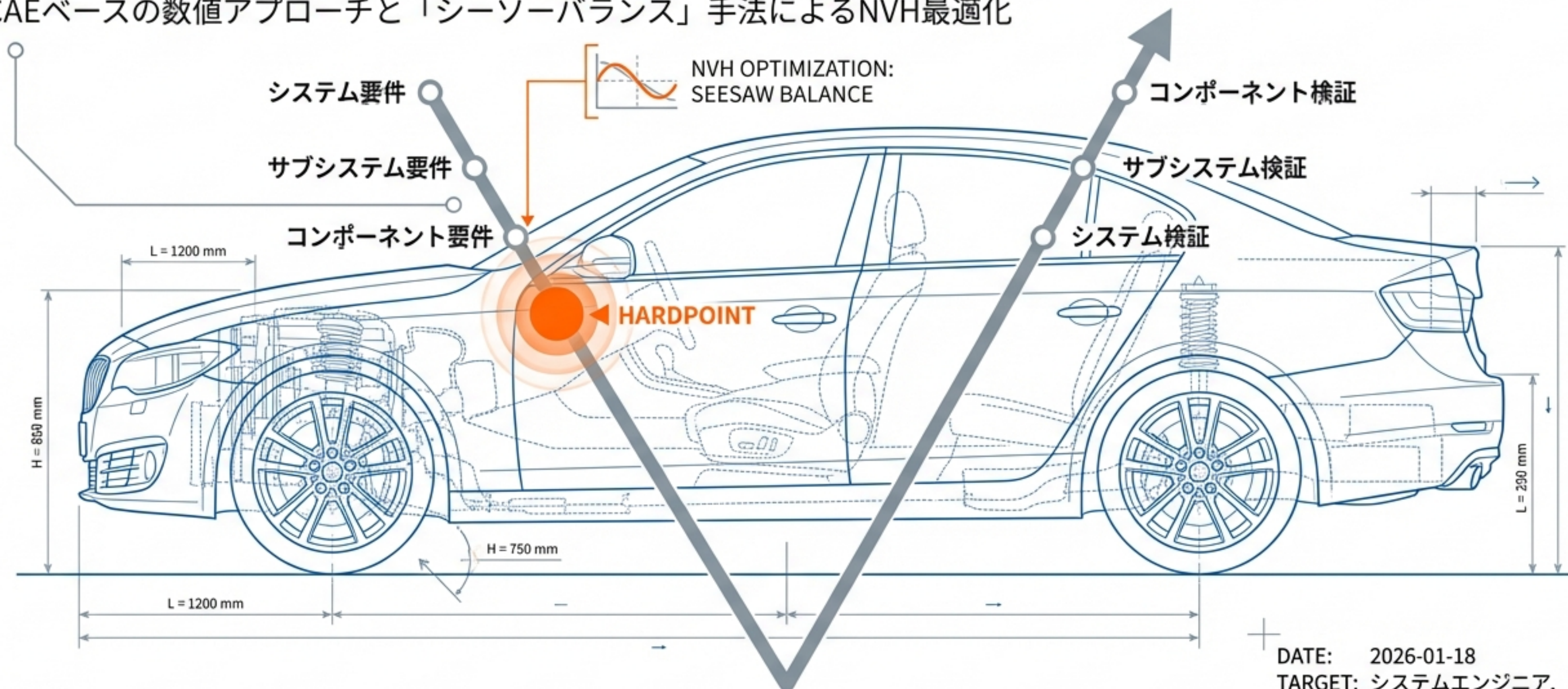


# 自動車開発におけるV&Vプロセス革新： HARDPOINTを用いた要件カスケードニング

CAEベースの数値アプローチと「シーソーバランス」手法によるNVH最適化



DATE: 2026-01-18  
TARGET: システムエンジニア,  
NVHエンジニア, CAE解析者

# エグゼクティブサマリー：数値主導のV&Vアプローチ



## 課題

自動車開発における最大の課題は、車両レベルの上位要件（例：静粛性）をサブシステム要件（例：エンジンマウント剛性）へ科学的に分割することである。



## アプローチ

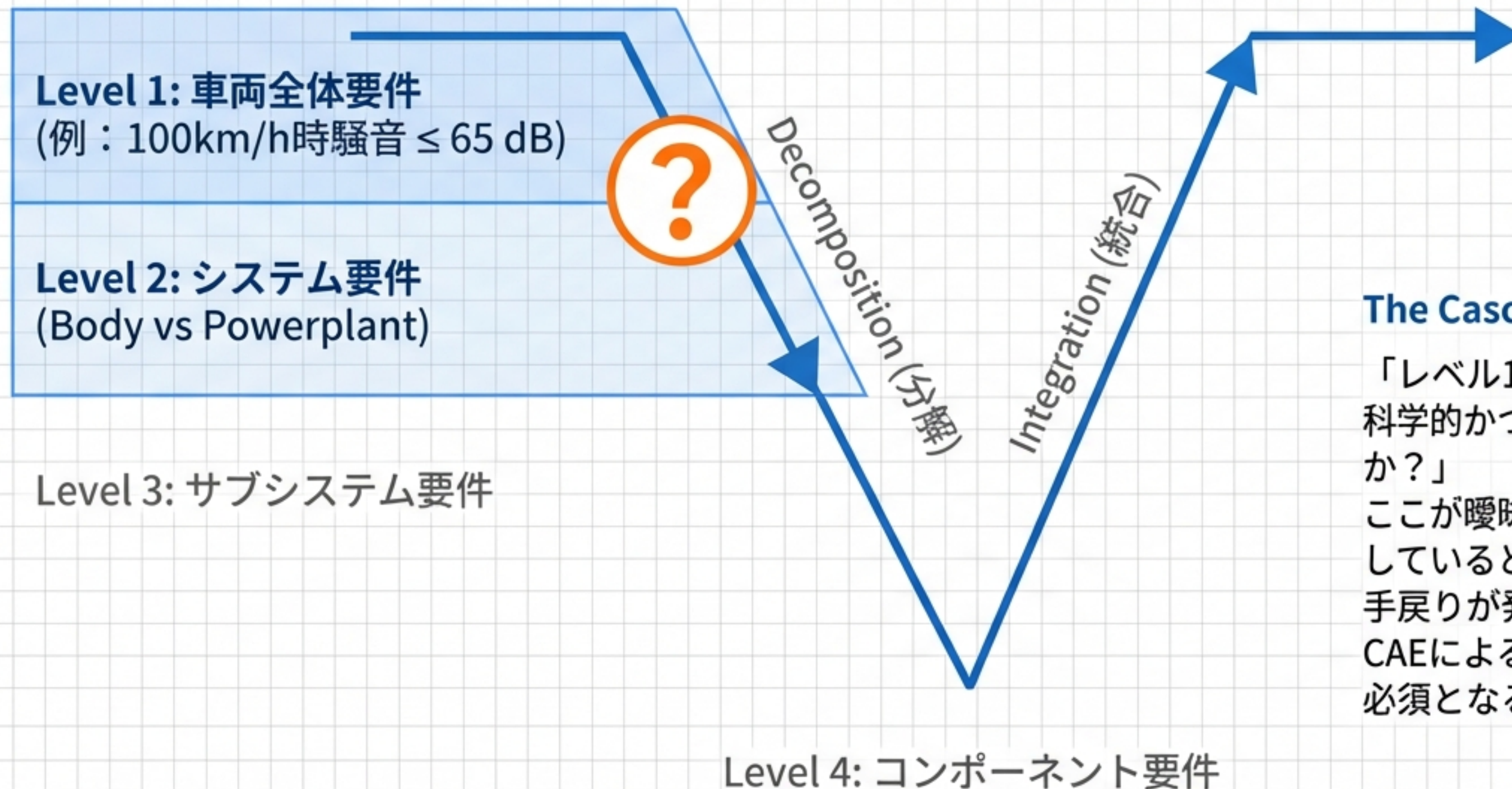
「**HARDPOINT（物理的境界）**」を数学的なインターフェースとして定義し、CAE（RecurDyn）を用いた「**シーソーバランス**」手法で、BodyとPowerplantの要件をトレードオフ最適化する。



## メリット

- 責任分界点の明確化（ICD）。
- 主観的な「すり合わせ」から、データ駆動型の「数値配分」への移行。
- 独立した並行開発と確実なV&Vの実現。

# V字モデルの左側：検証プロセスの課題

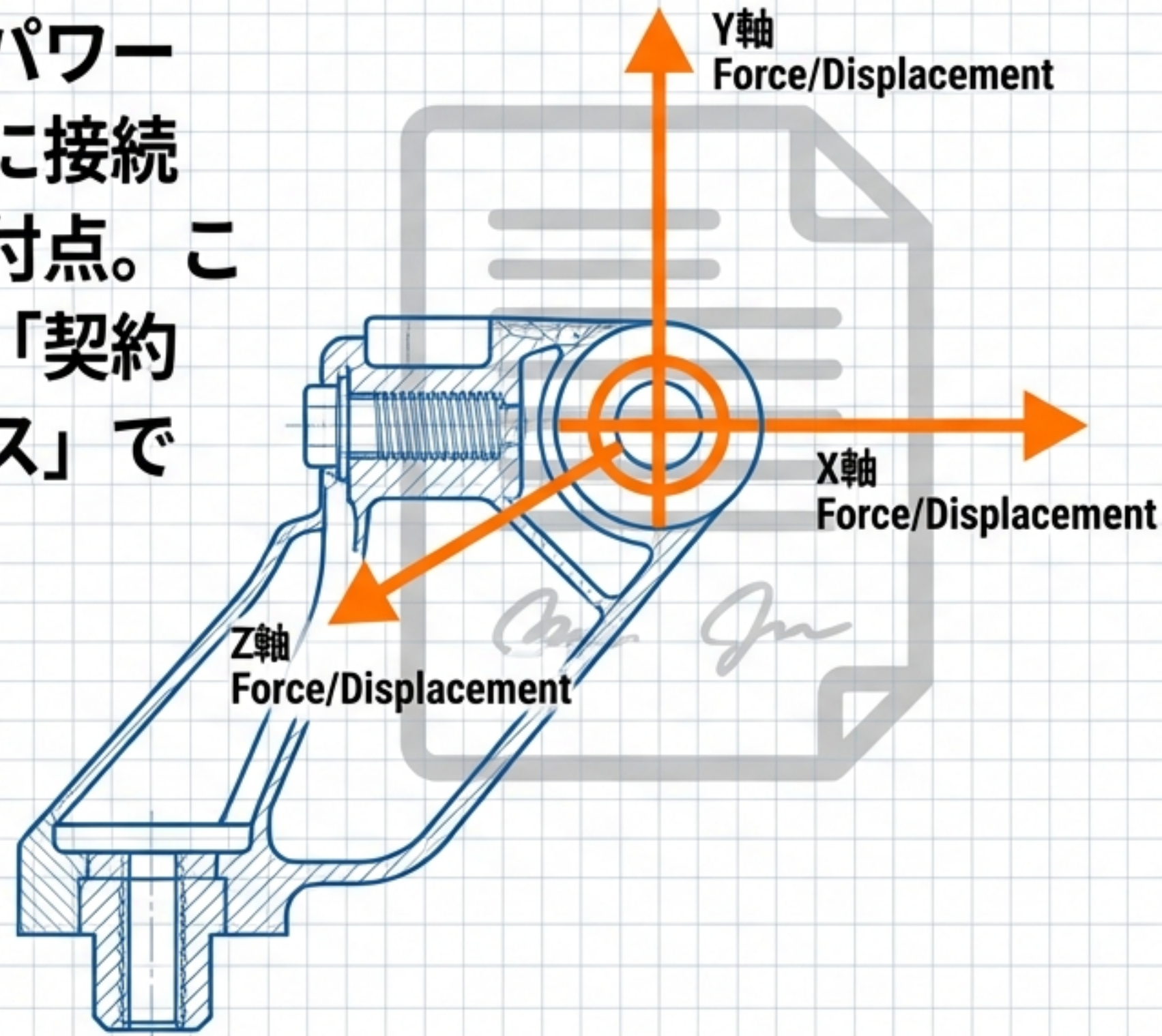


## The Cascading Gap

「レベル1をレベル2へ、科学的かつ数値的にどう分割するか？」  
ここが曖昧な「すり合わせ」に依存していると、検証段階（Vの右側）で手戻りが発生する。  
CAEによるフロントローディングが必須となる。

# 物理的・機能的境界としてのHARDPOINT

**HARDPOINT = パワー  
プラントが車体に接続  
される物理的取付点。こ  
れはチーム間の「契約  
インターフェース」で  
ある。**



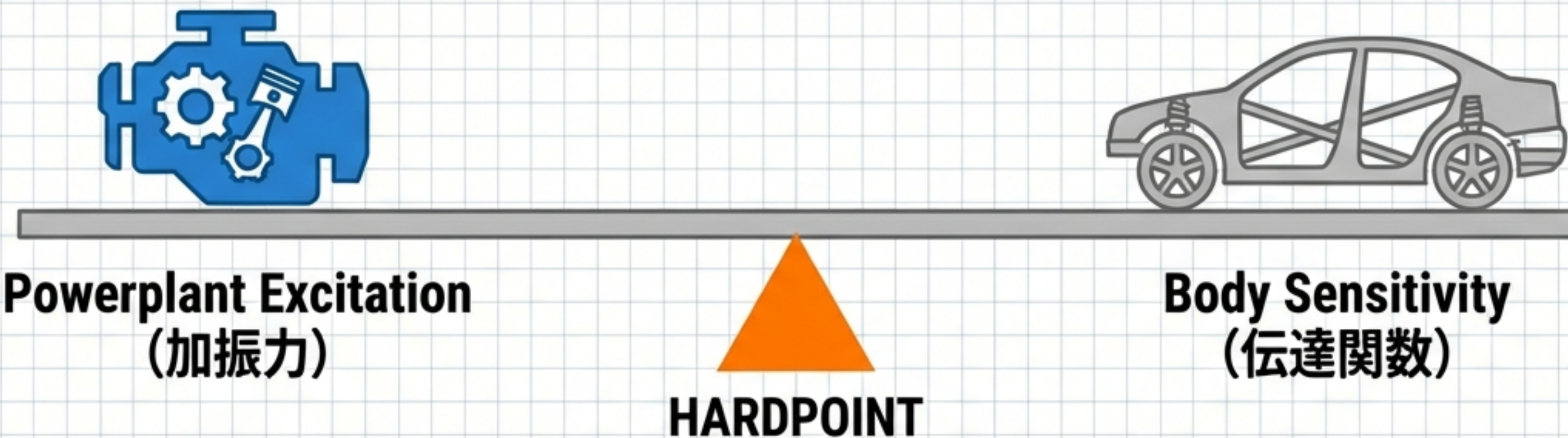
## HARDPOINTの役割

- 責任境界の明確化
- CAEと実機テスト共通の測定ポイント
- 要件配分における「シーソーの支点」

## 要件定義パラメータ

- Static: 位置 (XYZ) , 剛性, 荷重容量
- Dynamic: 伝達率, インピーダンス
- Force: 6自由度 ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ )

# シーソーバランス：相反する要件の最適化



車内騒音 =  $f(\text{パワープラント加振, HARDPOINTインターフェース, ボディ伝達率})$

## 戦略A (Body Optimized)

ボディ要件を厳しく (低伝達率)  
パワープラント加振を許容

## 戦略B (PP Optimized)

パワープラント要件を厳しく (低加振)  
ボディ伝達率を許容

✓ Recommended

## 戦略C (Balanced)

両者に適度な要件を配分

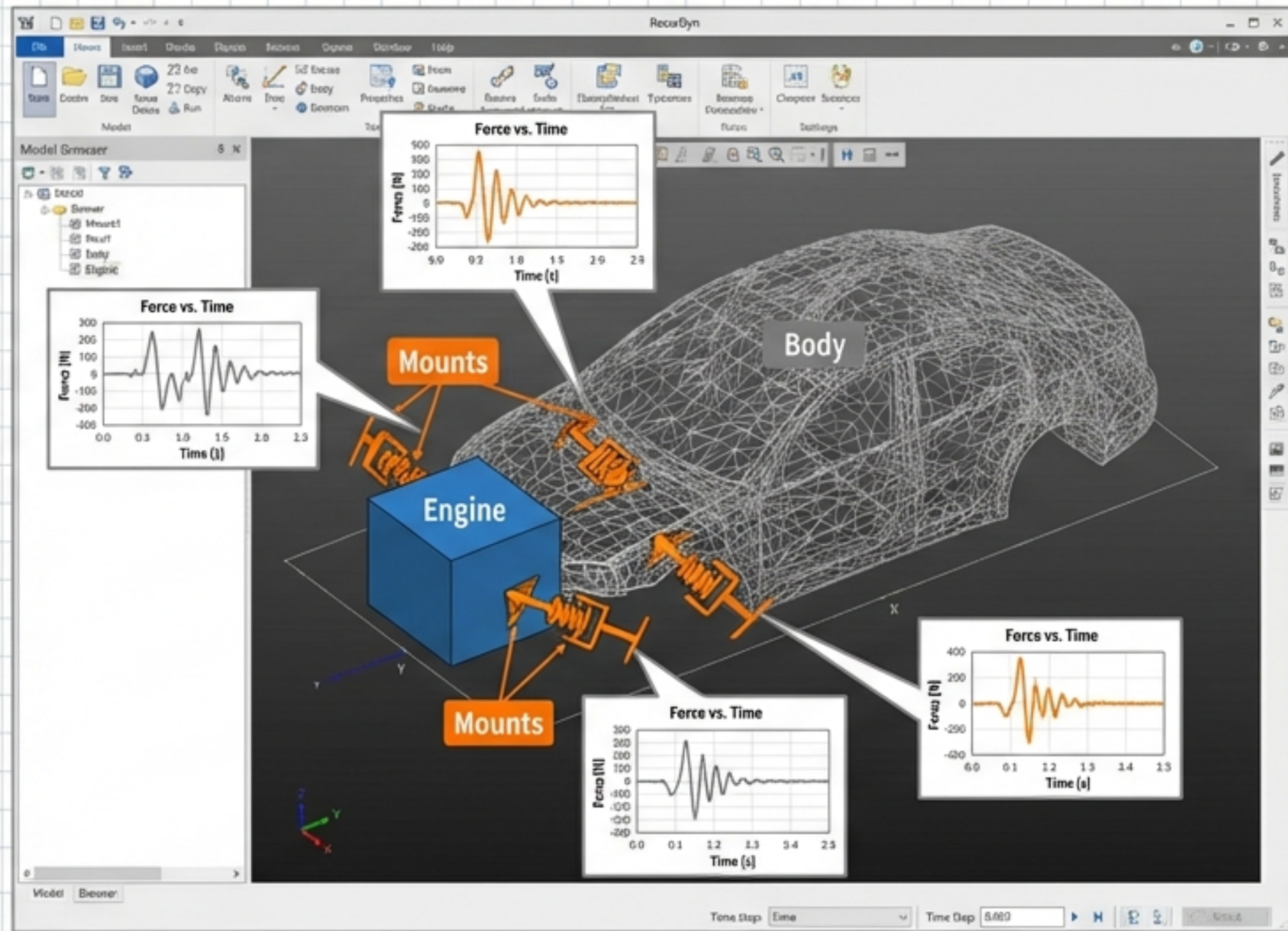
# CAEベースの数値カスケーディングとRecurDynの役割

## なぜMBD (Multi-Body Dynamics) か？

単純なExcel積算ではなく、マウント剛性や接触といった「非線形な相互作用」を捉えるためにRecurDynが必要となる。

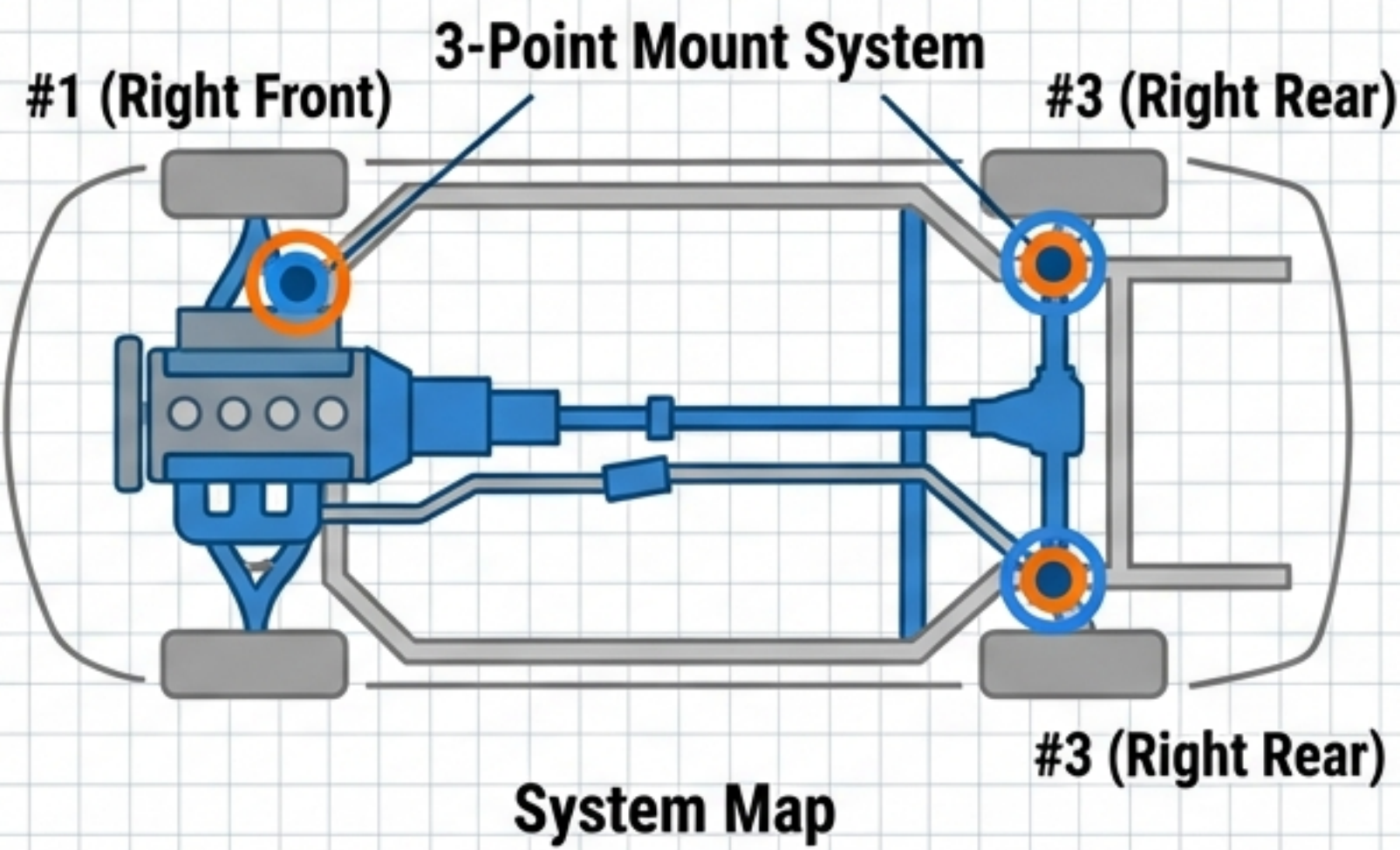
## 解析プロセス

1. 車両全体振動シミュレーション
2. HARDPOINTでの力・変位の抽出
3. 寄与度解析 (音源 vs 伝達経路)
4. 周波数応答関数 (FRF) の導出



# ケーススタディ：アイドル時車内騒音の要件分割

目標：アイドル時車内騒音  $\leq 40 \text{ dB(A)}$



アイドル時車内騒音レベル (dB(A))



| Text Details |                       |
|--------------|-----------------------|
| 要件ID         | VEH-NVH-001           |
| システム         | 3点式エンジンマウント           |
| 現状           | シミュレーション結果 42.5 dB(A) |
| 判定           | 未達 (対策が必要)            |

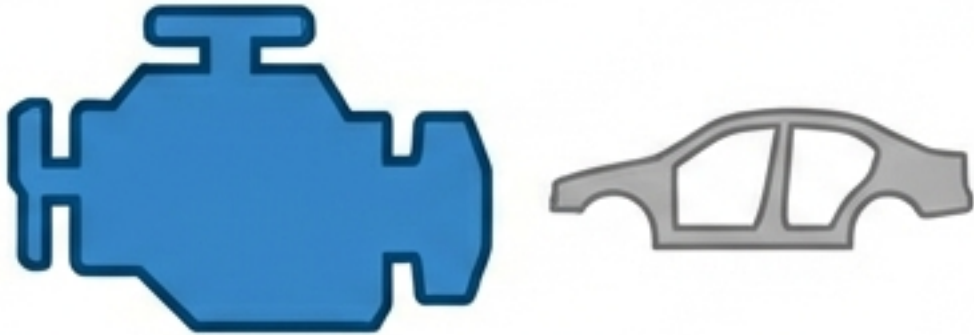
# 現状分析と寄与度解析：2.5dB超過の原因特定



| HARDPOINT Force Analysis (800 RPM / 26.7Hz) |       |                        |
|---------------------------------------------|-------|------------------------|
| Mount #1 (Z-Axis):                          | 45.6N | (Dominant / 2nd Order) |
| Mount #3 (Z-Axis):                          | 38.2N | (Dominant / 2nd Order) |
| Mount #2 (X-Axis):                          | 68.5N | (Torque Reaction)      |

**洞察**  
寄与度解析の結果、マウント#1と#3の上下方向（Z軸）が主要なノイズ伝達経路であると特定された。

# 戦略的配分：オプション検討とバランスアプローチの選択

| 戦略A (Engine Fix)                                                                                  | 戦略B (Body Fix)                                                                                 | 戦略C (Balanced) [SELECTED]                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>パワープラント大幅改良 | <br>ボディ大幅補強 | <br>50/50 配分 |
| コスト高<br>(Too Expensive) ⚠                                                                         | 重量増<br>(Too Heavy) ⚠                                                                           | PP Goal: ➤ -1.25 dB<br>Body Goal: ➤ -1.25 dB                                                     |

双方に適度な改善を要求する「戦略C」を採用。

# サブシステムおよびインターフェース要件の定義

## Spec Card

### Powerplant Requirements (PP-NVH)

|                    |                            |
|--------------------|----------------------------|
| • マウント#1<br>力 (Z軸) | $\leq 38.5 \text{ N}$      |
| • マウント#3<br>力 (Z軸) | $\leq 32.3 \text{ N}$      |
| • HARDPOINT振動      | $\leq 36.95 \text{ dB(A)}$ |

## Interface

### Interface Requirements (Shared)

|                  |                           |
|------------------|---------------------------|
| • マウント#1<br>静的剛性 | $350 \pm 50 \text{ N/mm}$ |
| • 位置公差           | $\pm 3 \text{ mm}$        |

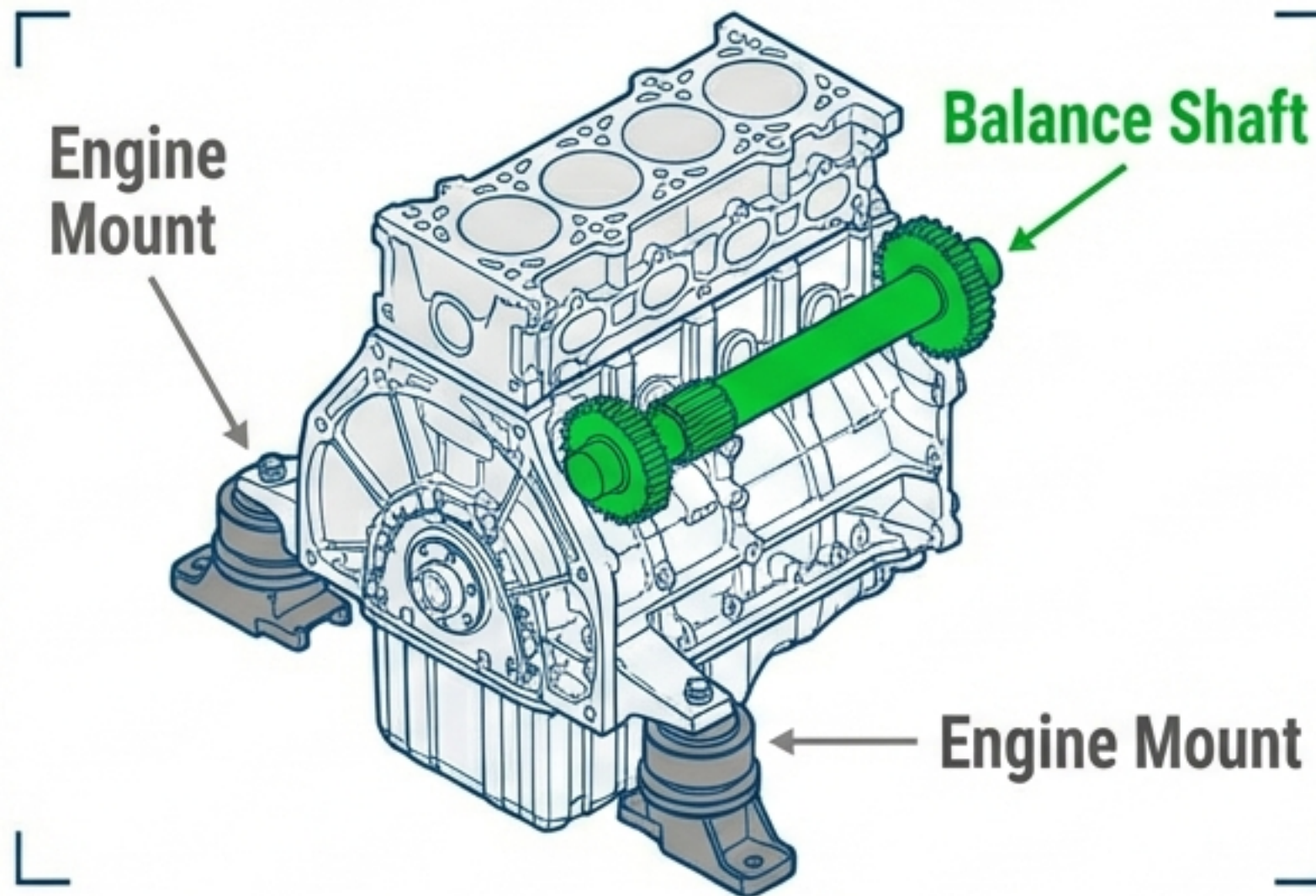
## Spec Card

### Body Requirements (BD-NVH)

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| • 伝達関数<br>(#1→車内) | $\leq 1.45$             |
| • フロアパネル<br>1次曲げ  | $> 35 \text{ Hz}$       |
| • 全体増幅係数          | $\leq +3.05 \text{ dB}$ |

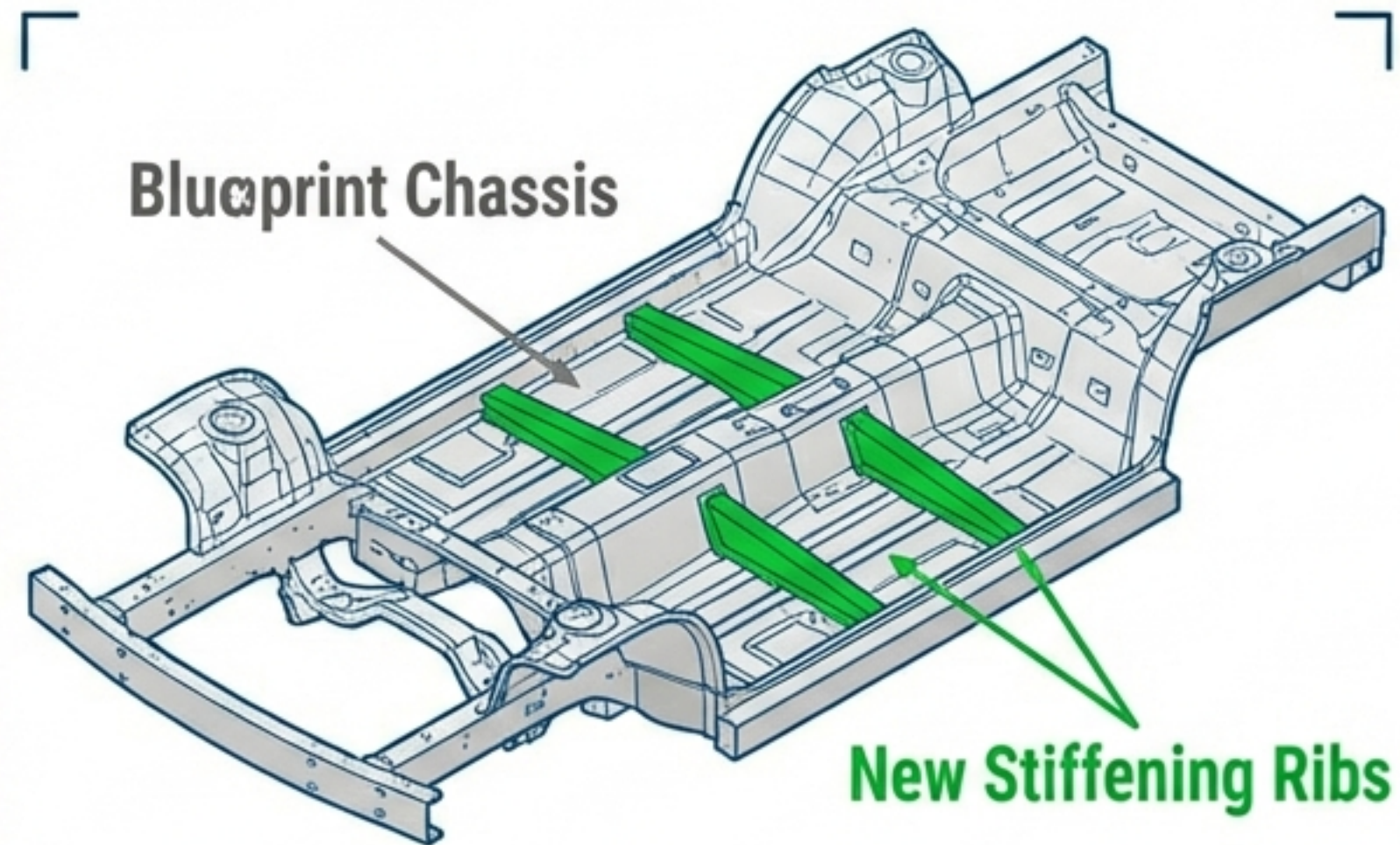
# 配分要件に基づく具体的な設計改善アクション

## Powerplant Team (-1.25 dB)



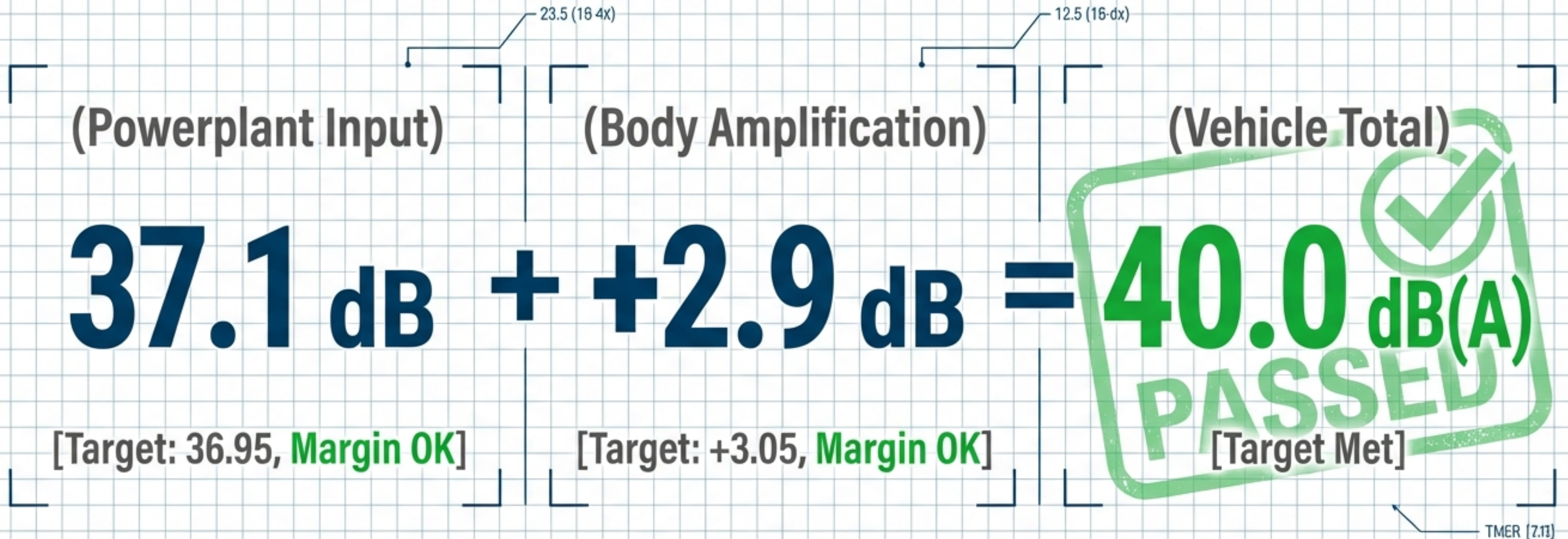
- バランスシャフト追加 (2次成分キャンセル)
- マウント剛性最適化 (400 → 350 N/mm)
- クランク精度向上

## Body Team (-1.25 dB)



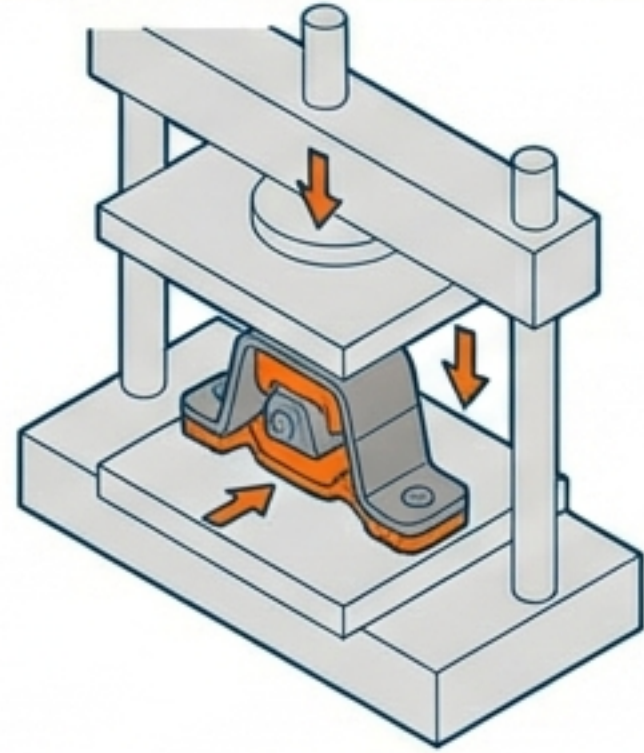
- フロア剛性向上 (共振点 36Hzへシフト)
- ダッシュパネル制振材追加
- ブラケット強化

# CAEによる最終検証結果

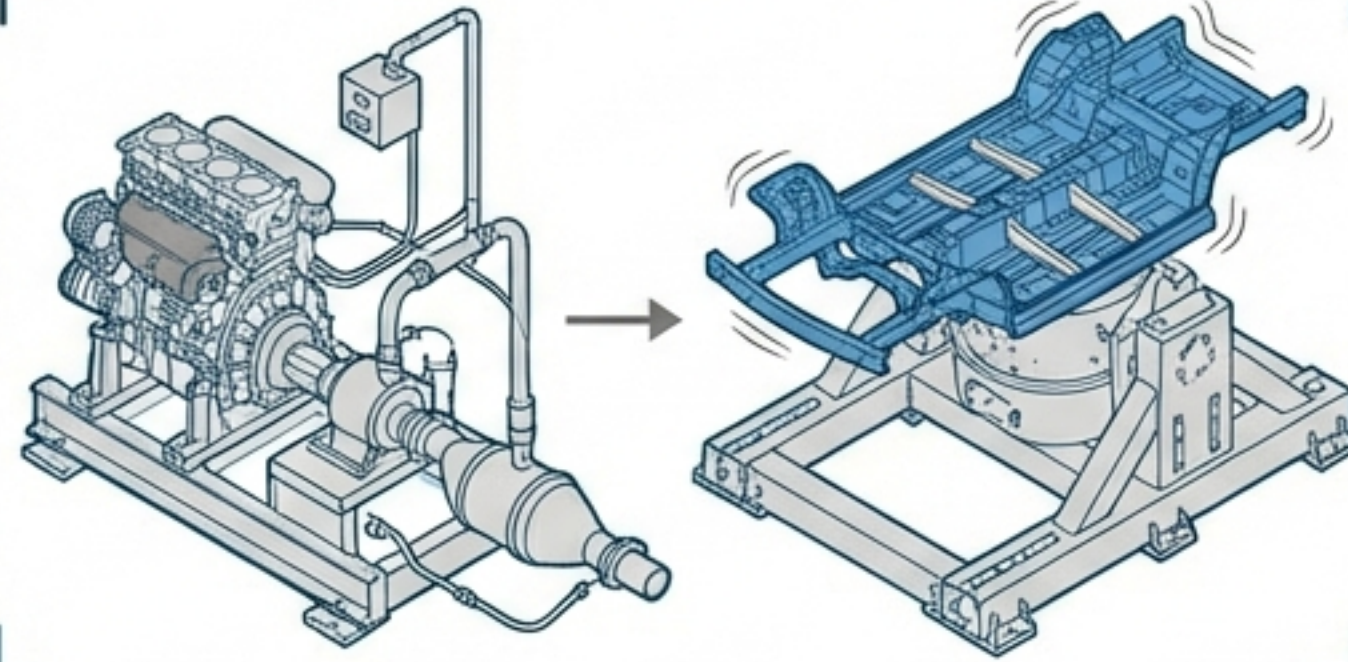


サブシステムがそれぞれの「HARDPOINT要件」を満たすことで、自動的に車両目標が達成された。

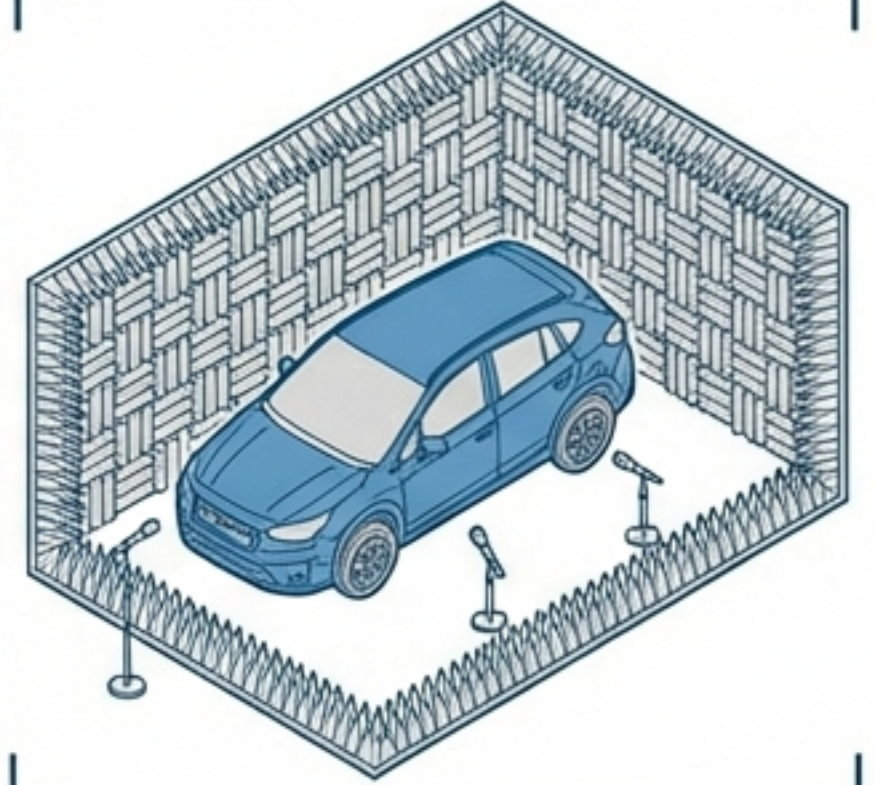
# 実機検証戦略：コンポーネントから 車両レベルまで



マウント単体試験 (剛性・減衰)



HARDPOINT力測定 & 伝達関数測定



車両統合試験

» DIN Pro/Roboto Nono

Target Correlation: CAE vs Test force magnitude within  $\pm 10\%$

# 成功への鍵：ベストプラクティスと共通課題



## Best Practices (推奨事項)

- **Early Definition**  
開発初期にHARDPOINTと公差を定義する。
- **Safety Margin**  
10-20%のマージンを要件に含める。
- **Physical Alignment**  
測定可能なボルト締結点をHARDPOINTとする。

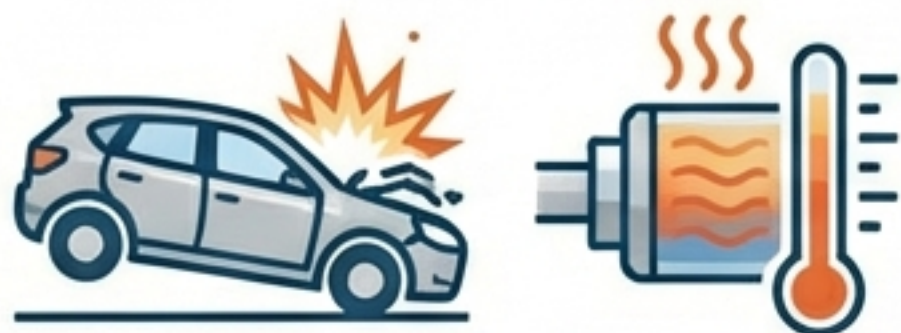


## Common Challenges (課題と対策)

- **Ambiguity**  
境界定義の曖昧さ →  
ICD（インターフェース管理図）で解決。
- **Over-constraint**  
達成不能な要件 →  
シーソー比率の再検討または新技術導入。

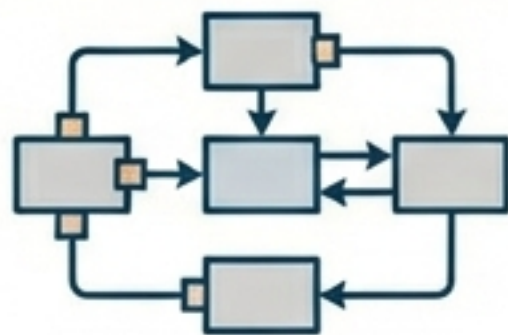
# まとめと今後の展望：マルチフィジックスとAI統合へ

## マルチフィジックス (Multi-Physics)



衝突 - Crash    熱 - Thermal

## MBSE

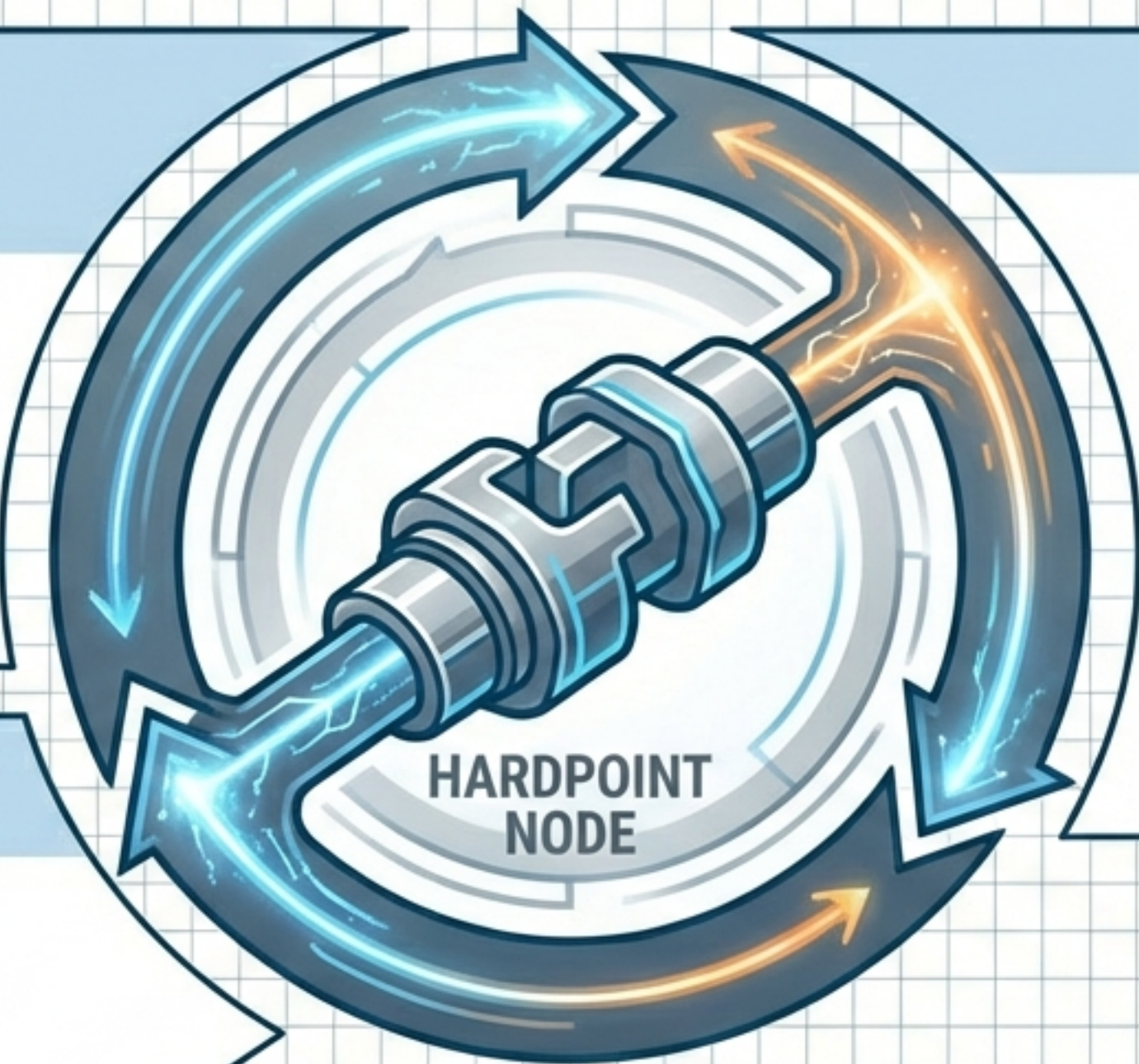


SysML Diagram  
(SysMLダイアグラム)

## AI統合



Machine Learning  
(機械学習)



HARDPOINT  
NODE

「HARDPOINTは要件カスケードの「支点」である。  
主観的な「すり合わせ」から、客観的な「エンジニアリング」へ。」

>> DIN Pro/Roboto Nono