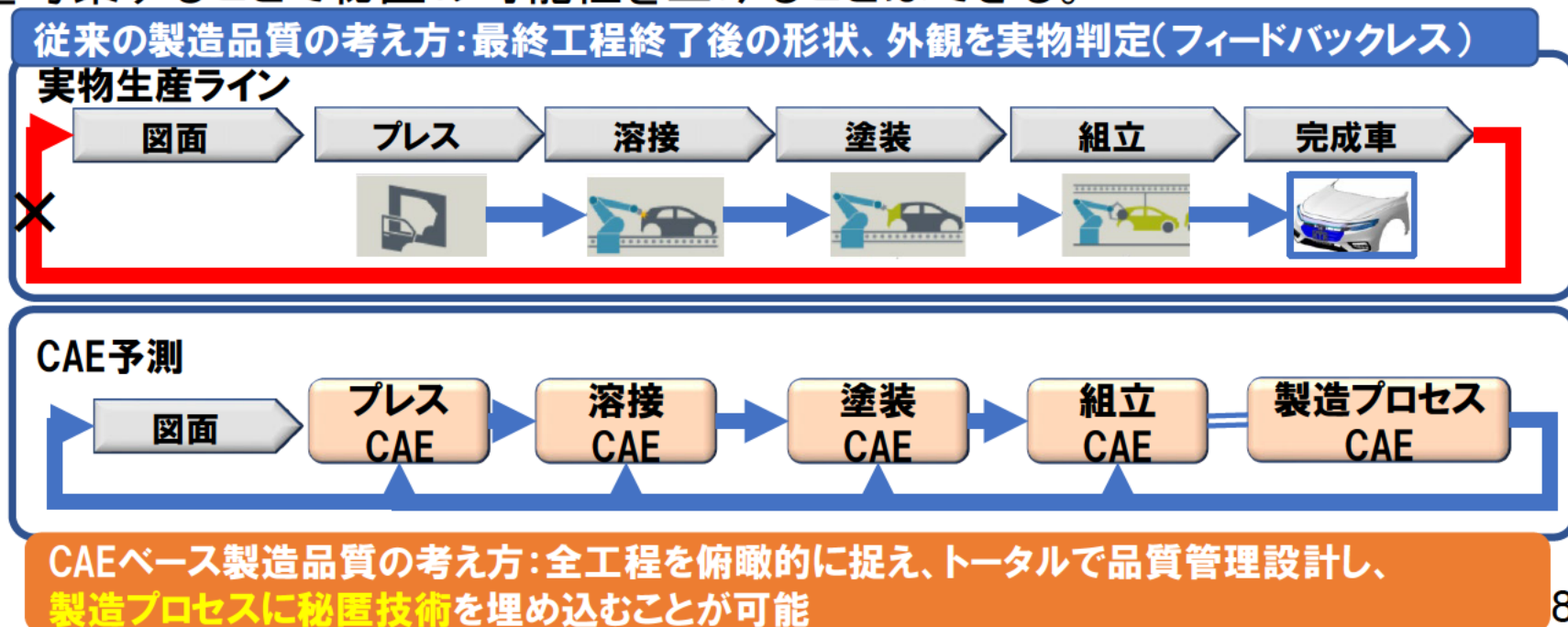
#### (3) - ① X線CTによるリバースエンジニアリング対策の検討

##### ◇製品情報秘匿の可能性

##### ②製造工程

X線CTで計測されるのは最終製品形状であることから、製造プロセスを特定することは難しい。現時点では製造工程を構築するにあたり、その製造方法を秘匿する必要はなく、検討されてこなかった。

製造手法そのものが既知の手法の組み合わせであっても、下図のようにCAEモデルを構築し、秘匿方法を工夫することは可能である。さらに特殊な製造方法を考案することで秘匿の可能性を上げることができる。



### (3) 本調査の目的を達成するための我が国体制の在り方の検討

#### (3) ー② 我が国におけるX線CTを用いたCPE体制構築可能性の検討

実物からXCT技術によるXAE展開を実施するには大きく分けると形状・材料計測技術、画像処理技術、CAE技術が必要であり、さらに効果を上げるには全体プロセスを連携し、フィードバック可能な体制を整えることが重要である。

##### ①CAE実施可能な形状・材料計測

CAEを実施する前提で必要となる情報を計測により取得する必要がある。またCAEの制約条件を前提とした計測を行うよう配慮が必要である。推進体制はCAEと連携可能な計測センターとする。

・必要装置：超大型XCT装置、中小型XCT装置、材料計測装置など

##### ②画像処理およびCAEデータ生成技術

計測データをCAE実行可能とするための技術開発とソフトウェア開発を推進するためには体制として画像処理技術研究が必要である。

・必要装置：XCTソフトウェア、画像処理ソフトウェア、大型計算機

##### ③多様性を包含するCAE技術

今回は機械特性、電気特性についてCAEを実行した。それぞれのCAEにはエキスパートが必要であり、機械系、電気系を網羅したCAE体制が必要である。可能であれば製造領域についてもCAE展開が有効である。

・必要設備：各種CAEソフトウェア、大型計算機

##### ④計測・CAE連携強化システム

①～③のプロセスを効率よく推進し、内部留保させるためにはオントロジー技術を組み込んだ仕組みが重要となる。また構築された情報は非常に高い価値を有するため、本データ構造に即したサイバーセキュリティを備えることも必要である。

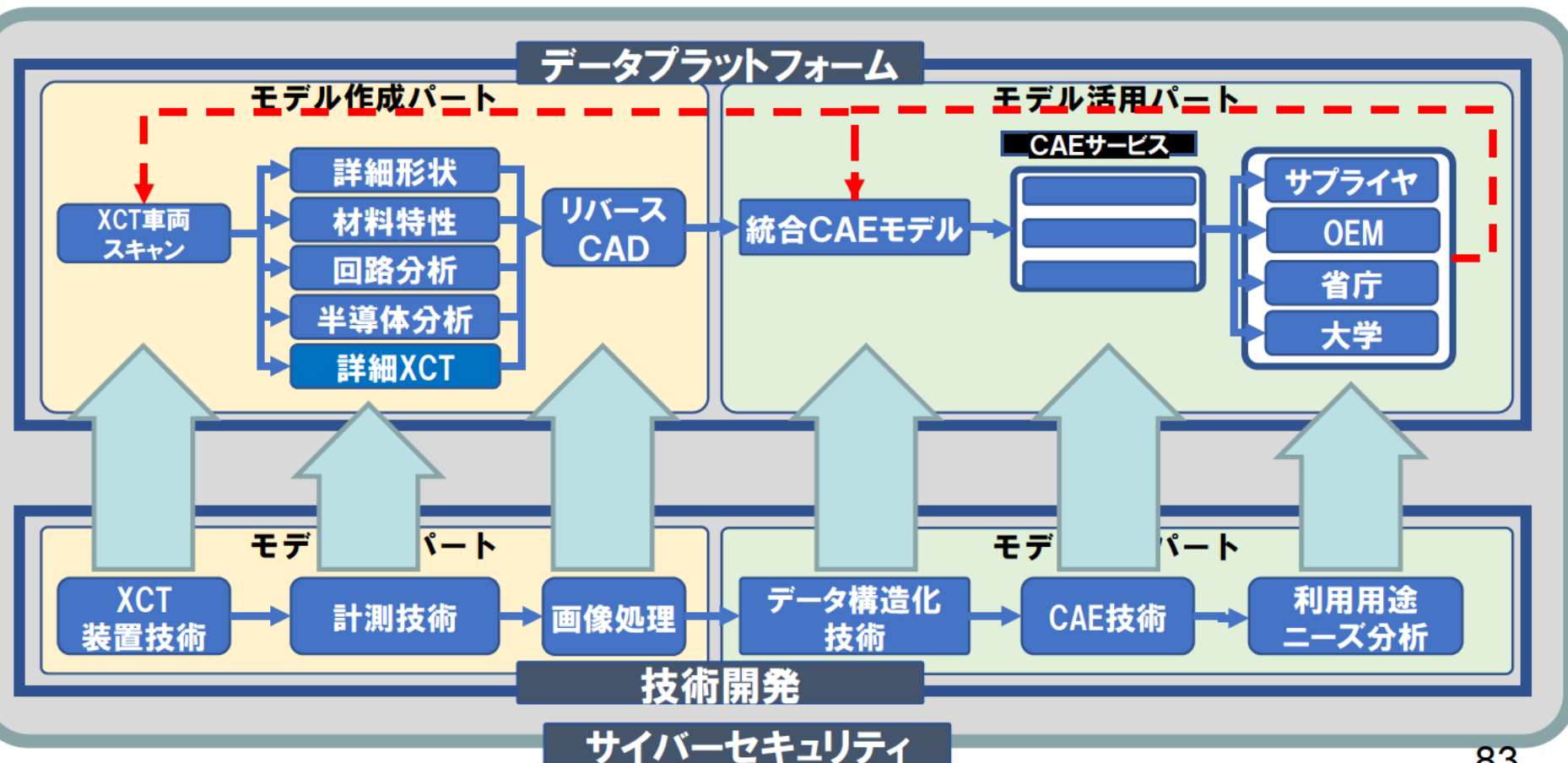
・必要設備：データマネジメントシステム、セキュリティシステム



### (3) 本調査の目的を達成するための我が国体制の在り方の検討

#### (3) - ② 我が国における X線 CT を用いた C P E 体制構築可能性の検討

計測データの利便性向上と技術流出防止の2つを両立させるには、各プロセスを成立させる技術開発(前述の計測技術、画像処理技術、CAE技術)をリンクさせたデータプラットフォームが重要である。この仕組みは各部の情報が連携してプロセスを成しており、情報価値が極めて高いものとなる。そのためサイバーセキュリティとしての防衛機能を有した体制が必要である。



# まとめ

## 最終成果まとめ

令和3年度後半から5年度までの期間で、下記の事項を推進し、各項目で成果が得られた。

- 光学スキャンによる車両モデル作成
- 光学スキャンモデルによるCAE実行（衝突、EMC）
- 超大型XCTによる非分解車両撮像
- XCTモデルによるCAEモデル作成トライアル
- デジタルモデル（CAE）による拡張した性能推定

# 最終成果まとめ

## スケジュール

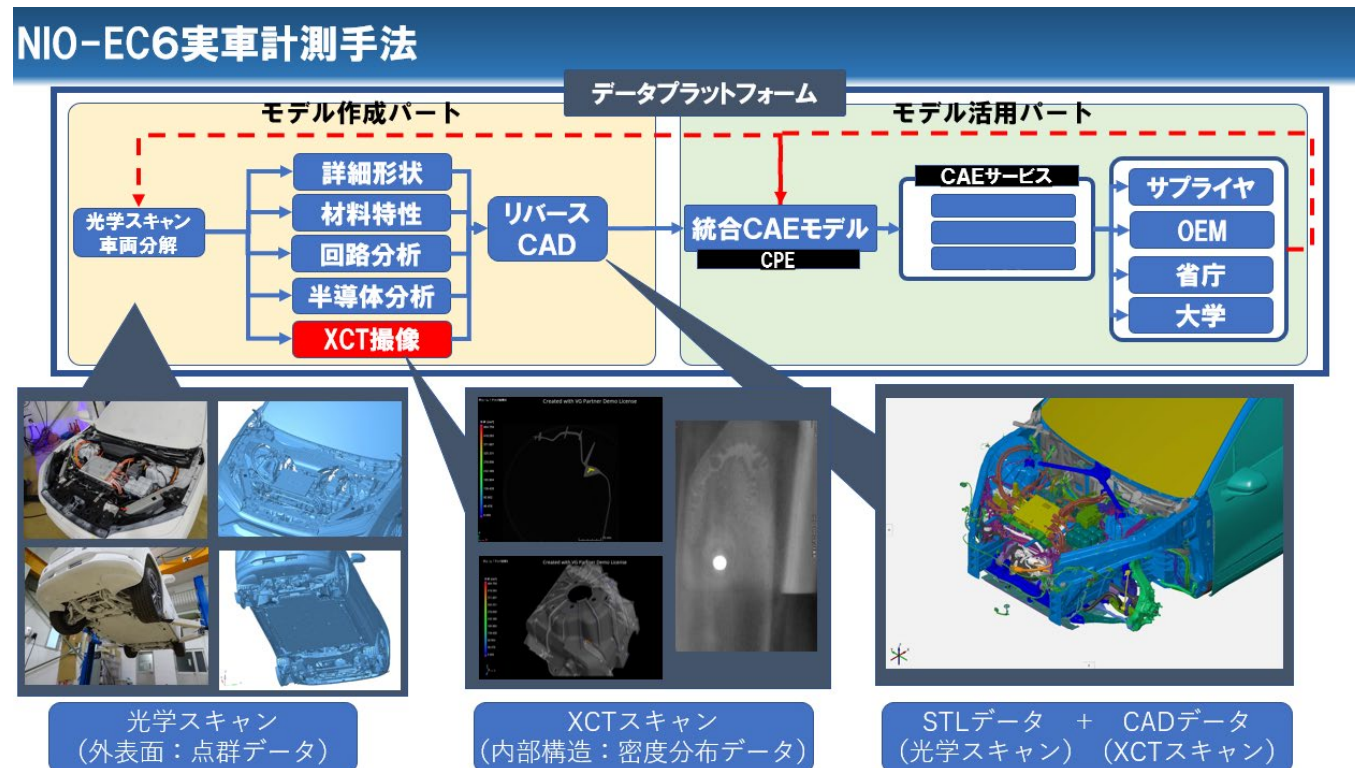
| 分類               | 担当                 | 日程                         |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    | 令和 3 年度 |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    | 令和 4 年度 |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  | 令和 5 年度 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------|--------------------|----------------------------|-------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|-----|-----|-----|----|----|----|--|--|--|--|--|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                  |                    |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |                    | 9月                         | 10月         | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月      | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月      | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 技術研究組合本部         |                    | ★発足                        |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 中国EVリバースエンジニアリング |                    |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| NIO EC6          | 車両バラシ              | フィアロ                       |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | アーク                | フィアロ                       |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | CADデータ化            | フィアロ                       |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | CAEモデル化            | 衝突解析<br>ITC、ASTOM<br>EMC解析 |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |                    |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 材料計測               | フィアロ                       |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 車両機械特性             | フィアロ<br>(外注)               |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | XCT計測              | バッテリー<br>W/B               | ニコンSL<br>外注 |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 電池分析             | フィアロ<br>(外注)       |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| NIO ES8          | エネマネ計測             | AZAPA                      |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 半導体分析              | (テカナリエ)                    |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 熱マネ                | AZAPA                      |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 画像処理               | NSL                        |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | STLデータ化            | フィアロ                       |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| CAEモデル化          | ITC、ASTOM<br>イノテック |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| フラウンフォーファー       |                    |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| EZRT             | NDA契約・計画整合         |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | NEO-ES 8 撮像        |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 委員会              |                    |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| X 線CT撮像・画像処理研究   |                    |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 分科会1（超大型XCT）       |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 分科会 2（画像処理）        |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 分科会 3（利活用研究）       |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| データプラットフォーム      |                    |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 分科会1（機械系）          |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 分科会 2（運用）          |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  | 分科会 3（電気系）         |                            |             |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |         |     |     |     |    |    |    |  |  |  |  |  |         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

# 最終成果まとめ

## • 光学スキャンによる車両モデル作成

NIO-EC6を光学スキャンし、実物から3次元形状データを作成した。さらに材料特性計測を行い、形状と材料特性を備えたCAE展開可能なモデルを構築した。

一部、袋構造となっているところは小型XCT装置を使って補完した。計算用途は衝突解析とEMC解析の2つを想定し、それぞれのモデル化要求に対応した。



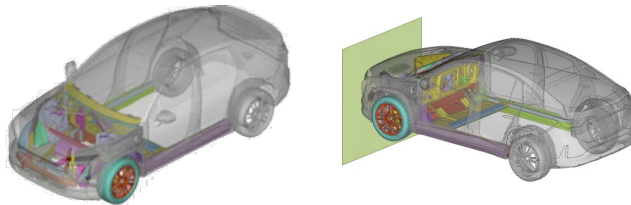


# 最終成果まとめ

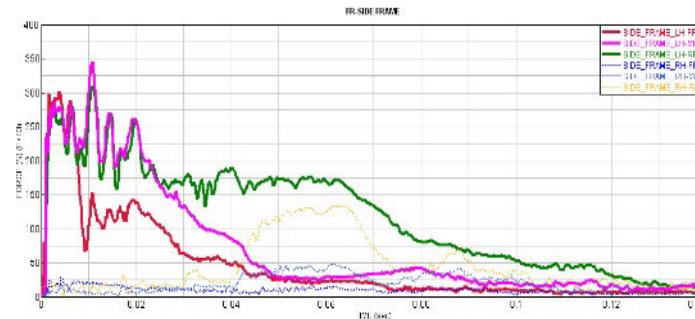
## • 光学スキャンモデルによるCAE実行(衝突、EMC)

CAEは衝突解析、EMC解析の2つを実行した。

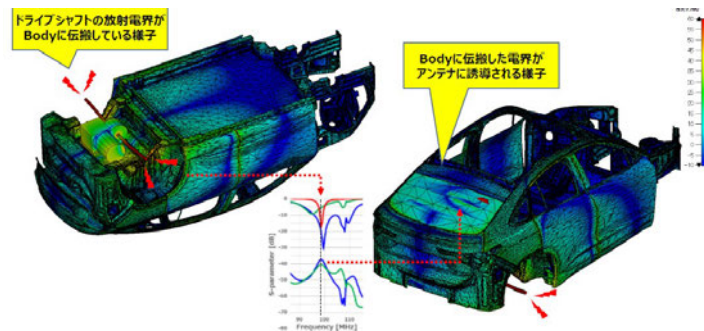
衝突解析は計算条件を前方衝突に設定し、NIO-EC6の衝突性能を評価し、衝突に対する機械的特性(パッシブセーフティ)を数値化できた。この結果から当該モデルは日本メーカーが取り組んでいるクラッシュブルゾンの考え方に則っておらず、低い衝突性能となったが、これは日本とは違うアプローチであり、NIO社はアクティブセーフティを中心にした設計思想であることが確認できた。



メッシュデータ(車両)



EMC解析は計算条件をドライブシャフトノイズとFMアンテナの干渉に設定し、FMアンテナへのノイズ影響を数値化した。これは機械性能と電気性能の関連性についてNIO社の考え方と検討レベルを推定することができた。



# 最終成果まとめ

- 超大型XCTによる非分解車両撮像

ドイツブラウンホーファーEZRTが所有する超大型XCT装置にてNIO-ES8の車両撮像を行った。撮像は装置レイアウトが縦型であるため、当該車両を立てて、計測を行った。また車両サイズが大きいため、撮像は2回に分けて前半分と後半分のデータをマージした。この際、重力による変形が発生するため、変形影響を評価したが、平置きに対して約1mm程度の変形があったが、許容レベルと判断した。

ただし今回の車両は肉厚のアルミボディのため、全方向的に高剛性であったことが、幸いしたが、将来的には薄肉構造の場合は変形が大きくなることが想定される。将来的にはガントリー式のXCT装置を整備することでこの課題を解決することが可能である。



# 最終成果まとめ

## • XCTモデルによるCAEモデル作成トライアル

ドイツブラウンホーファーEZRTにて撮像したデータによるSTLデータ化を行い、実物計測からCAEを実行するプロセスを構築することにトライした。

まず計測したNIO-ES8のデータは288GBの大容量であり、PCスペック不足が課題となった。ファイルを開くにも時間がかかるため、データ解像度を落とすなどの対応を行ったが、ノイズや境界面への悪影響があったため、データを分割することで対応した。また部品境界面の抽出については市販されているソフトウェア(VG-Studio、Simpleware、Retomo、Segmo)による画像処理を実施した。現状としてはノイズ除去については実形状と計測ノイズの判別ができず容易にノイズを除去できないことや、セグメンテーションは同一素材部品の場合、接合品質が高い部品では境界面が計測結果に表れず、部品分解できないなどの問題がある。このためCAE実行に足るノイズ除去、セグメンテーション技術レベルには不足があった。

この課題解決に理化学研究所に相談をしたが、X線CTデータの精度向上には計測時の条件と画像処理とを連携させて考える必要があるとのことだった。今後、解像度を向上させるには画像処理を前提とした撮像手法の確立が必要であるとの知見が得られた。

# 最終成果まとめ

- デジタルモデル(CAE)による拡張した性能推定

実物から計測によりモデルを作成した。このデジタルモデル(CAEモデル)により、様々な性能評価が可能となるが、モデル内でパラメータを変更することにより、性能向上を推定することが可能である。今回は衝突性能、EMC性能について例として材料特性を変化させた時の、性能変化を評価した。これによって現在の性能に対して材料変更を行うことによって得られる将来の性能アップが推定可能となる。実物では材料置換による性能向上を評価することは単純構造では可能であるが、複雑形状では困難である。今回はCAEを用いることで現在と将来に渡る進化分を推定することが可能となることを示したが、デジタル開発が本格化する中ではCAEによる推定が将来予測としても重要な技術となる。



# X線CT活用活性化に向けた課題

- X線CTデータ利用の技術課題
  - 巨大データサイズ
  - ノイズ除去、境界抽出技術
- 超大型XCTとマイクロXCT
  - 超大型XCTによるマクロ情報
  - マイクロXCTによるマイクロ情報

# X線CT活用活性化に向けた課題

- X線CTデータ利用の技術課題

- 巨大データサイズ
- ノイズ除去、境界抽出技術

## ◇データサイズ

X線CTデータは非常に膨大なデータサイズとなる。本事業においてフラウンホーファーEZRTにて自動車一台分の計測を実施したが、撮像データ(3次元再構成後)は288GBとなった。このデータをビューアソフトウェアで形状を確認する場合、目的となる解像度にもよるが、データサイズの3倍以上のメモリが必要というのが一般的である。今回のPCスペックはメモリで1.5TBで比較的スムーズに動作が可能となる結果であった。

## ◇ノイズ除去、境界抽出技術

本事業では車両を非分解で計測を実施することを目的としていた。材質的には複数の材料で構成されている。このため材料毎の閾値が異なるが、X線CTデータの3次元再構成手法の性格上、材料分解能を上げることが難しい。また同一材料で構成されている近隣部品の場合は、X線が反射、散乱するため、境界面を抽出することが難しい。

# X線CT活用活性化に向けた課題

- 超大型XCTとマイクロXCT
  - 超大型XCTによるマクロ情報
  - マイクロXCTによるマイクロ情報

## ◇超大型XCTとマイクロXCT

XCT装置は大きく分けるとX線源と検出器の仕様によって撮像データの解像度が変わる。超大型XCTの場合、撮像対象のサイズが大きいものを対象としている。このためX線の貫通力が必要であり、高エネルギーに対応したX線源が必要である。高エネルギーX線源は線源サイズが大きくなるため、解像度が落ちる。EZRTの保有する超大型XCTの場合、解像度は0.5mm(500 $\mu$ m)程度である。一方で電子基板情報を取得する際は解像度として10 $\mu$ m程度を要求される。

車両一台分の計測を行う場合、目的によって解像度は変わる。このため、超大型XCTだけで必要情報が揃うわけではなく、部分的にマイクロXCTでの計測結果をマージさせて計測データからモデル化を行う必要がある。原理的にこの両者をひとつの装置で賄うことは難しいため、複数計測機による計測データを統合的に扱うためにはデータフォーマットの規格化などが重要となる。

# まとめ

本事業では超大型XCT装置による計測技術についての実用性とその課題と取得されたデータの秘匿可能性についての調査を実施し、将来、本調査の目的を達成するための我が国の体制の在り方についての検討を行った。

本技術の活用ポテンシャルは大きいものの、現時点ではCAEへの展開にはいくつかの技術課題があり、活用範囲は限定的である。しかしながらデジタルツインによる価値拡大は大きいと見積もられるため、技術開発に投資される見通しは高いと考える。

またこの技術によって製品の形状情報、材料情報は秘匿が難しい。従って製造業の考え方を情報漏洩を前提とした開発・生産手法にシフトする必要がある。また他社研究においても積極的に他社(他国)情報を研究し、そのうえで自社(自国)技術の優位性を維持する戦略を展開する必要がある。

本事業によってXCT技術が製造業に与えるインパクトは増大すると考える。資本力のない中小企業がこれに対抗するための装置整備を行うことは困難である。さらに自動車業界においては欧州のデジタル認証(2032年と予測)への動きから、デジタルツインの保証技術が重要であり、これに備えるため、超大型X線CTを中心とする計測装置群とデータプラットフォームの2つが必要である。国としてこの技術を中小企業を含め、利用できる仕組みを整備を急ぎ進める必要があると考える。

