



# 振動疲労評価技術への取り組み

ESTECH

株式会社 エステック

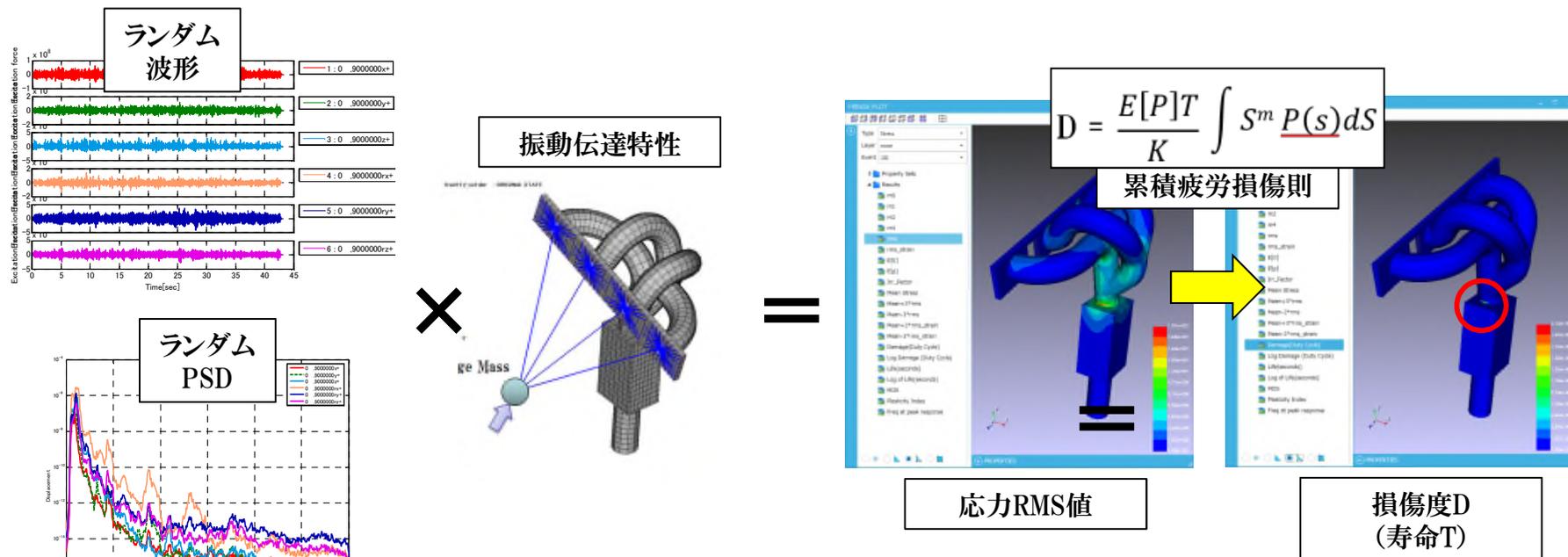
*Engineering Solutions and Technologies*

作成 前田 崇 伊野 友里子

- 近年、HEV・EVの普及に伴い、モータ、バッテリー、ECU、パワーモジュール等の電動ユニットが多く車両に搭載されるようになりました。
- これらのユニットが路面からの凹凸やエンジン等の周期的で複雑な変動入力に晒された時、亀裂や破損がなく、本来の機能性を担保する安全設計をシミュレーション段階で検討することは手戻りや試作を最小限とすることにつながります。
- 応力評価や時間軸領域における振動疲労解析は従来から実施されていますが、時間コストの増大やメカニズム解明の困難さの問題があります。
- 対象ユニットに対する振動疲労評価の定量的な予測値が必要です。
- 亀裂・破損の可能性が高いと判断された際には、改善検討が効率的に行えるような手法構築が課題となります。

# エステックが構築する振動疲労評価技術

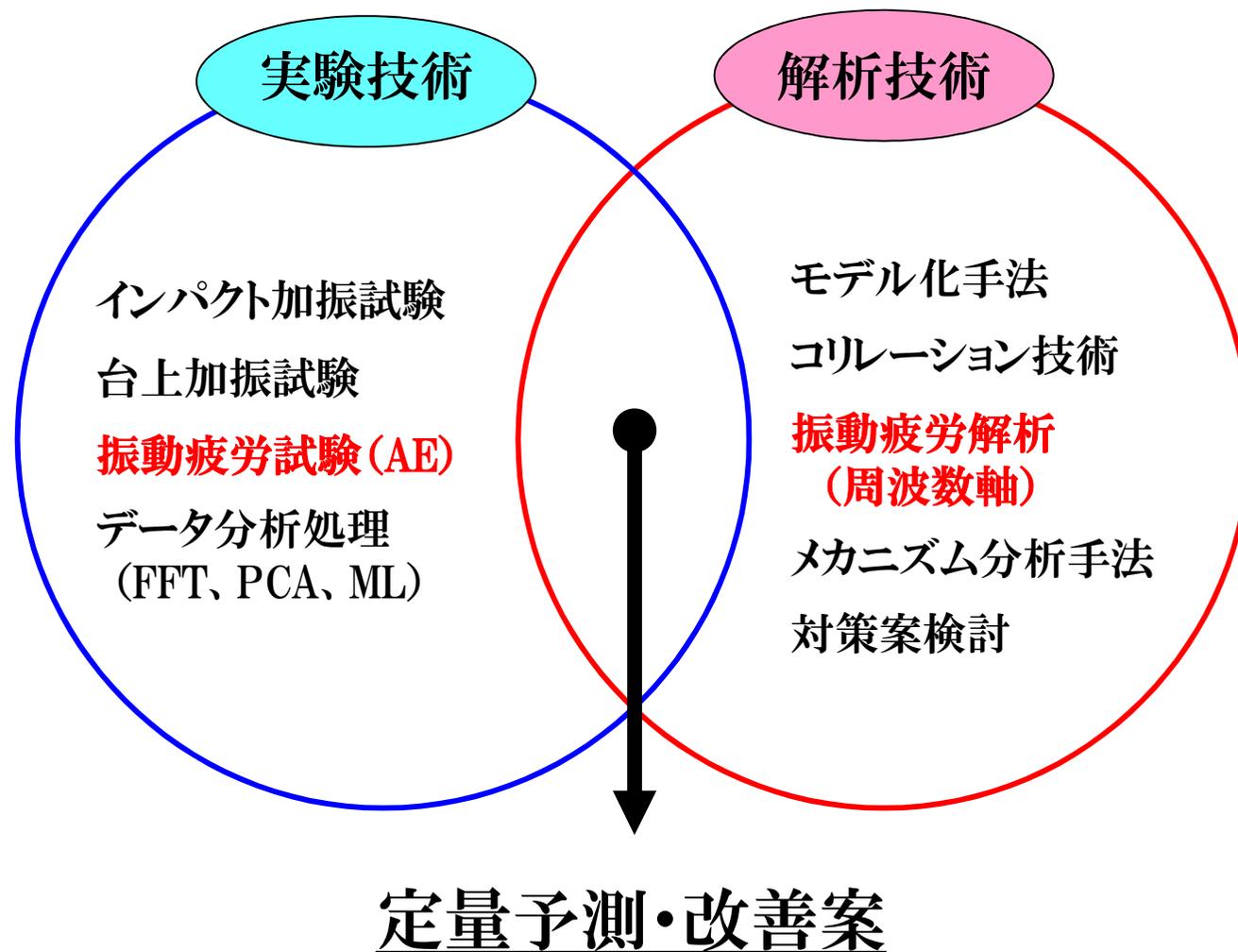
- 振動疲労解析は、得られた応力結果(時間軸波形あるいはPSD波形)から確率密度分布を算出し、累積疲労損傷則から損傷度D(寿命T)を定量的に予測する解析手法です。



➤ 定量的かつ効率的な振動疲労評価を行うための重要項目を以下に示します。

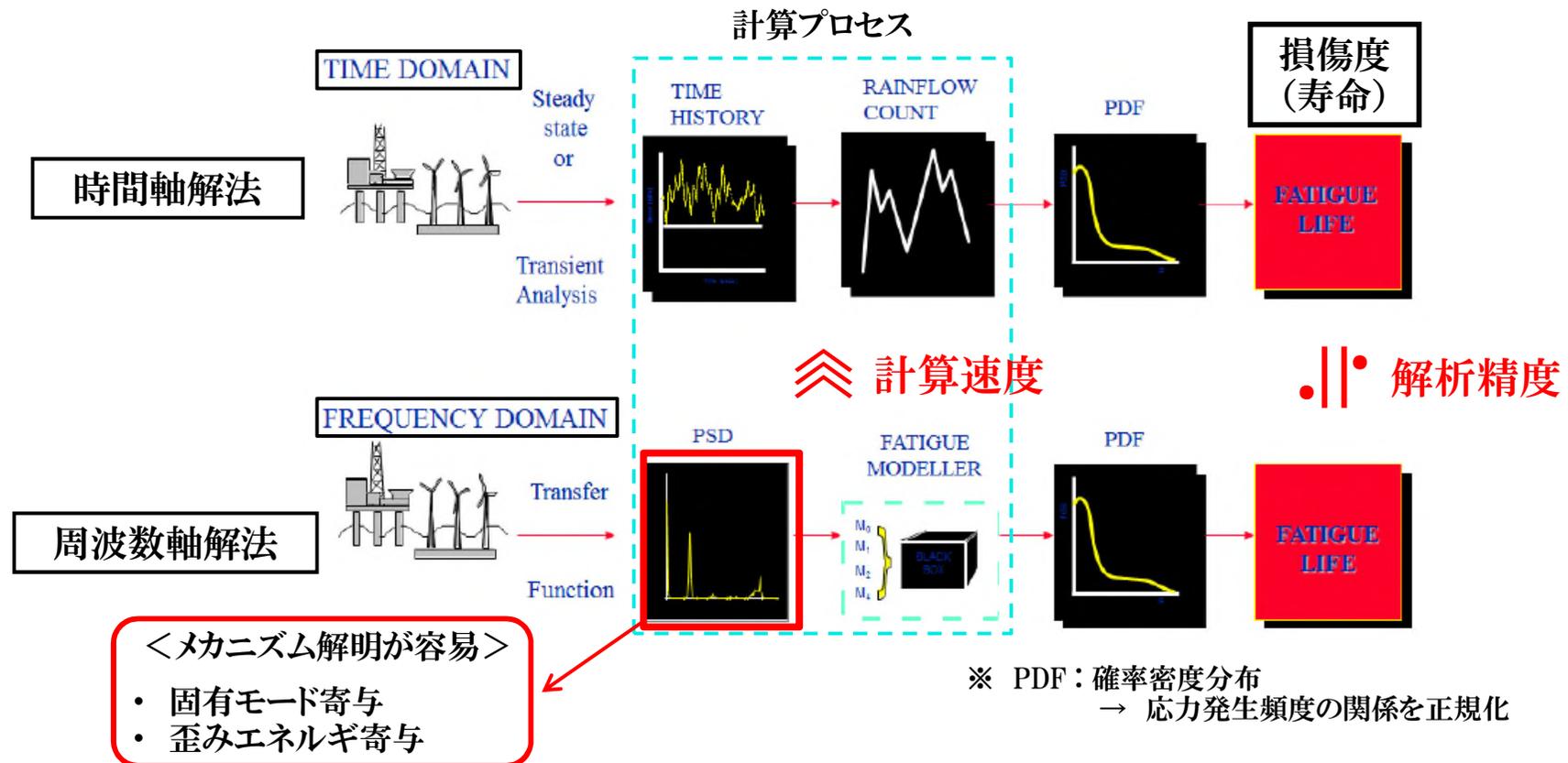
1. 初期クラック時間の判定（※ 振動疲労評価精度の検証データ）
2. 対象ユニットの解析モデル精度
3. 材料SNカーブ特性
4. 振動疲労解析手法（※ 時間軸領域、周波数軸領域）
5. メカニズム分析手法
6. 対策検討手法

# エステックが構築する振動疲労評価技術



# 振動疲労解析(周波数軸)：概要

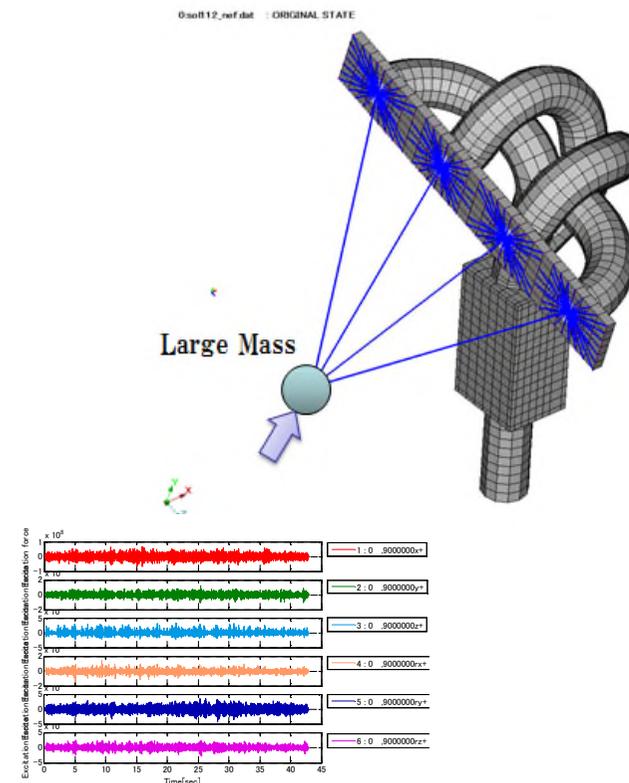
- 時間軸解法の解析精度を確保しつつ、計算コストを大幅に削減
- クラック発生要因となるメカニズム分析が容易で対策検討に繋げやすい



# 振動疲労解析(周波数軸)：適用事例①

## ● 排気系エキマニ解析モデル

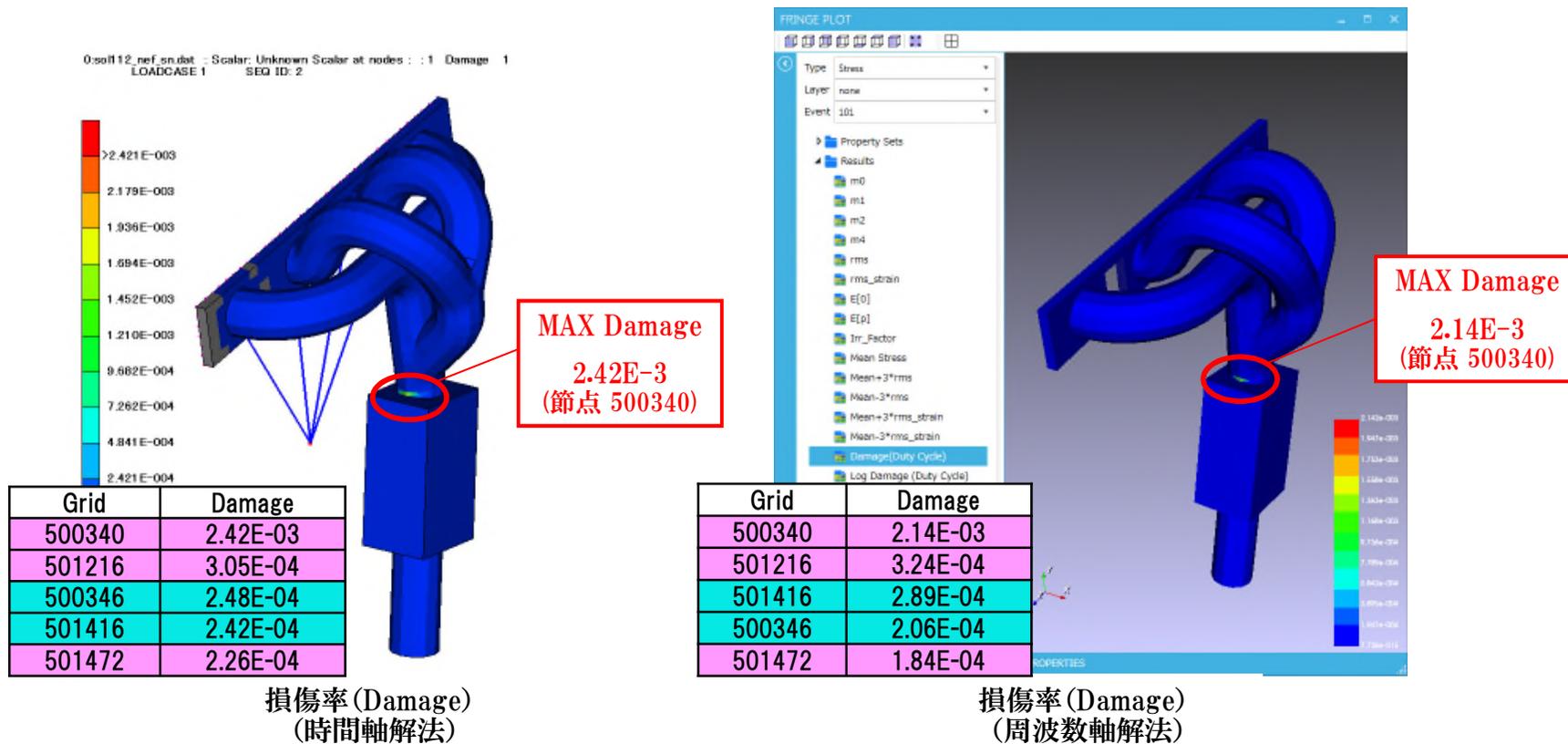
- ✓ 荷重入力：6剛体運動(ラージマス法)
  - 時間軸解法：時間軸波形
  - 周波数軸解法：PSD
  
- ✓ 疲労解析ソルバー
  - 時間軸解法
  - 周波数軸解法
  
- ✓ PDF算出方法
  - ✓ 時間軸解法：レインフローカウント
  - ✓ 周波数軸解法：Dirlik
  
- ✓ 材料定義：SUS304 (SN)



# 振動疲労解析(周波数軸)：適用事例①

## ● 排気系エキマニ

- 損傷率の比較(左図:時間軸解法 右図:周波数軸解法)
- 損傷箇所、損傷度共に同じ



# 振動疲労解析(周波数軸)：適用事例②

## ●トラックキャブ

- ✓ 荷重入力：キャブ取り付け4点×3方向(走行パターン10通り)

- 時間軸解法：時間軸波形
- 周波数軸解法：PSD

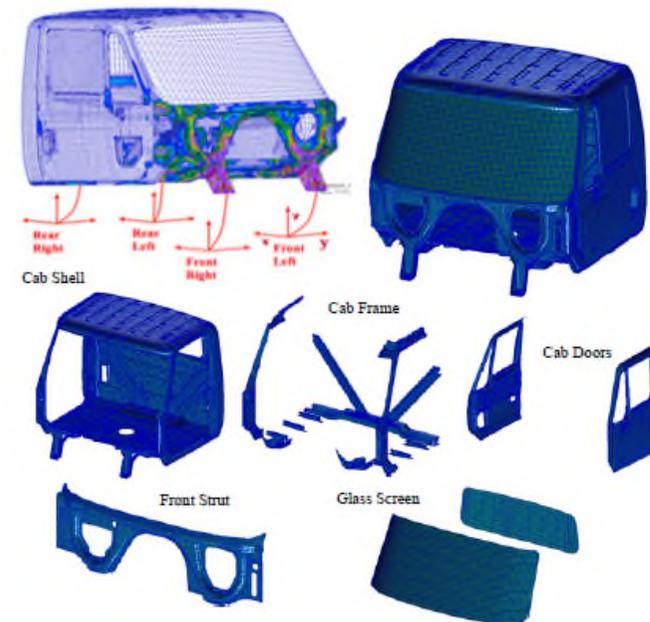
- ✓ 疲労解析ソルバー

- 時間軸解法
- 周波数軸解法

- ✓ PDF算出方法

- ✓ 時間軸解法：レインフローカウント
- ✓ 周波数軸解法：Dirlik

- ✓ 材料定義：各部材のENカーブ

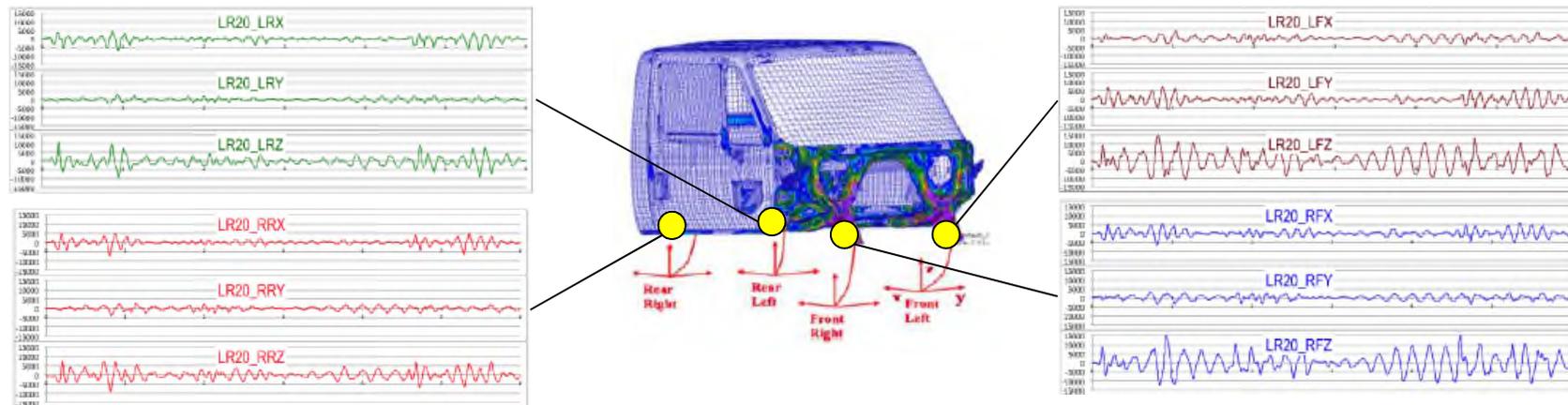


# 振動疲労解析(周波数軸)：適用事例②



- **トラックキャブ**
  - 入力荷重条件

Event #	Name	Description	Duration (s)	Repeats	Total Time (s)
1	ea10	Empty Abbreviated Belgian Blocks at 10 mph	38.0	4	152.0
2	egvl	Empty Gravel Road	14.0	3	42.0
3	er20	Empty Railroad Crossing at 20 mph	6.0	3	18.0
4	er30	Empty Railroad crossing at 30 mph	6.0	3	18.0
5	lp10	Loaded Primary Belgian Blocks at 10 mph	96.0	5	480.0
6	lp12	Loaded Primary Belgian Blocks at 12 mph	58.0	29	1682.0
7	lp14	Loaded Primary Belgian Blocks at 14 mph	54.0	7	378.0
8	lr20	Loaded Railroad Crossing at 20 mph	6.0	3	18.0
9	lr30	Loaded Railroad Crossing at 30 mph	6.0	3	18.0
10	ls20	Loaded Supplemental Course at 20 mph	34.0	2	68.0



# 振動疲労解析(周波数軸)：適用事例②

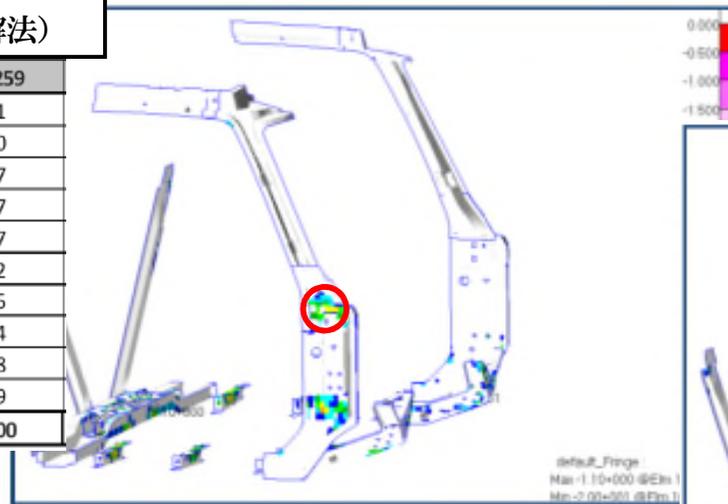


## ● トラックキャブ

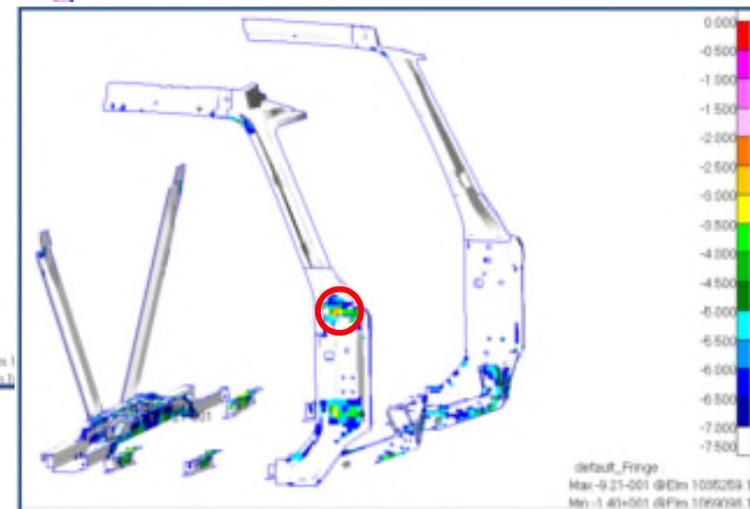
- 損傷率の比較(左図:時間軸解法 右図:周波数軸解法)
- 損傷箇所、損傷度共に同じ

損傷度比率  
(時間軸解法/周波数軸解法)

	element	1035259
From PSD	01-EA10	0.71
From PSD	02-EGVL	0.50
From PSD	03-ER20	0.47
From PSD	04-ER30	0.37
From PSD	05-LP10	0.97
From PSD	06-LP12	1.62
From PSD	07-LP14	2.05
From PSD	08-LR20	0.84
From PSD	09-LR30	1.18
From PSD	10-LS20	0.99
		<b>0.9700</b>



時間軸解法

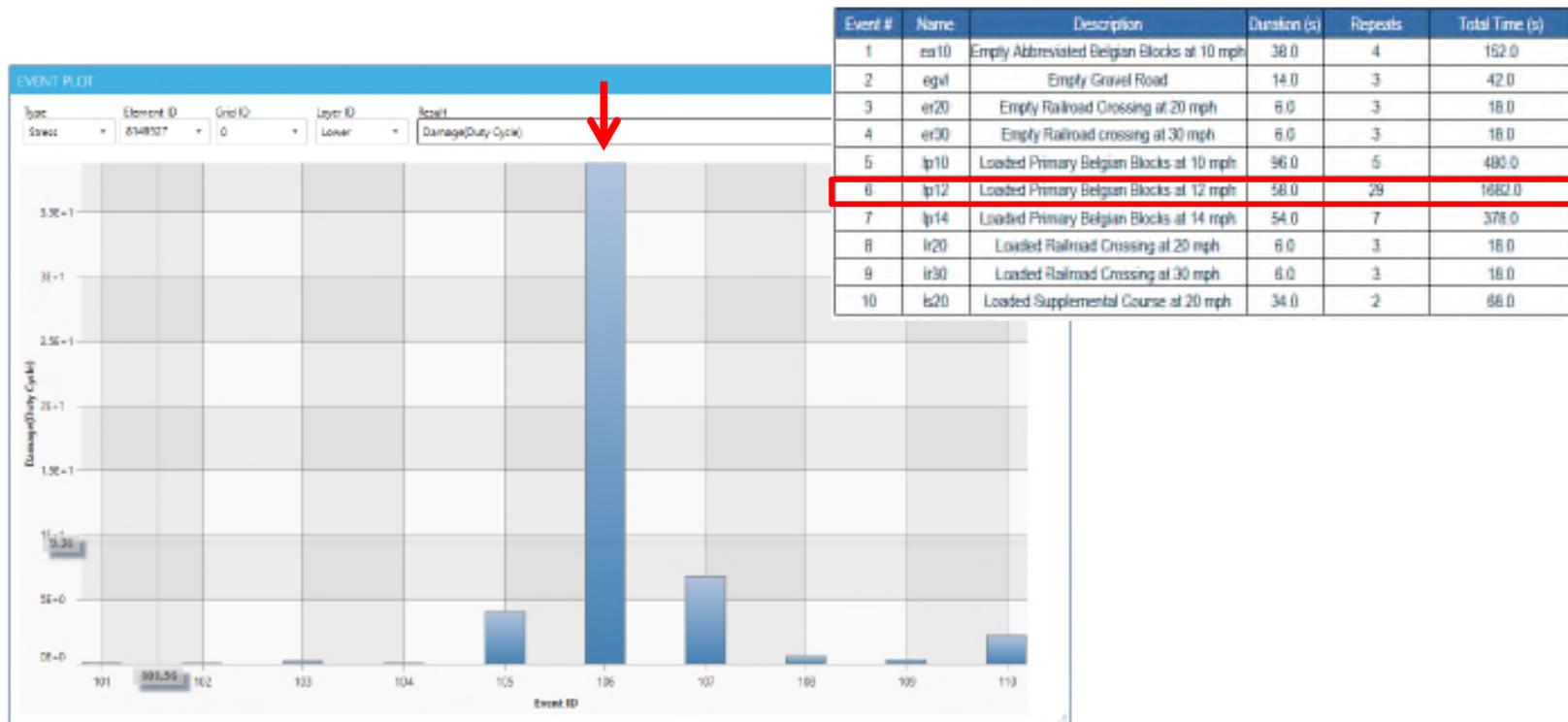


周波数軸解法

# 振動疲労解析(周波数軸)：適用事例②



- **トラックキャブ**
  - 損傷度寄与
  - 走行パターン6が最も疲労損傷が大きい

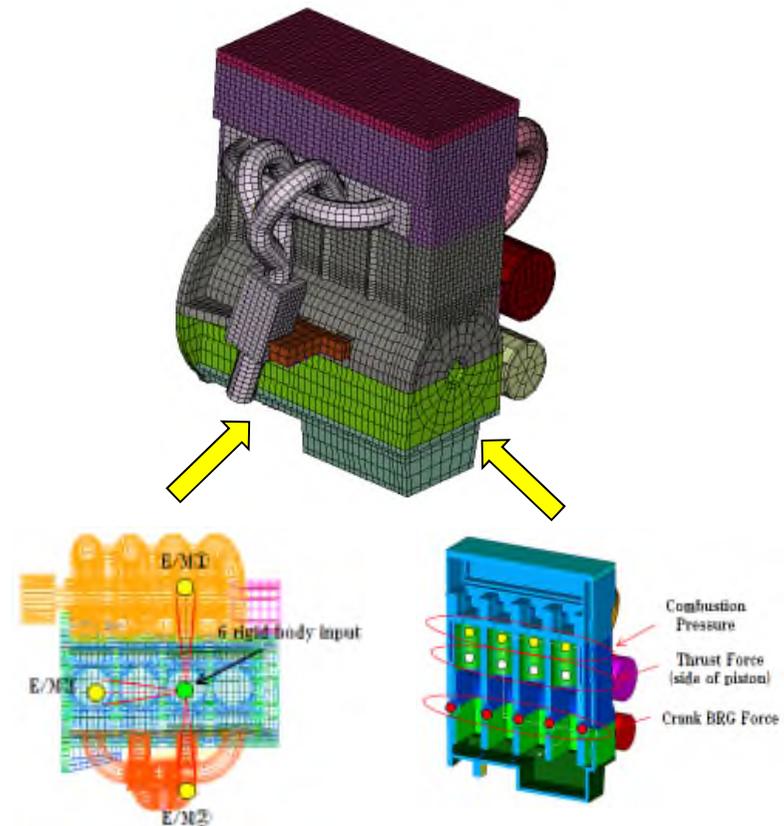


損傷度寄与 走行パターン1~10

# 振動疲労解析(周波数軸)：適用事例③

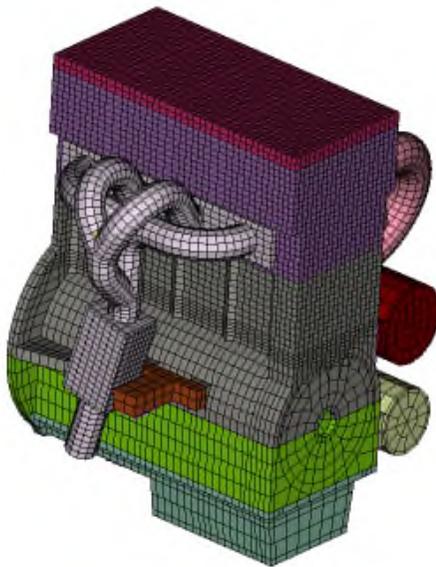
## ● 排気系エキマニ+エンジンモデル

- ✓ 荷重入力：路面入力からのEM振動  
エンジン起振力(PS-X)
  - 時間軸解法：時間軸波形
  - 周波数軸解法：PSD
  
- ✓ 疲労解析ソルバー
  - 時間軸解法
  - 周波数軸解法
  
- ✓ PDF算出方法
  - ✓ 時間軸解法：レインフローカウント
  - ✓ 周波数軸解法：Dirlik
  
- ✓ 材料定義：SUS304 (SN)



# 振動疲労解析(周波数軸)：適用事例③

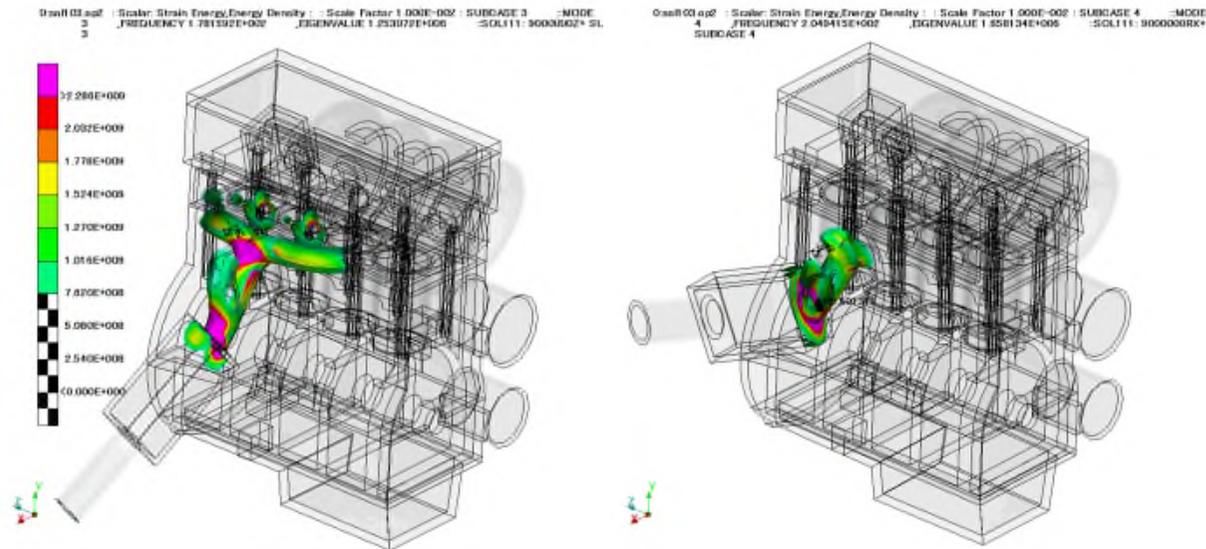
## ● 排気系エキマニ+エンジンモデル



4気筒エンジン FEMmodel  
(ESTECH ORIGINAL)

Node : 49978  
Element : 31713

### 排気系システム 主要モード (contour : strain energy density)

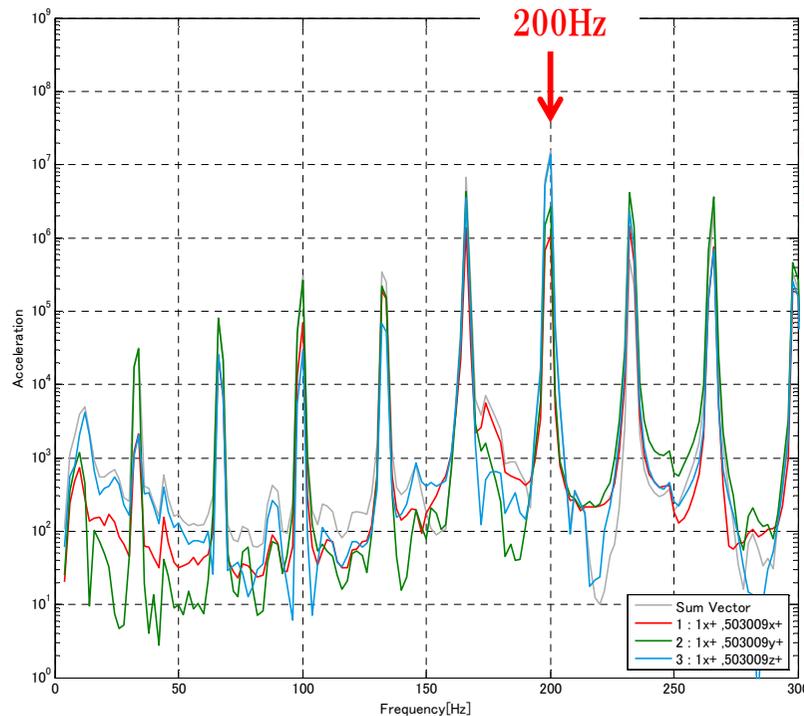


3<sup>rd</sup> Mode shape 178Hz  
前後振りモード

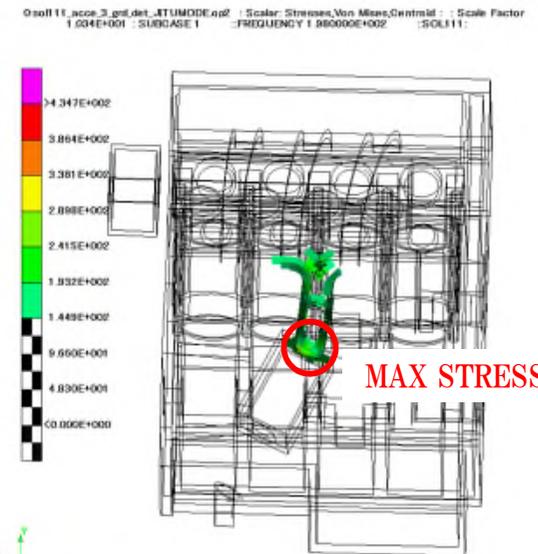
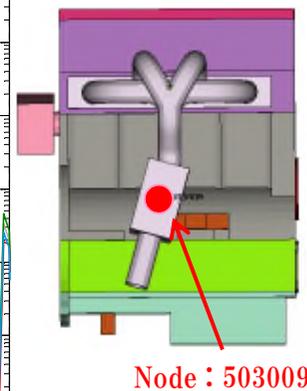
4<sup>rd</sup> Mode shape 205Hz  
左右振りモード

# 振動疲労解析(周波数軸)：適用事例③

- 排気系エキマニ+エンジンモデル
  - 周波数応答解析 加速度応答
  - 200Hz付近最大値：エキマニ左右振りモードが支配的



実稼働時の加速度応答 (Node : 503009)



実稼働モード  
(200Hz)

# 振動疲労解析(時間軸)：適用事例③



## ● 排気系エキマニ+エンジンモデル

### ● 時間軸解法

- 路面パターン：6
- 入力時間：12[s]  
(全71の入力)
  - ランダム入力 E/M (1~6)：DISP
  - 確定的入力 エンジン起振力 (7~71)：Force
- Time Step：96000 ( $\Delta t$  1.25e-4)
- Output：損傷率
- 材料データ：Steel
  - ✓ UTS：560.0
  - Sf：560.8
  - b：-0.109
  - c：-0.39
  - Ef：0.065
  - n：0.12
  - K：461.7
- Single CPU

時間軸解法  
トータル時間コスト

6:28:03(※)

過渡応答解析 4:56:05  
疲労解析 1:31:58

簡易モデルにも関わらず、計算コストが高い

※ ラージマス法による入力の場合、過渡応答解析の時間コストは低下するものの、いずれにしても時間コストはかかる

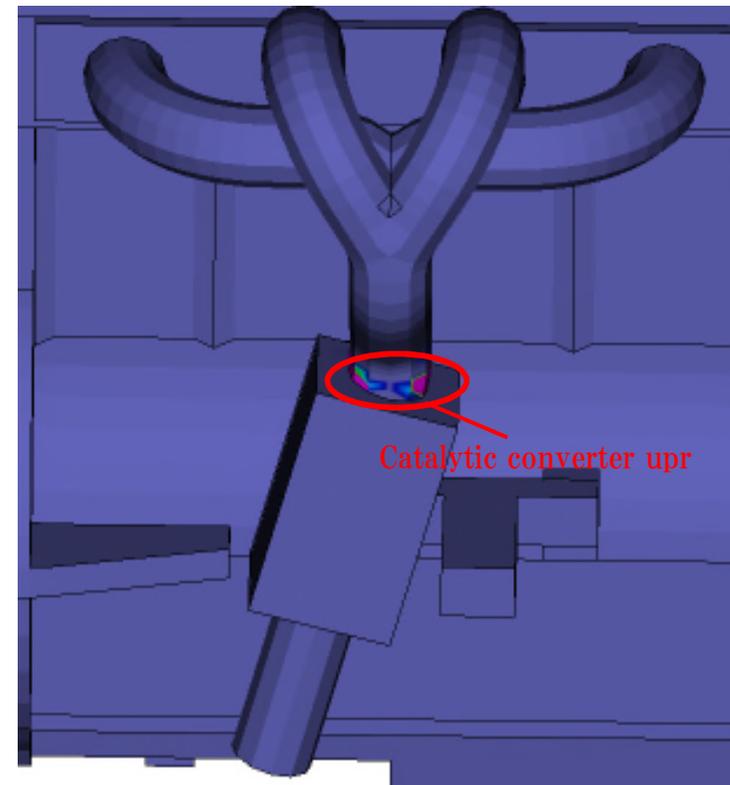
# 振動疲労解析(時間軸)：適用事例③

## ● 排気系エキマニ+エンジンモデル

- 時間軸解法
- 損傷度：触媒コンバータ上部

Rank	Element
1	501286
2	501311
3	501247
4	501245
5	501260
6	501248
7	501258
8	
9	
10	

Element nodes - Worst Damage sum (duty cycle) over all element nodes

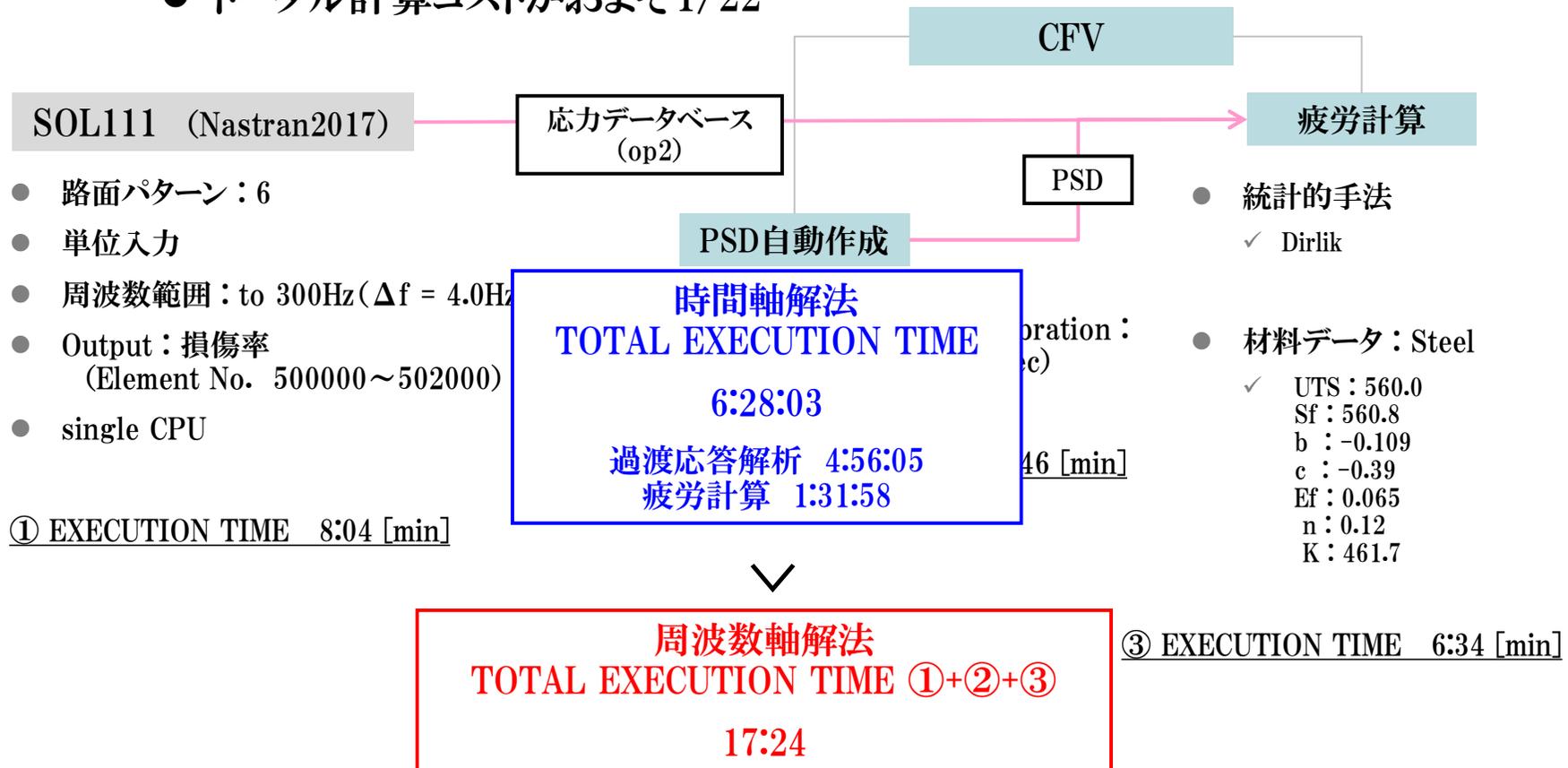


# 振動疲労解析(周波数軸) : 適用事例③



## ● 適用事例③ : 排気系エキマニ+エンジンモデル

- 周波数軸解法
- トータル計算コストがおおよそ1/22



# 振動疲労解析(周波数軸)：適用事例③

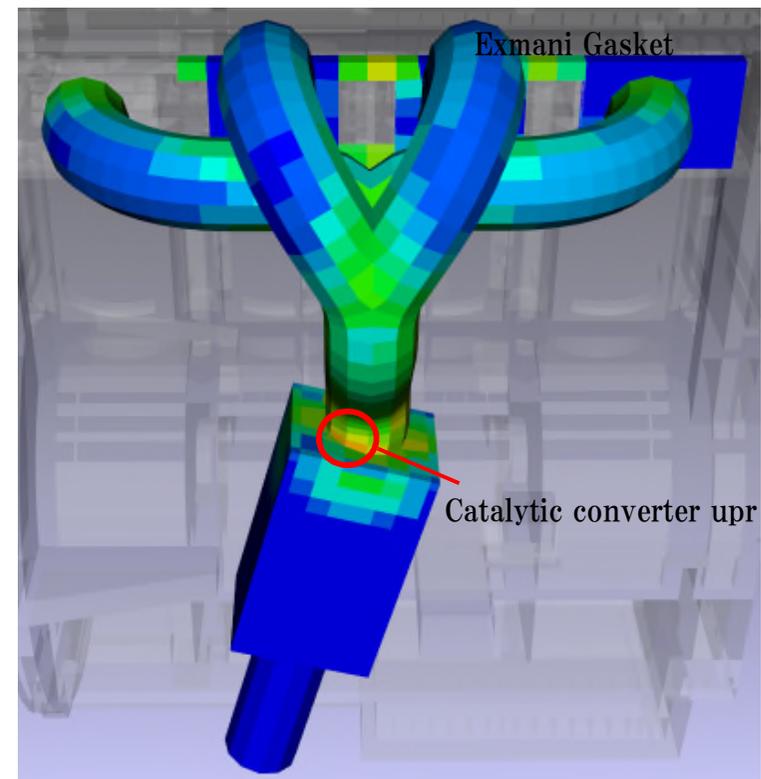
## ● 排気系エキマニ+エンジンモデル

### ● 時間軸解法 vs. 周波数軸解法

#### ➤ 損傷箇所は共に同じ

時間軸解法		周波数軸解法	
Rank	Element	Rank	Element
1	501286	1	501286
2	501311	2	501311
3	501247	3	501248
4	501245	4	501247
5	501260	5	501245
6	501248	6	501260
7	501258	7	501258
8	/	8	501261
9		9	500943
10		10	500249

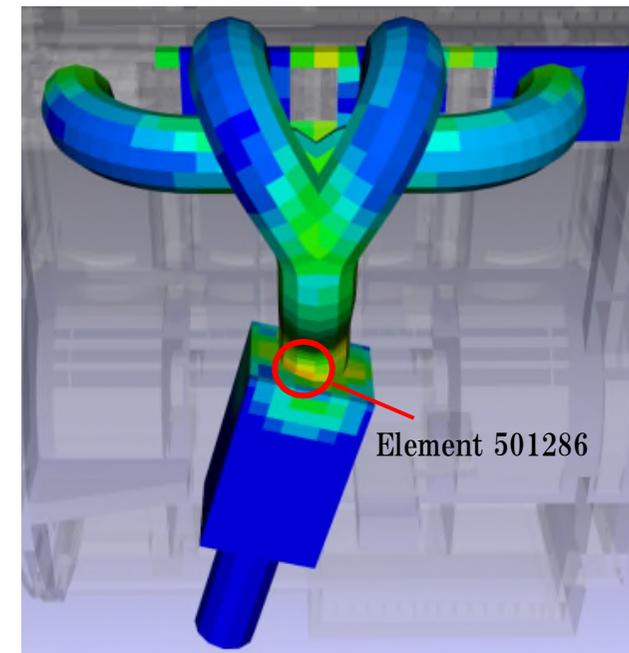
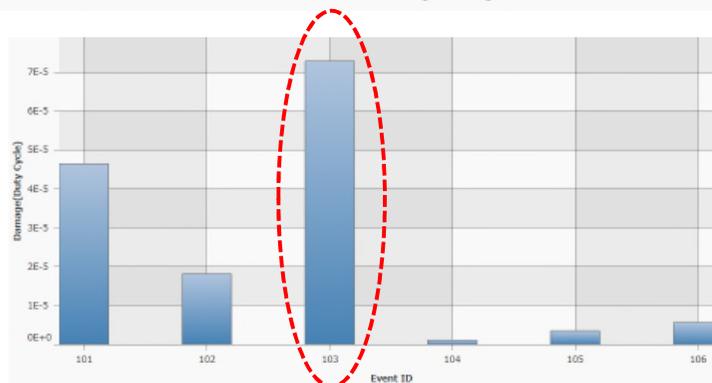
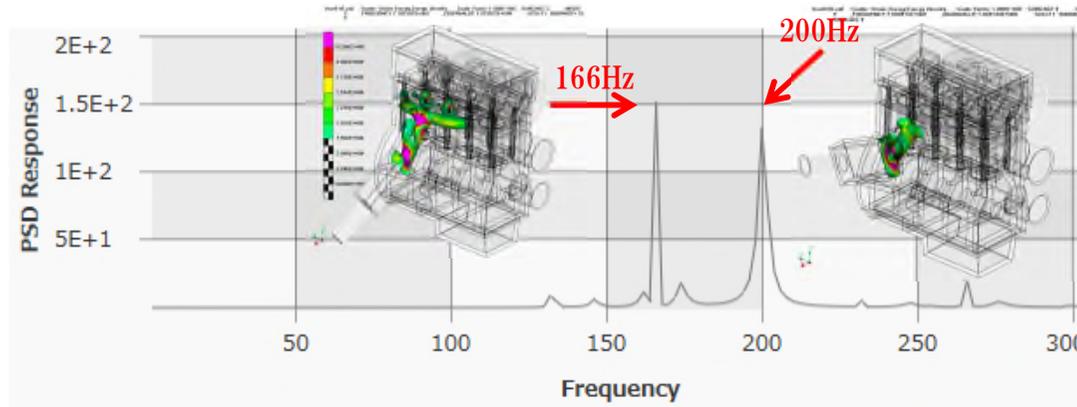
要素中心 (損傷度 Log)



FRINGE PLOT  
(Log Damage)

# 振動疲労解析(周波数軸)：適用事例③

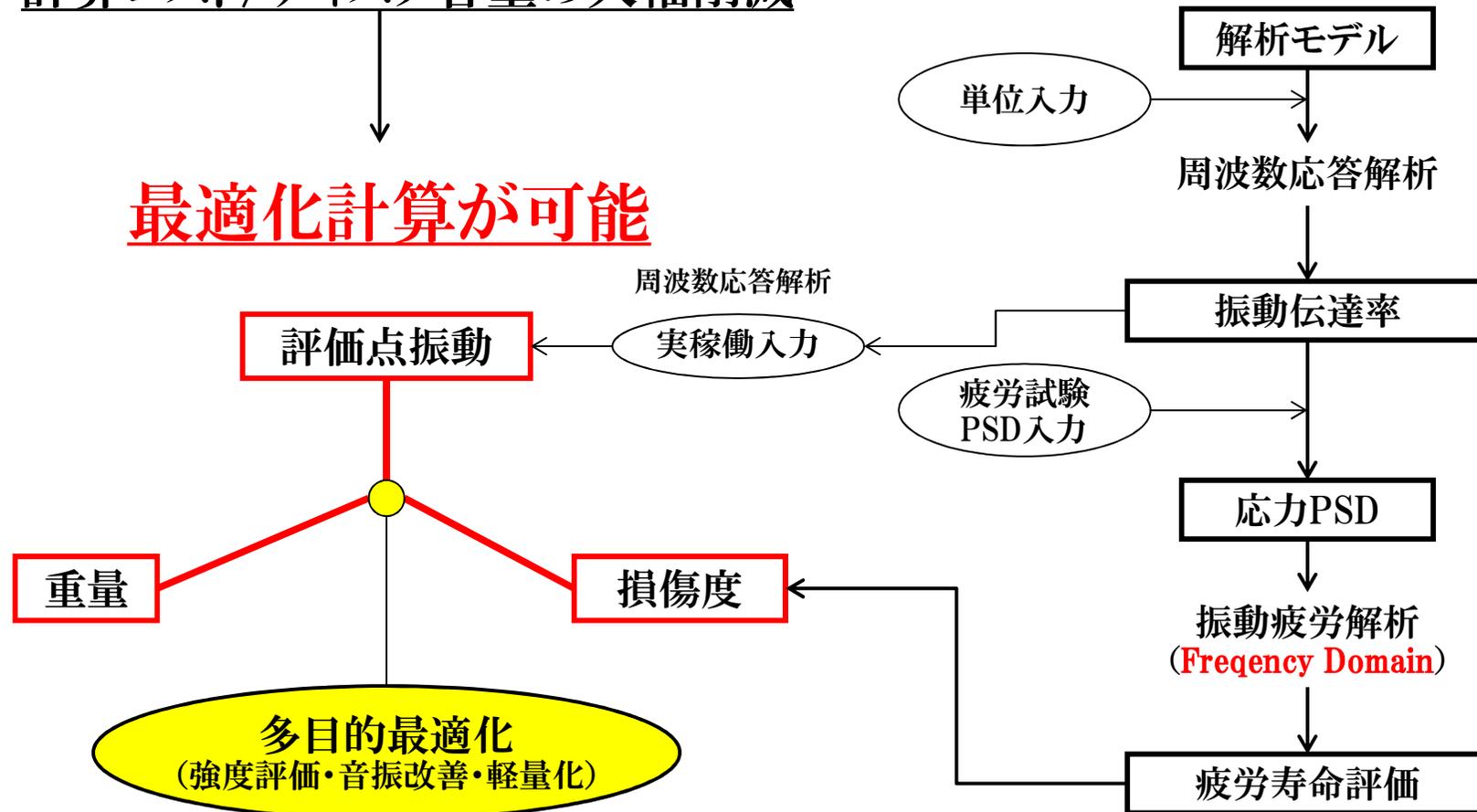
- 排気系エキマニ+エンジンモデル
  - 走行パターン3が最も損傷度が高い
  - 損傷メカニズムはエキマニ左右、前後振りモード



# 振動疲労解析(周波数軸)：発展形

## □ 計算コスト/ディスク容量の大幅削減

**最適化計算が可能**



- 定量的な振動疲労評価技術を構築するためには、実験技術と解析技術の両方が必要です。
- 周波数軸解法による振動疲労解析の適用によって、時間軸解法と同等の解析精度を保ちつつ計算コストが大幅に削減できます。  
よって、軽量化やNV性能とのトレードオフを踏まえた多目的最適化への発展形が期待されます。
- またメカニズム分析が容易で対策案検討が効率的に行えます。

# お問い合わせ先



- 本内容についてのお問い合わせは、下記までお願いいたします。

株式会社エステック 技術部 前田崇  
Tel : 045-661-1661  
E-mail : [takashi.maeda@estech.co.jp](mailto:takashi.maeda@estech.co.jp)