

# LIGHTWEIGHT **forging**

[www.LIGHTWEIGHTforging.com](http://www.LIGHTWEIGHTforging.com)

フェースIII  
ハイブリッド乗用車 (HEV)  
と高積載商用車 (HDV)

2017 – 2018



## 鍛造による自動車 部品の軽量化設計

鍛造メーカーと鉄鋼会社主導による軽量化鍛造

24 パートナー  
参加による企業  
の軽量化設計ポ  
テンシャル研究

フェースI  
乗用車

2013-2014

28 パートナー  
参加による企業  
の軽量化設計ポ  
テンシャル研究

フェースII  
軽量商用車

2015-2016

軽量化鍛造の  
研究ネットワ  
ーク

2015-2018

39 の国際パー  
トナー参加によ  
る企業の軽量化  
設計ポテンシャ  
ル研究

フェースIII  
ハイブリッド乗  
用車 (HEV)  
と高積載商用車  
(HDV)

2017-2018

- **フェース I (2013 – 2014) – 中型乗用車**
  - 15 の鍛造会社
  - 9 つの鋼のメーカー
  - 42 kg の軽量デザイン可能性
- **フェース II (2015 – 2016) – 軽量商用車 (LCV、最高 3.5t まで)**
  - 17 の鍛造会社
  - 10 の鋼のメーカー
  - 1 人のエンジニアリング・サービスプロバイダ
  - 99 kg の軽量デザイン可能性
- **フェース III (2017 – 2018) – ハイブリッド型乗用車と高積載商用車**
  - 22 の鍛造会社
  - 12 の鋼のメーカー
  - 3 つの鍛造機械メーカー
  - 2 つの自動車会社
  - 西ヨーロッパ、USA、日本間の最初の国際協力
  - 93 kg (ハイブリッド車) と 124 kg (高積載商用車) の軽量デザイン可能性
- **軽量化鍛造研究ネットワーク (2015 – 2018)**
  - 全関連企業から 64 社、そして 4 つの研究協会と 10 の研究機関
  - 6 つのサブプロジェクト
  - ゴール：部品設計や製造方法のみならず最近の鉄鋼材料を用いて車両の軽量化を図る

▶ 鍛造部品の設計と材料コンセプトに基づく新たな軽量化への解答を通して、エネルギー消費、二酸化炭素排出量の著しい低減



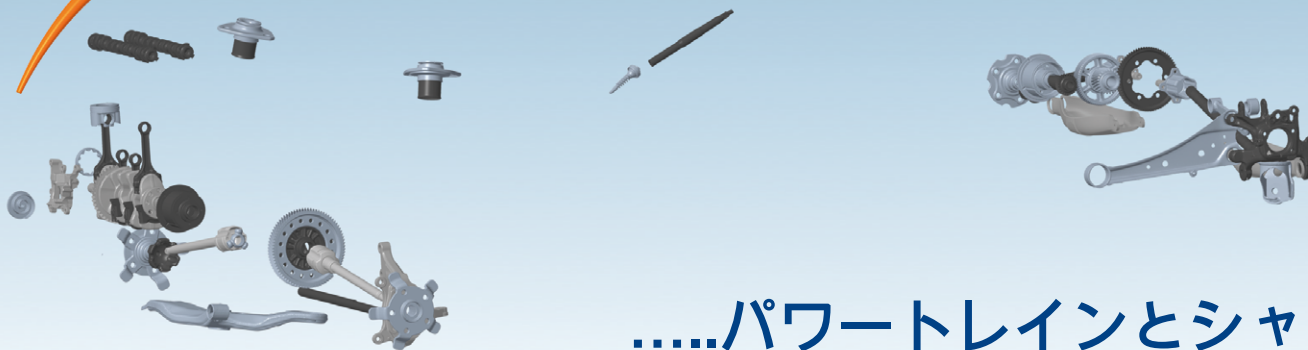
**-42kg** フェース I 乗用車



**-99kg** フェース II 軽量商用車



**-93kg** フェース III  
ハイブリッド型乗用車 (HEV)



.....パワートレインとシャーシに於ける





# 鍛造メーカーと鉄鋼会社主導の参加パートナー

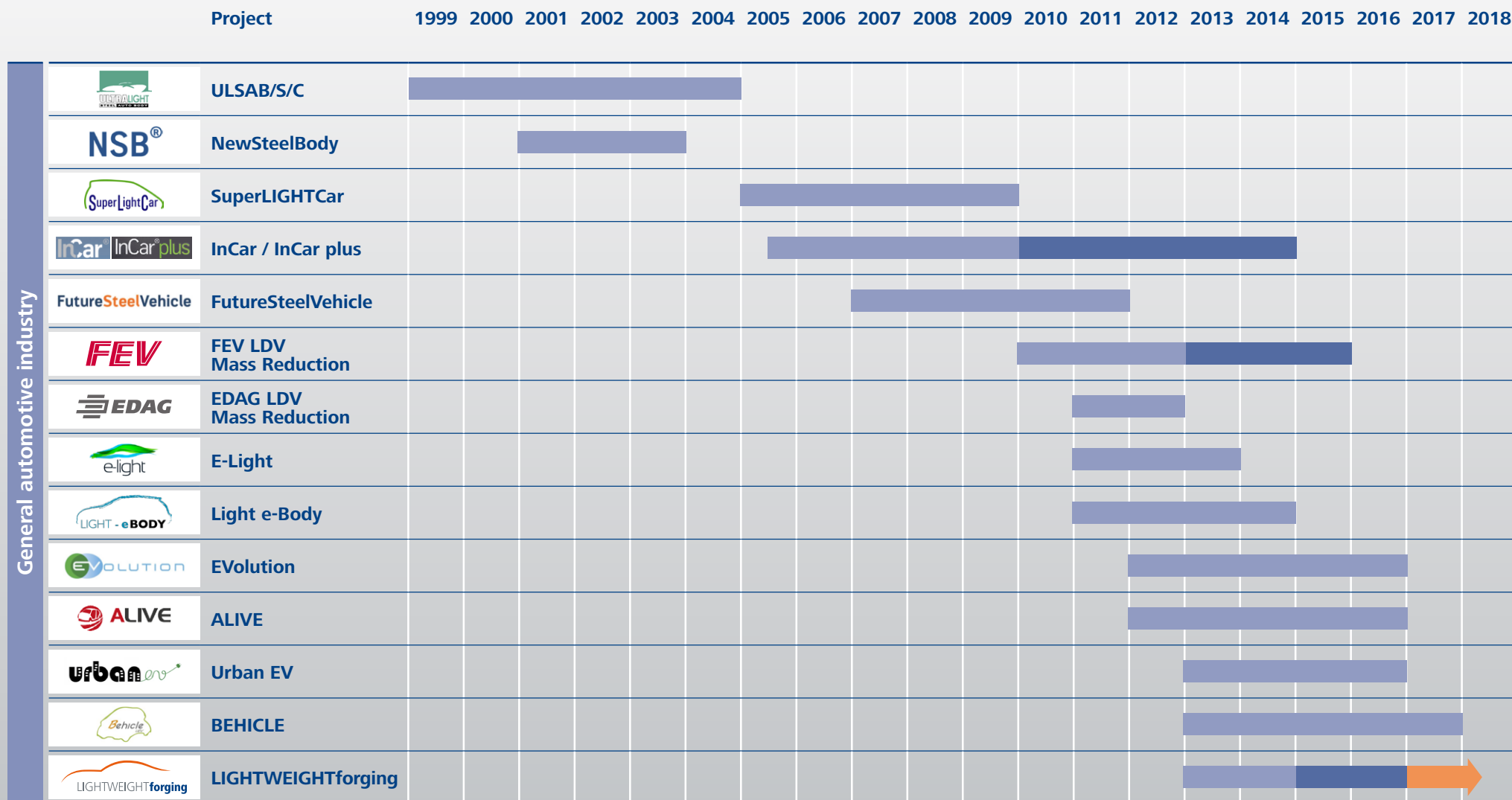


下記の研究機関の協力のもとに



# 各種プロジェクトの概括

## 軽量化研究プロジェクト – 一般の研究開発とメタ研究





## メインドライバー

### 排出に関する法規



- 車隊目標を達成するためのCO<sub>2</sub>排出量の低減  
→ 2020年までのEU域内の目標値：95 g CO<sub>2</sub>/km
- 世界的なCO<sub>2</sub>規制を満たすために、  
効率の著しい増加が必要とされます
- ノイズ放出と時間依存的なノイズ規制法規

### 入場規制



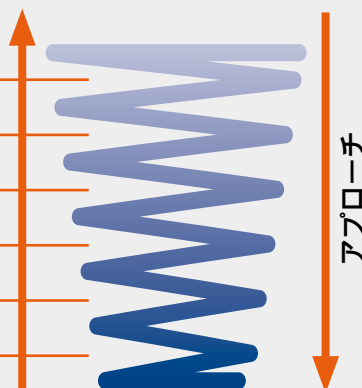
- 環境保護地帯の拡大
- 都市への入場規制の引き締め

## 軽量化設計のための動機

### 重みのスパイラル

#### 要求の増加

- 安全性 [+kg]
- 快適性 [+kg]
- 性能 [+kg]
- 居住性 [+kg]
- 多様性 [+kg]
- 品質 [+kg]



- 車両重量を増加させる要求の増加
- 軽量デザインを通しての重さスパイラルの逆転
- 供給元は、製造ノウハウを提供することが可能 (ボトムアップのアプローチ)

## メガトレンド

### E-モビリティ

- 世界的なCO<sub>2</sub>低減への可能性
- 特定場所での排出とノイズ低減

### 自律運転

- 燃費改善の可能性
- 事故減少の可能性
- 時間の節約

### 軽量化設計

- 燃料消費の低減
- 環境保護と持続性に対する貢献
- 資源の還元
- 改善された操縦技術と安全性の増加
- 電動化駆動による付加的な重量増加と車両安全に関する努力の相互補償
- 搭載物の増加

## 排出に関する法規



- 世界的な CO<sub>2</sub> 規制を満たすために、効率の著しい増加が必要とされます
- 排出基準は、新技術を要求します
- ノイズ放出と時間依存的なノイズ規制法規

## コスト削減



- 商用車セクターでは、TCO は最も重要な要因です
- 取得費用や運営経費を低減するための革新
- 軽量デザインは、輸送力 (ペイロード) を増やすことができます
- 自動運転可能な車両は最高 90% まで人員を減らすことができる

## 入場規制



- 商用車による都心の配送交通は、特に制限されます
- 将来、環境ゾーンの著しい拡大と入場規制の増加が期待される

## 新しい必要条件



- 電子商取引の増加のようなフレームワーク状況は、OEMと供給元に対する世界的な解決策を要求しています
- 多様な顧客の要求は、数多くの車両タイプを提供すること

## メガトレンド

### E-モビリティ

- 世界的な CO<sub>2</sub> 低減への可能性
- 特定場所での排出とノイズ低減

### 自律運転

- 人件費の縮小
- 燃費改善の可能性
- 事故減少の可能性

### 軽量化設計

- 燃料消費の縮小、または、ペイロードの増加
- 車両効率の増加
- 資源の利用減少
- 環境保護と持続性に対する貢献
- 道路への負荷の低減
- 騒音公害の縮小

## 方法：

### 前後関係分析

- ハイブリッド自動車産業の傾向と運転手
- パワートレインにおける開発の分析
- 一般研究の概要

### ベンチマーキング

- 該当車両の分解と資料化
- 資料化と評価のためのオンライン・資料化ツールの作成

### ワークショップ

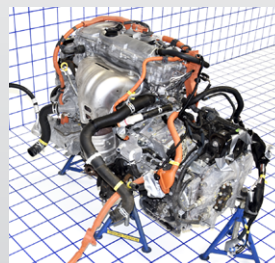
- 参加企業からのパワートレインとシャーシの専門家によるワークショップ開催準備

そして、追加は...

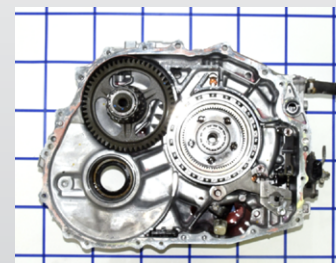
## 1. 全体的な車両重量を測定すること

引用車両：コンパクト多目的乗用車 (SUV)  
 ハイブリッド・ドライブ・システム、  
 システム馬力：145 kW (197のPS)  
 バッテリー：1.6 kWh  
 最高速度：180 km/h  
 グロス車両重量：2,205 kg

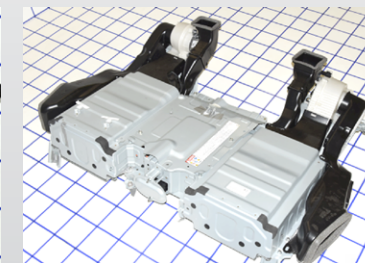
## 2. 車両全体の分解



ICE(従来型化石燃料車)



トランスミッション



ハイブリッド車バッテリー

## 3. すべての個々の部品のリスト化とネーミング

## 4. 部品分析

Component Code	Naming Component	Weight [kg]	x [mm]	y [mm]	z [mm]	Material	Number	Thread Type (z.B. M12)	Thread Pitch	Thread Length [mm]	SC
422010101	Bushing air conditioning compressor part	1.255	135	462	153	Aluminium					
422010102	Bush type 17 housing air conditioning	0.04	18	18	108	Steel	1	M8	1.25	103	n.a.
422010103	Pressure roller housing air conditioning	0.041	8	8	117	Steel	2	M8/M8	1.25/1.25	n.a.	n.a.
422010104	Roller type 17 housing air conditioning	0.007	18	18	8	Steel	2	M8	1.25	n.a.	n.a.
422010105	Roller air conditioning compressor part	0.53	115	48	131	Aluminium					
422010106	Bush type 17 housing air conditioning	0.006	12	12	25	Steel	6	M6	1	19	n.a.
422010107	Bush type 17 housing air conditioning	0.009	115	1	131	Steel					
422010108	Bush type 17 housing air conditioning	0.002	65	2	77	Plastics					
422010109	Bushing air conditioning compressor part	0.359	100	49	100	Aluminium					
422010110	Bushing air conditioning compressor part	0.193	100	42	100	Aluminium					
422010111	Bushing air conditioning compressor part	0.174	132	100	46	Aluminium					
422010112	Bush type 17 housing air conditioning	0.005	10	10	33	Steel	3	M5	0.8	30	n.a.
422010113	Bush type 17 housing air conditioning	0.0003	10	10	1	Steel	3				
422010114	Bush type 17 housing air conditioning	0.01	133	100	5	Steel/Plastics					
422010115	Bush type 17 housing air conditioning	0.0002	22	22	6	Plastics					



## ... トランスミッションのモデリング

- トランスミッションモデル
- プロダクト・エンジニアリング・カールスルーエ (IPEK) 研究所との影響因子の評価
- 許容しうる代替鋼の開発
- トランスミッションの設計に及ぼすハードとソフト影響因子の評価

## 軽量化設計の可能性の導出

- パワートレインとシャーシで使われる鍛造部品の軽量化設計ポテンシャルの確認
- 具体的な軽量デザイン提案の実施

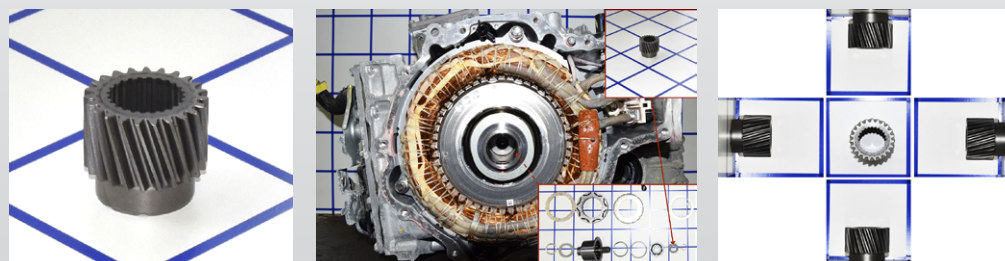
## ドキュメンテーション

- 付随的なパワーポイントによるプレゼンテーション
- オンライン・データベースの実施

## 5. 集合部品グループ毎の重量分布



## 6. 写真ドキュメンテーション



サンギヤ-2

配置位置

## 7. データベース化



手法：

## 前後関係分析

- 高積載商用車産業の傾向と運転手
- パワートレインの開発分析
- 一般の研究の概要

## ベンチマーキング

- 組織的な部品の分解とドキュメンテーション
- 資料化と評価のためのオンラインドキュメンテーションツールの創成

## ワークショップ

- 鉄鋼、鍛造関係のエキスパートによるトランスミッションとパワートレインのワークショップ

そして、追加において...

## 1. 参照サブシステム

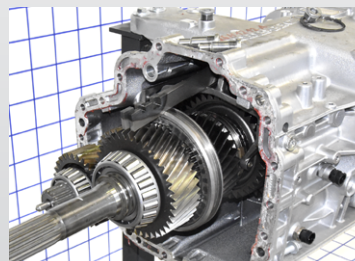
トルクコンバーター：

- 12 速伝達
- 290.34 kg

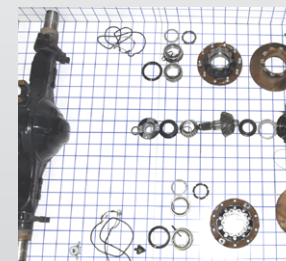
差動ギアとプロペラシャフト付きの後部車軸：

- 618.91 kg

## 2. サブシステムの分解



トルクコンバーター



後部車軸

## 3. すべての個々の部品をリスト化して、名前をつける

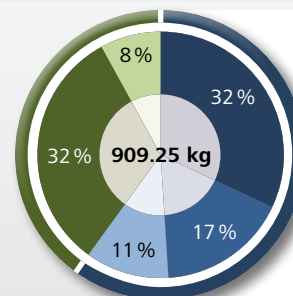
## 4. 部品分析

Component Code	Naming Component	Weight [kg]	x [mm]	y [mm]	z [mm]	Material	Number	Thread Type	Thread Pitch	Thread Length [mm]	SC
22104070101	Planet gear 1	1.305	42	91	91	Stahl					
22104070102	Support planet gear 1	0.324	65	35	35	Stahl					
22104070103	Grub screw (type II) support planet gear 1	0.002	6	6	14	Stahl	1	M6	1	n.a.	n.a.
22104070104	Guard plate planet gear 1	0.019	6	66	65	Stahl	2				
22104070105	Grub screw (type II) support planet gear 1	0.004	1	44	44	Stahl	2				
22104070106	Planet gear 2	0.006	40	5	5	Stahl	25				
22104070107	Planet gear 2	1.305	42	91	91	Stahl					
22104070108	Support planet gear 2	0.324	65	35	35	Stahl					
22104070109	Grub screw (type II) support planet gear 2	0.002	6	6	14	Stahl	1	M6	1	n.a.	n.a.
22104070110	Guard plate planet gear 2	0.019	6	66	65	Stahl	2				
22104070111	Grub screw (type II) support planet gear 2	0.004	1	44	44	Stahl	2				
22104070112	Planet gear 3	0.006	40	5	5	Stahl	25				
22104070113	Planet gear 3	1.305	42	91	91	Stahl					
22104070114	Support planet gear 3	0.324	65	35	35	Stahl					

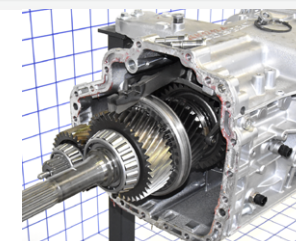
## ...トランスミッションのモデリング

- トランスミッションモデル
- カールスルーエ製品工学研究所 (IPEK) との影響変数の評価
- 代替鋼の資料の開発
- トランスミッション設計に影響を及ぼすハードとソフト要因の導出

## 5. サブシステムの重量配分

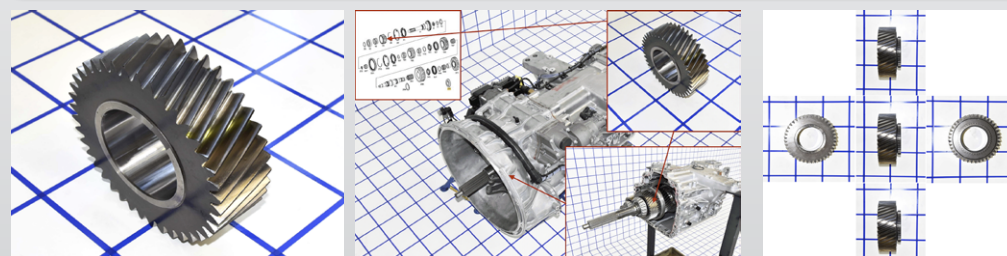


- トルクコンバーター
- 差動伝達トランスミッション
- 駆動軸
- 縦横ダイナミクス
- ブレーキシステム



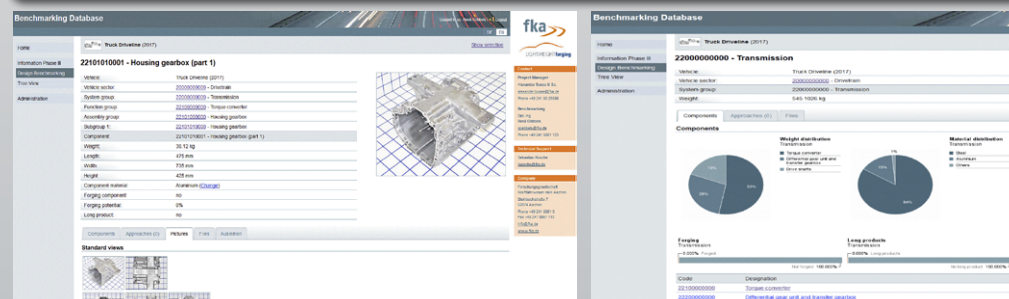
真空システム

## 6. 写真ドキュメンテーション



コンスタントドライブギア1  
ドライブシャフト1

## 7. データベース実施例



## 軽量デザイン可能性を引き出すこと

- 鍛造部品の軽量化ポテンシャルの確認すること
- 具体的な軽量デザイン提案の実施

## ドキュメンテーション

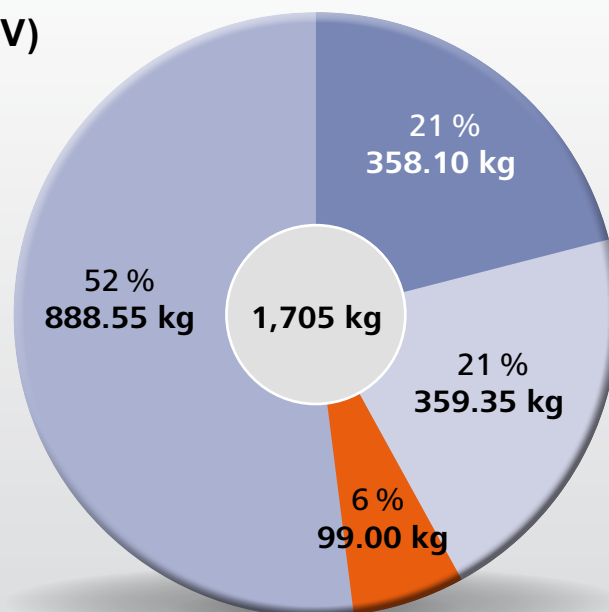
- 付随的なPowerPointプレゼンテーション
- オンライン・データベースの実施



# 重量配分：ハイブリッド車

引用車両：コンパクトな多目的乗用車 (SUV)

- ハイブリッド駆動システム  
システムパワー：145 kW (197 PS)
- バッテリー：1.6 kWh
- 最大速度：180 km/h
- グロース車両重量：2,205 kg

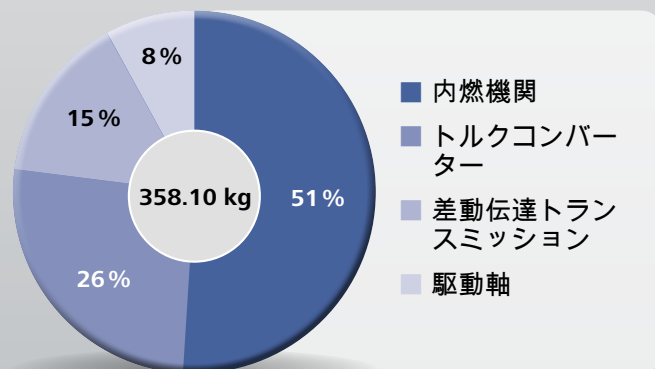


Analyzed Area:

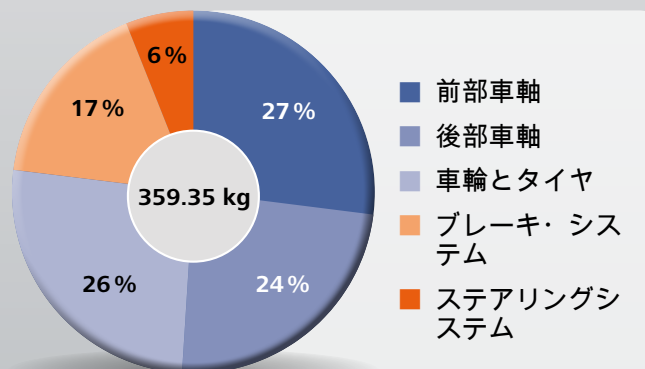
- パワートレイン
- シャーシ
- 電装部品
- ボディ、内装品、電子部品等

分析した車両部位の重さ分布

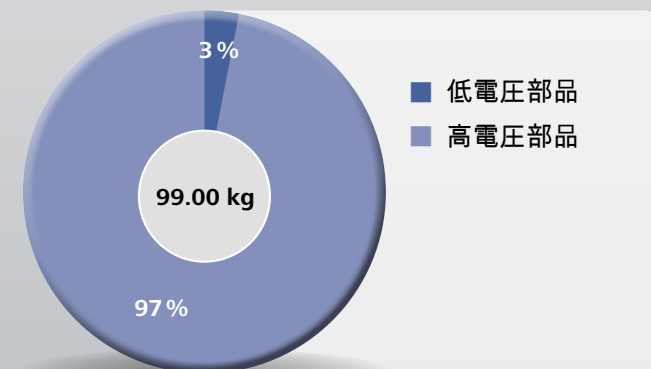
パワートレイン



シャーシ



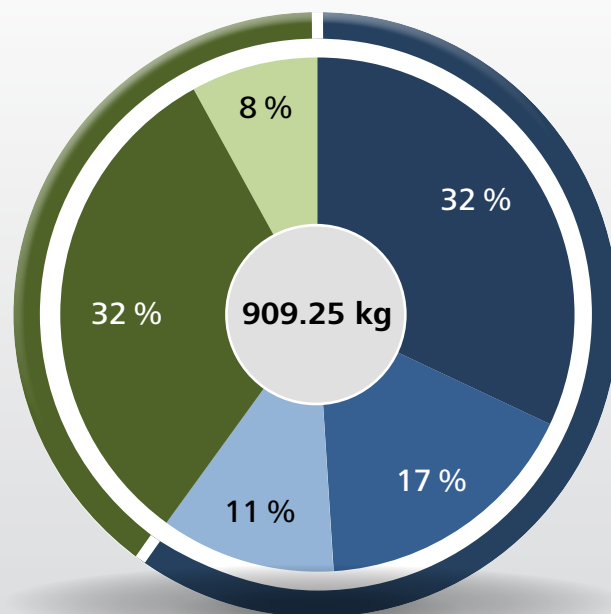
エレクトロニクス



# 重量配分：高積載商用車

## 引用サブシステム

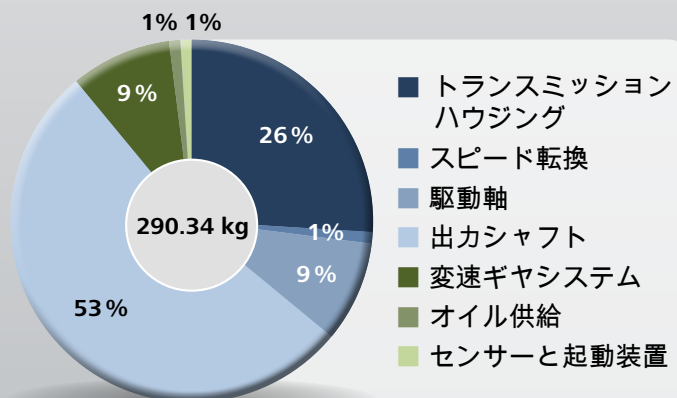
- トルクコンバーター
  - 12 個のギア
  - 290.34 kg
- リアサスペンション  
(含むプロペラ・シャフト)
  - 618.91 kg



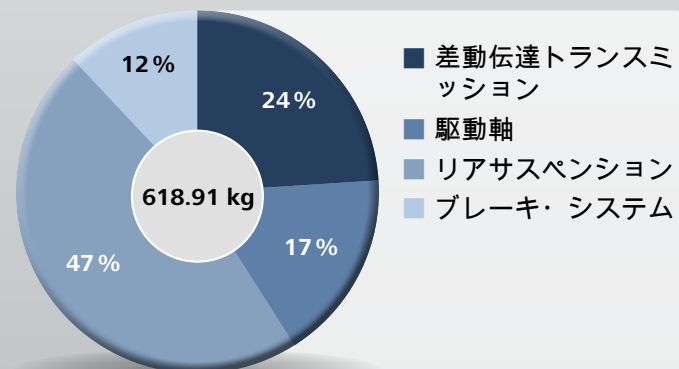
- パワートレイン
- シャーシ
- トルクコンバーター
- 差動伝達トランスミッション
- 駆動軸
- 縦横ダイナミクス
- ブレーキ・システム

## サブシステムの重さ分布

### トルクコンバーター



### リアサスペンション



# ワークショップ概要

ワークショップ  
80人の専門家と  
39社から

4,067の部品の解析  
ハイブリッド自動車と  
高積載商用車を  
合わせたサブシステムより

構成  
種々の軽量化範疇に分類  
される  
合計 983 個の軽量化鍛造

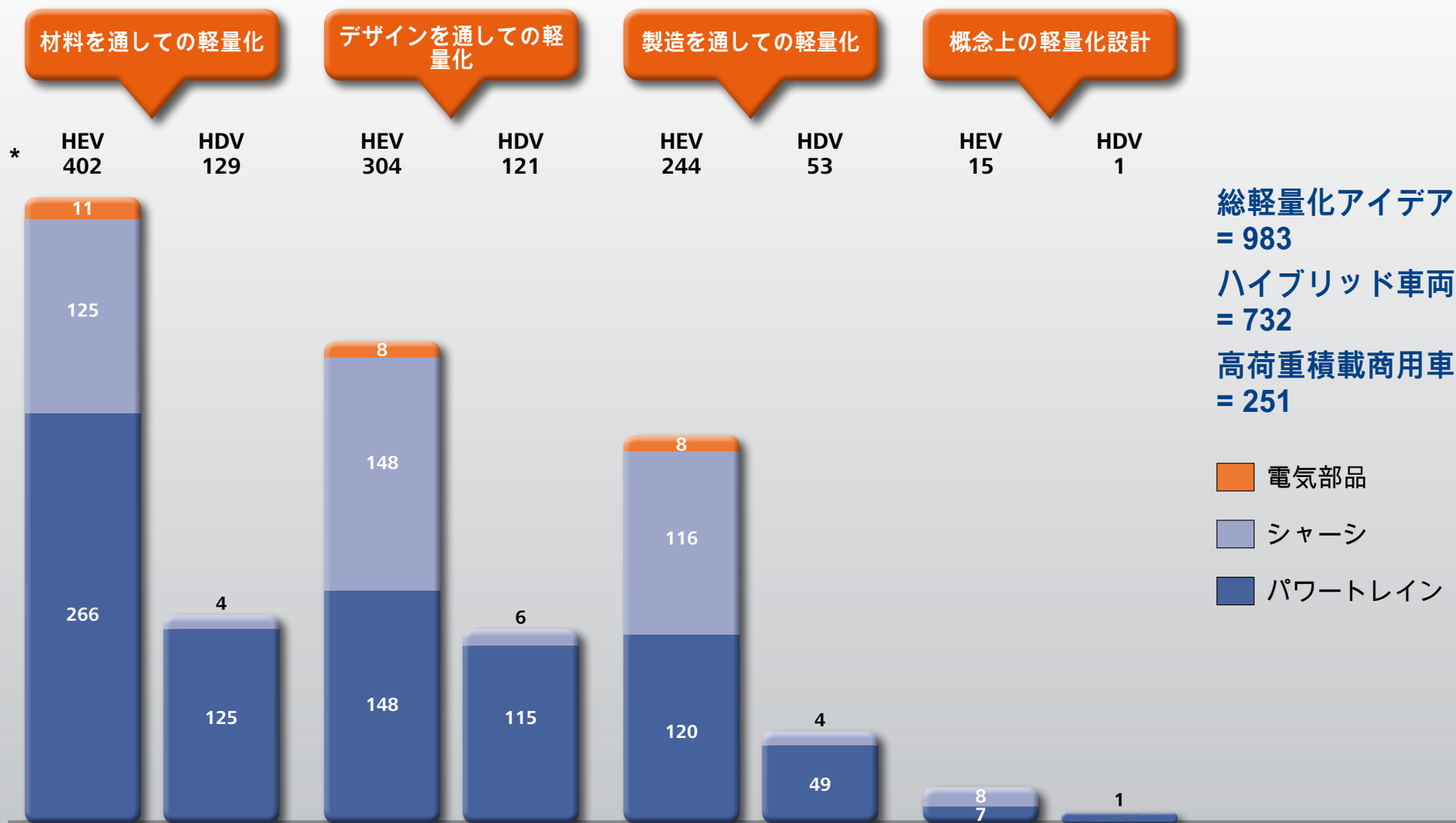
主要なドキュメンテーシ  
ョン  
ベンチマーキング・デー  
タベースの中の

## ワークショップからの印象





# 軽量化のためのアイデアの評価



総軽量化アイデア  
= 983  
ハイブリッド車両  
= 732  
高荷重積載商用車  
= 251

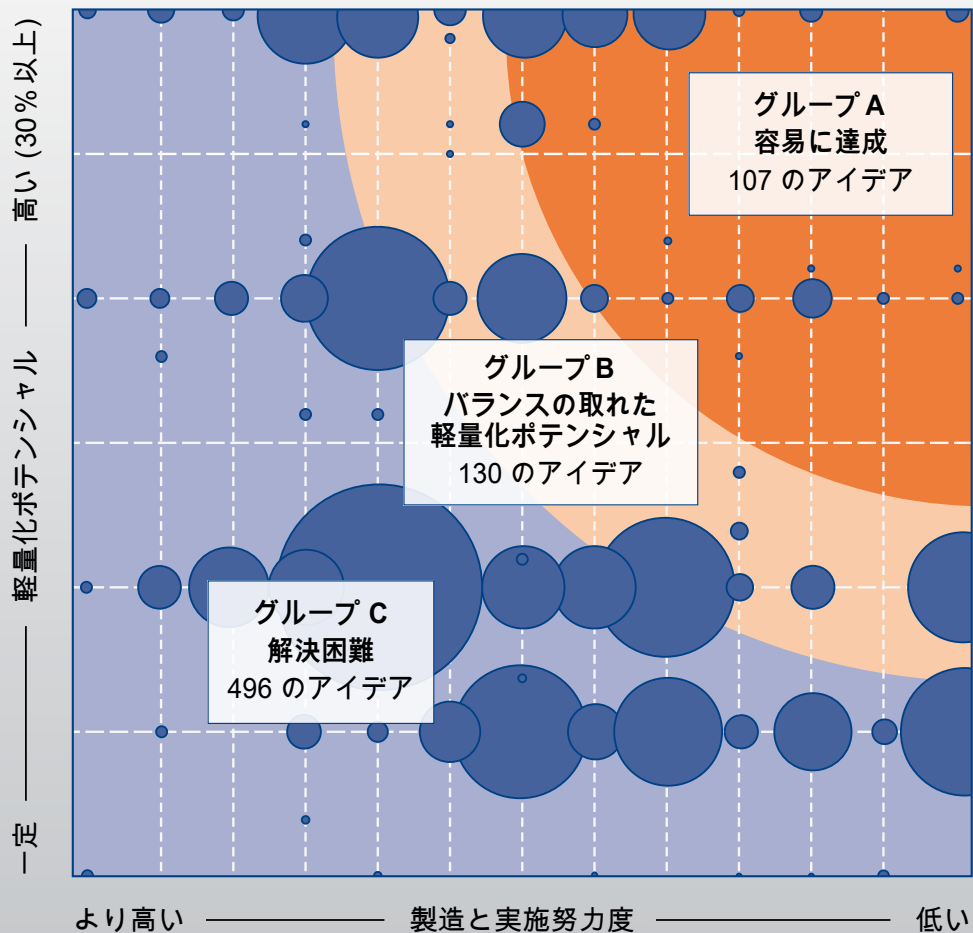
- 電気部品
- シャーシ
- パワートレイン

\* 軽量化設計のアイデアは、種々の軽量化範疇にしばしば割り当てられる。  
たとえば、新しい材料の使用は、採用される製造プロセスにつながるかもしれません。

# 軽量化アイデアのポートフォリオ・チャート

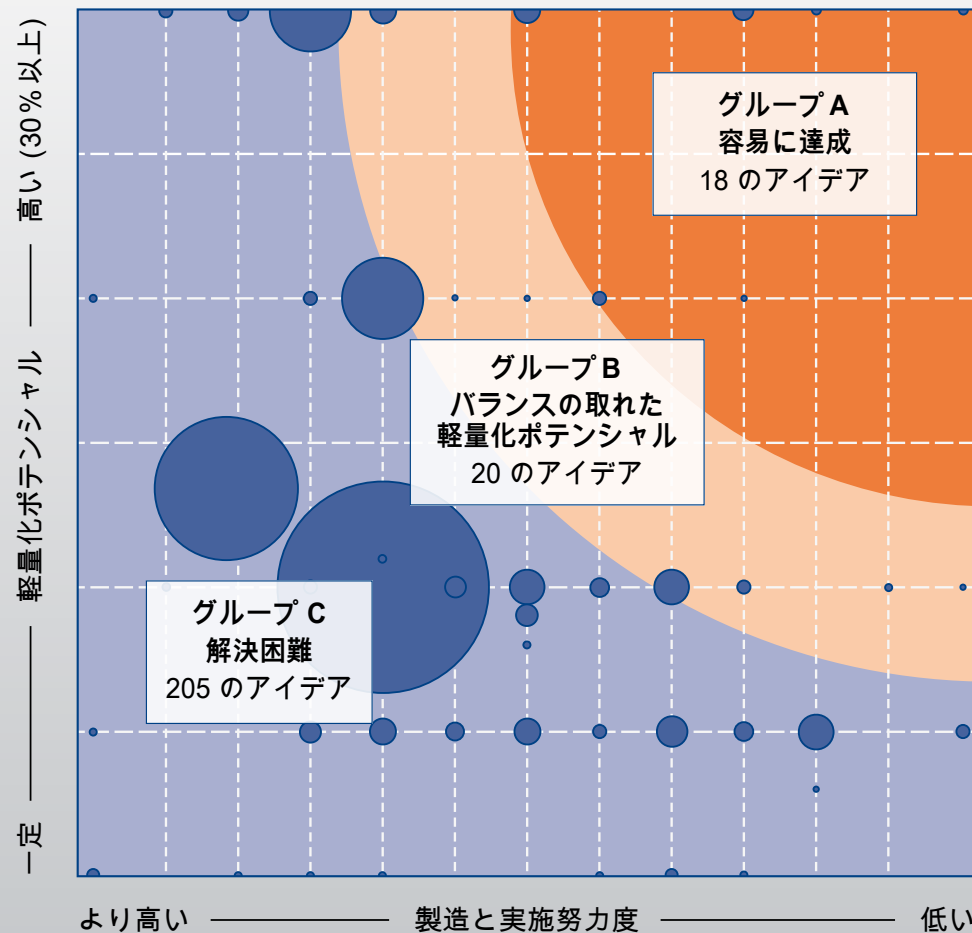
## ハイブリッド車 (HEV)

最適条件



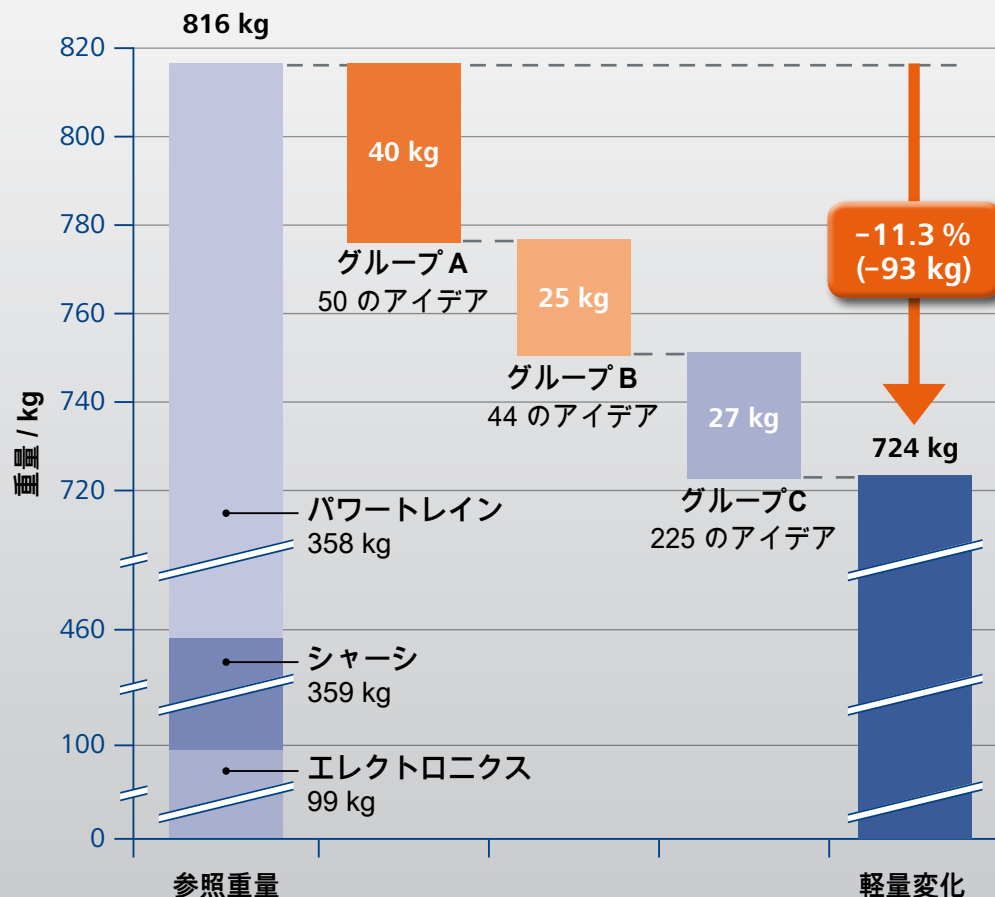
## 高積載商用車 (HDV)

最適条件

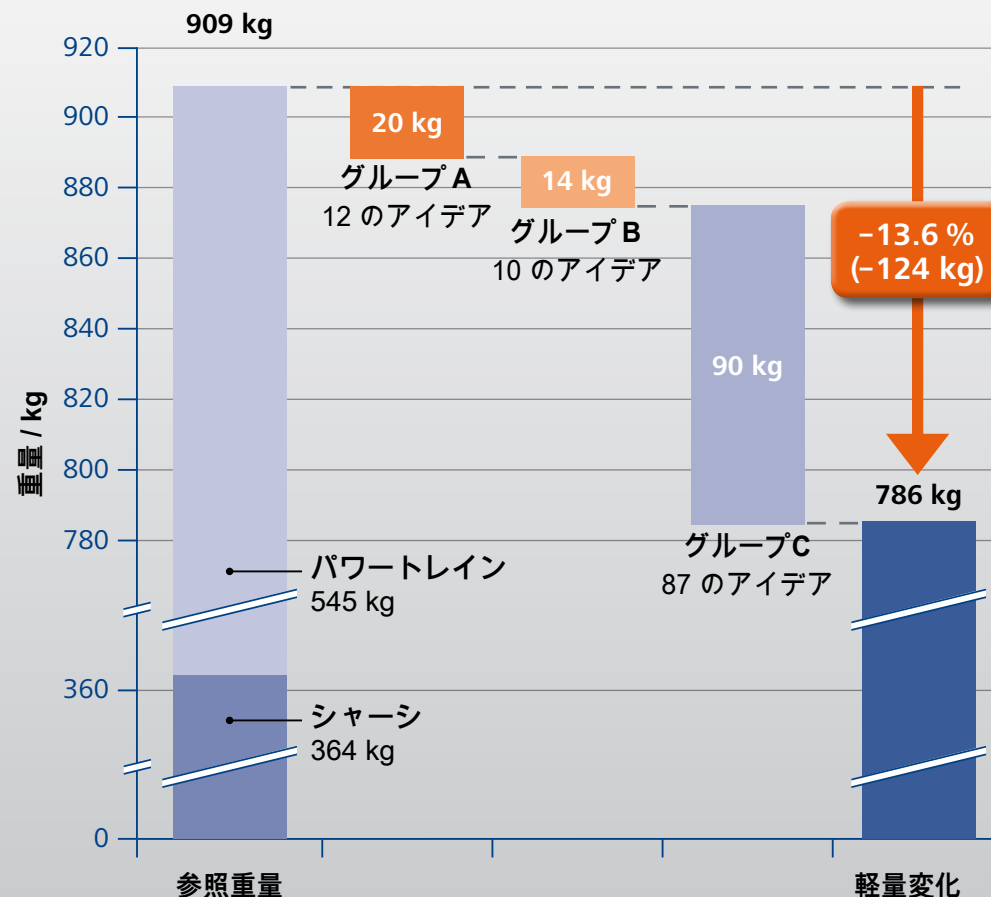


青塗りの円の大きさは、この点でアイデアの数を示します。

## ハイブリッド車 (HEV)



## 高積載商用車 (HDV)

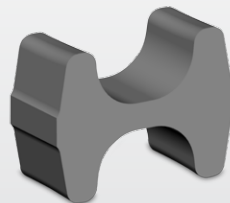


## 内燃機関

### 1. コンロッド

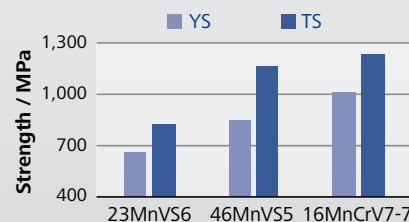
#### 量産品

- 23MnVS3
- m = 572 g



#### 軽量化提案

- コンロッド・シャフトの横断面の面積低減
- 46MnVS5:  $\Delta m = 51 \text{ g}$  (10%)
- 16MnCrV7-7:  $\Delta m = \sim 75 \text{ g}$  ( $\sim 15\%$ )



### 2. カムシャフト

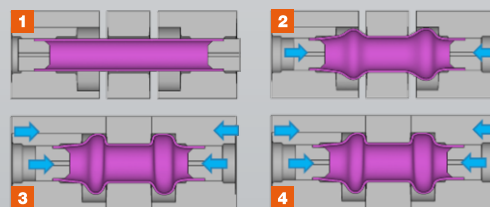
#### 量産品

- 鑄造中実シャフト
- m = 2,400 g



#### 軽量化提案

- パイプの内圧付与成形
- $\Delta m = 1,800 \text{ g}$  (400%)



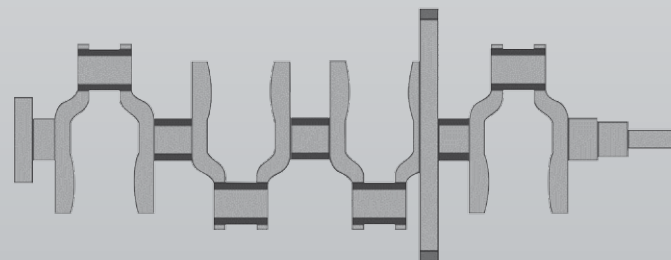
### 3. クランクシャフト

#### 量産品



#### 軽量化提案

- 材料提案 → 予想重量減は、 $\Delta m = 1,700 \text{ g}$  (11%)
  - SolamB1100
  - より高強度の 46MnVS5
  - 46MnVS6 またはベイナイト組織
  - 炭素量 0.5% の非調質鋼
  - 硫黄含有量の低減
- デザイン提案 →  $\Delta m = 5,100 \text{ g}$  (42%)
  - ポケットまたは空洞を付与した一体鍛造
  - 中空ベアリングピンを使いレーザー溶接で一体化



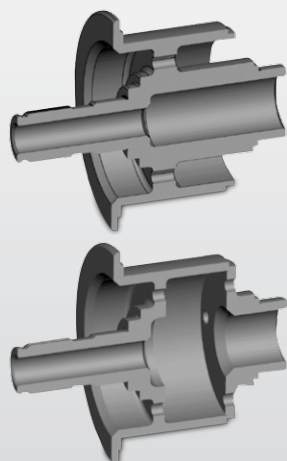


## 前部電気モーターとパワートレイン

### 4. ロータシャフト

#### 量産品

- 2 部品の一体化案：  
中空シャフトを外形フランジ付き  
内径部に圧入
- $m = 3,180 \text{ g}$



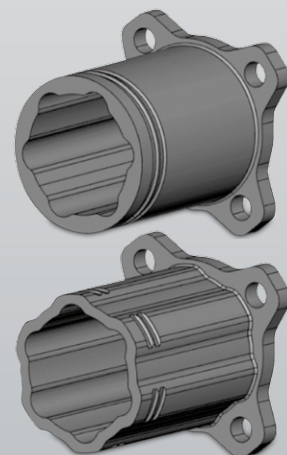
#### 軽量化提案

- 2 分割提案
- 右部ベアリングフランジ：  
レーザー溶接かやきばめ
- $\Delta m = 701 \text{ g} (29\%)$

### 5. トリポート

#### 量産品

- 円形輪郭筒形状
- $m = 957 \text{ g}$



#### 軽量化提案

- 鍛造による異形輪郭外形
- 50CrMnB5-3 (H50)
- $\Delta m = 156 \text{ g} (19\%)$

### 6. ドライブシャフト (駆動軸)

#### 量産品

- 棒材から機械加工
- $m = 2,160 \text{ g}$



#### 軽量化提案

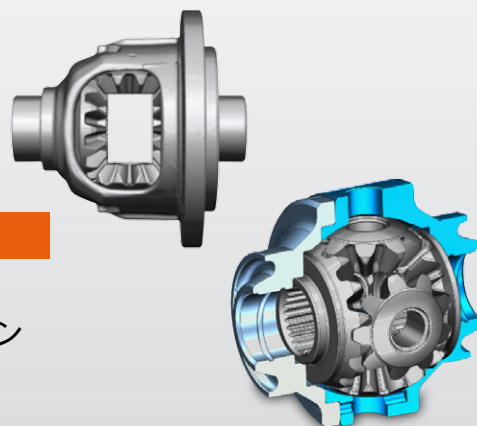
- 中空パイプのスエーシング加工
- 軸方向スプライン鍛造
- 資源の効果的な製造
- 機械加工なしで長さ方向に板厚分布付与
- 内径部のアンダーカット
- $\Delta m = 860 \text{ g} (66\%)$

## パワートレイン

### 7. 差動装置

#### 量産品

- 従来の鋳造ハウジング
- 4 輪差動装置
- m = 6,600 g



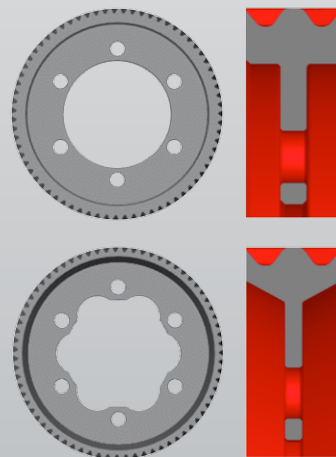
#### 軽量化提案

- 6 輪差動装置
- よりコンパクトなデザイン
- 溶接ハウジング
- $\Delta m = 3,630$  g (122%)

### 8. インプット ホイール

#### 量産品

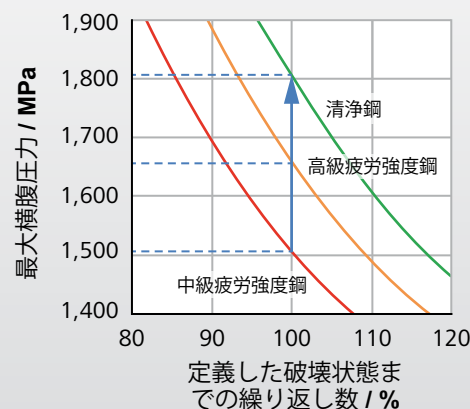
- 従来の丸い車輪で、側面は全切削
- m = 1,381 g



#### 軽量化提案

- 歯の支持部は異なる壁厚
- 輪郭ピアシング
- 16MnCrV7-7 (H2): 硬化性  $\uparrow$   $\rightarrow$  歯幅  $\downarrow$
- $\Delta m = 353$  g (34%)

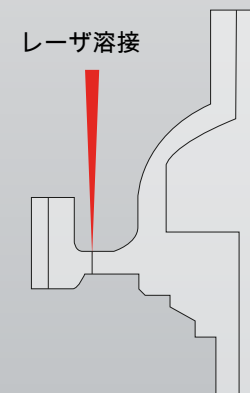
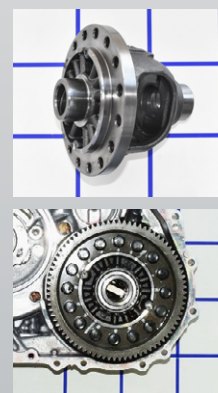
### 9. 歯車用材料



- 疲労に及ぼす鋼の清浄度の影響
- 酸化系介在物、特に性能低下を来すもの
- $\Delta m = 10 - 30\%$ 、部材の負荷条件と溶解時の清浄度レベルに依存する

### 10. 差動装置

#### 量産品

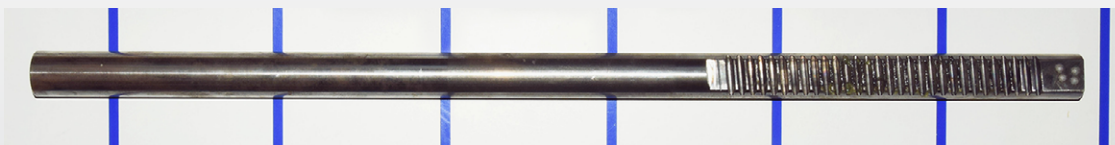


#### 軽量化提案

- ボルト締結からレーザー溶接への転換
- 重ね溶接の回避
- $\Delta m = \sim 1,000$  g ( $\sim 13\%$ )

## シャーシ - 1

### 11. ステアリング ラック

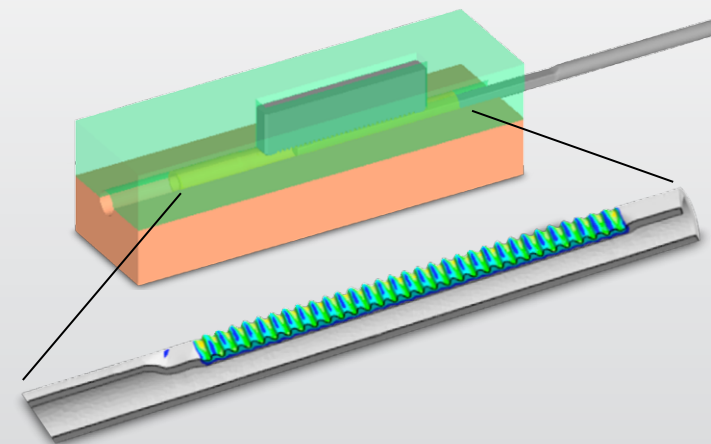


#### 量産品

- 中実棒
- 機械加工歯と誘導加熱焼入れ
- $m = 2,611 \text{ g}$

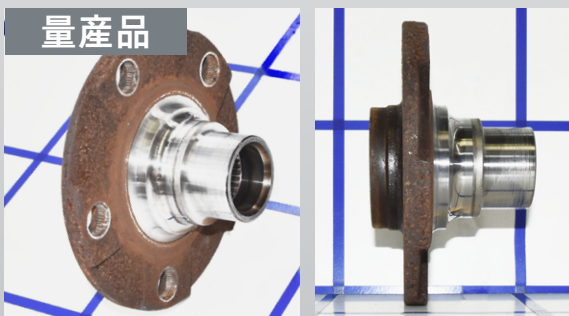
#### 軽量化提案

- パイプからの製造
- 歯形工具とマンドレルによる歯の鍛造
- $\Delta m = 1,338 \text{ g (95\%)}$



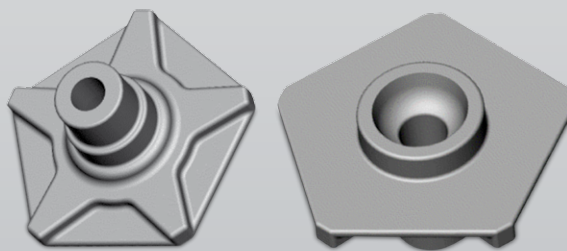
### 12. ホイールハブ

#### 量産品



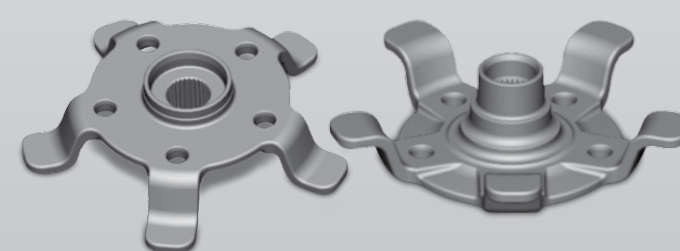
- 高周波焼入れ硬化鋼
- $m = 1,637 \text{ g}$

#### 軽量化提案 A



- 丸形でない輪郭形状
- 剛性増加構造
- $\Delta m = 436 \text{ g (36\%)}$

#### 軽量化提案 B



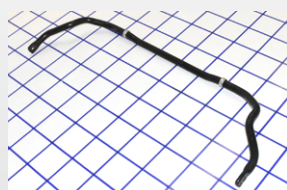
- ホイールハブへのブレーキディスクの直結
- ブレーキディスクはハット形でない
- $\Delta m = \sim 400 \text{ g (+より軽いブレーキディスク)}$

## シャーシ - 2

### 13. スタビライザー

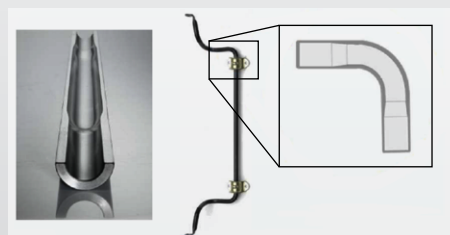
#### 量産品

- 一定壁厚によるチューブ
- $m = 3,880 \text{ g}$



#### 軽量化提案

- 様々な壁厚によるチューブ
- 角部で増加する厚み
- $\Delta m = 1,550 \text{ g}$  (66.5%)



### 15. ダンパー ストラット ベアリング

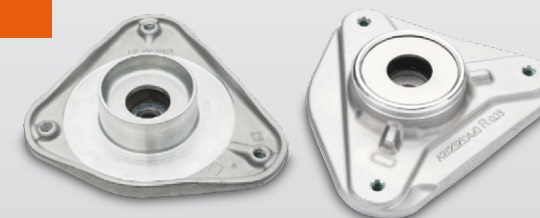
#### 量産品

- ラバーベアリングと繋がる数枚の鋼のシートから成る部品
- $m = 960 \text{ g}$



#### 軽量化提案

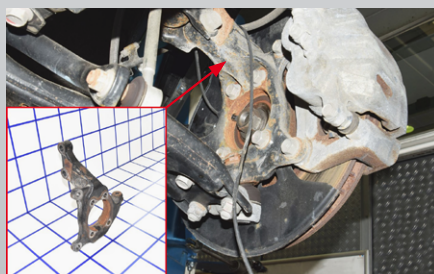
- アルミニウム鍛造
- 圧着ゴムベアリング
- $\Delta m = \sim 200 \text{ g}$  ( $\sim 25\%$ )



### 14. ステアリング ナックル

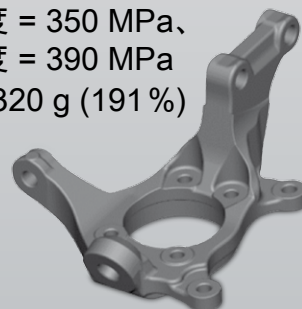
#### 量産品

- 鋳鉄
- $m = 5,060 \text{ g}$



#### 軽量化提案

- 鍛造加工されたアルミニウム
- 降伏強度 = 350 MPa、引張強度 = 390 MPa
- $\Delta m = 3,320 \text{ g}$  (191%)



### 16. 後部トランスバース ストラット

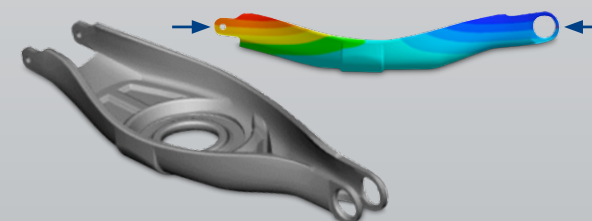
#### 量産品

- 深絞りシート部と板金曲げ部品の溶接接合設計
- $m = 3,080 \text{ g}$



#### 軽量化提案

- アルミニウム鍛造 (現状、簡略化形状)
- 縦方向に +4% の剛性アップ
- $\Delta m = 310 \text{ g}$  (11%)



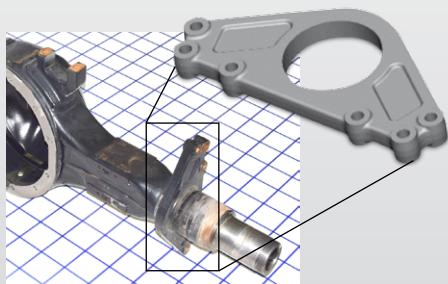


## 高荷重積載車両の軽量可能性

### 17. ブレーキ キャリヤー : リア アクスル

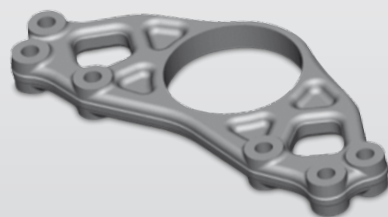
#### 量産品

- 鍛造
- $m = 10,320 \text{ g}$



#### 軽量化提案

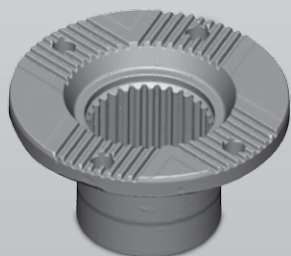
- 線条細工構造と打ち抜きによる鍛造
- $\Delta m = 2,320 \text{ g} (29\%)$



### 18. コネクティング フランジ : プロペラシャフト

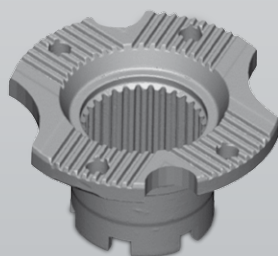
#### 量産品

- 量産重量  
 $m = 4,000 \text{ g}$



#### 軽量化提案

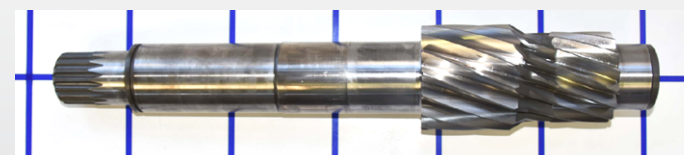
- 低負荷荷重部の部材面積の減少
- $\Delta m = 420 \text{ g} (11.7\%)$



### 19. カウンタシャフト トランスミッション

#### 量産品

- 中実棒
- $m = 23,990 \text{ g}$



#### 軽量化提案

- チューブのスエーピング加工による中空軸
- $\Delta m = 6,540 \text{ g} (37.5\%)$



### 20. ファスナー

#### 量産品



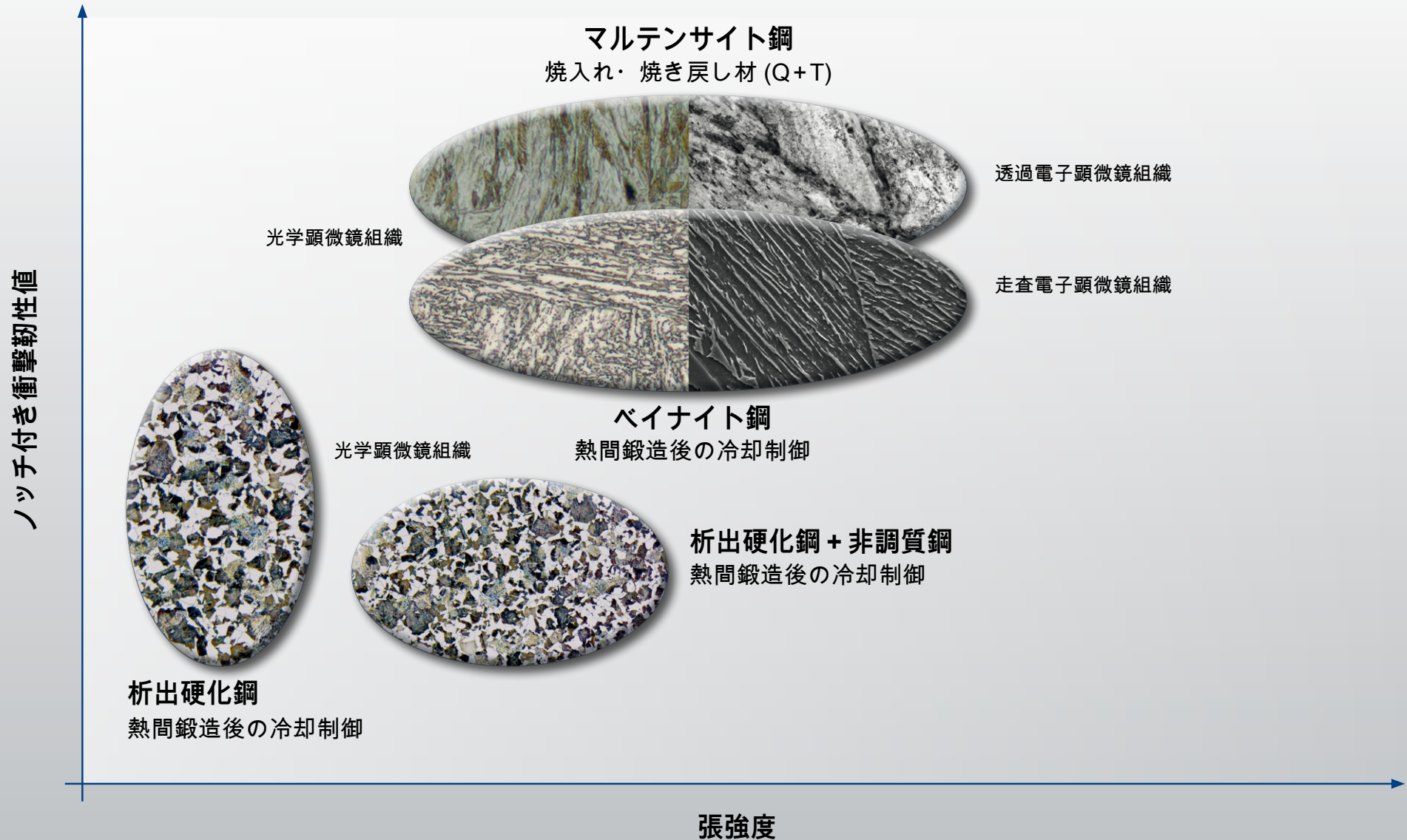
#### 軽量化提案

- 強度 15.9T 使用によるダウンサイジング
  - 頭部の軽量化
  - $\Delta m_{\text{(ハイブリッド)}} = 5,600 \text{ g}$
  - $\Delta m_{\text{(高荷重積載車両)}} = 1,600 \text{ g}$
- 
- 
- M10

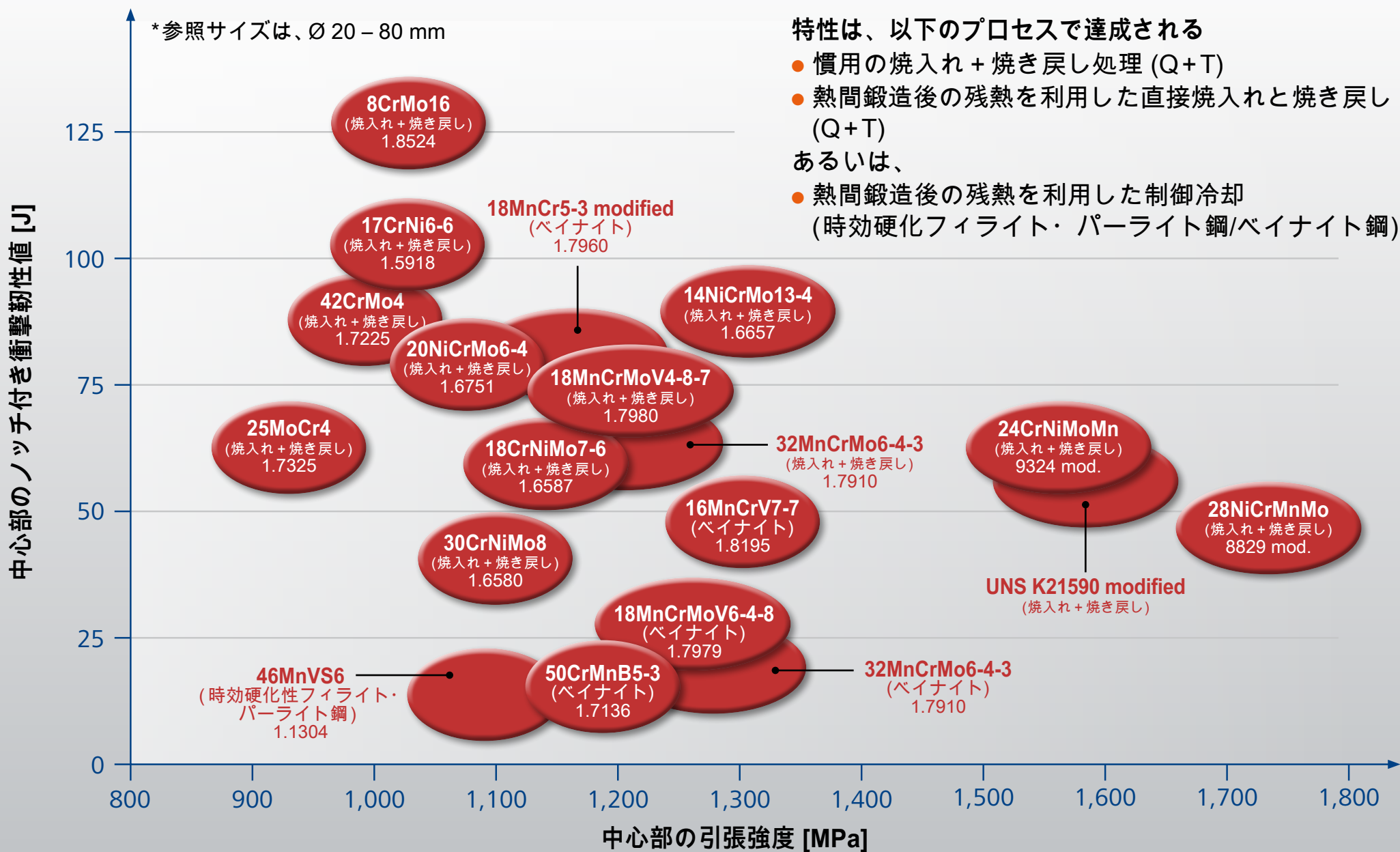
## 広い範囲の品質と特殊鋼—高強度・高靱性鋼

- ▶ 幅広い鋼種の存在は、製品に適した部品設計につながります
- ▶ 高強度と高靱性の組み合わせは、材料選択による軽量化につながる
- ▶ 材料の系統図は、目標とされる製品に基づく選択を可能にします

## 棒材のミクロ組織に依存した強度と靱性

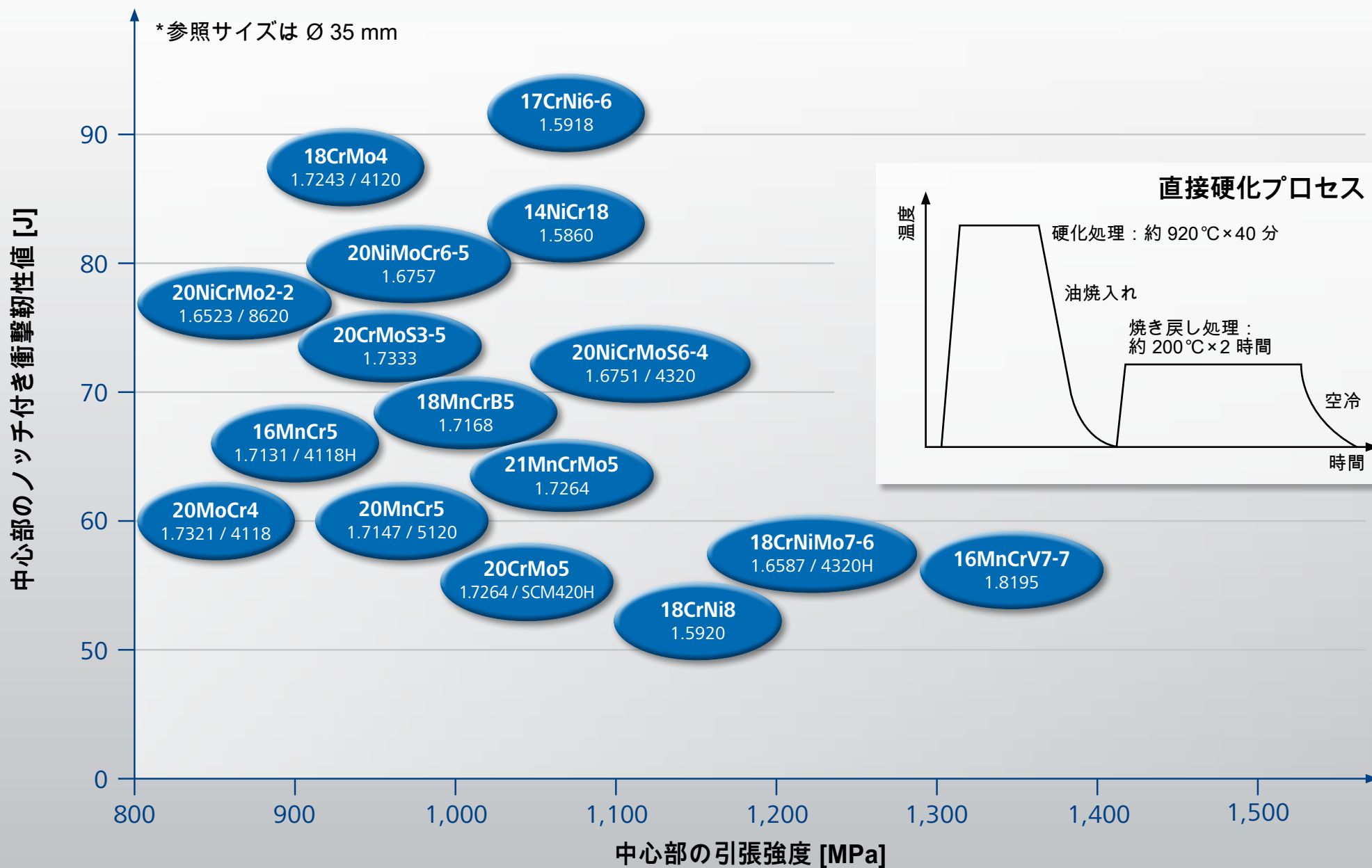


# 高強度特殊鋼の材料系図\*

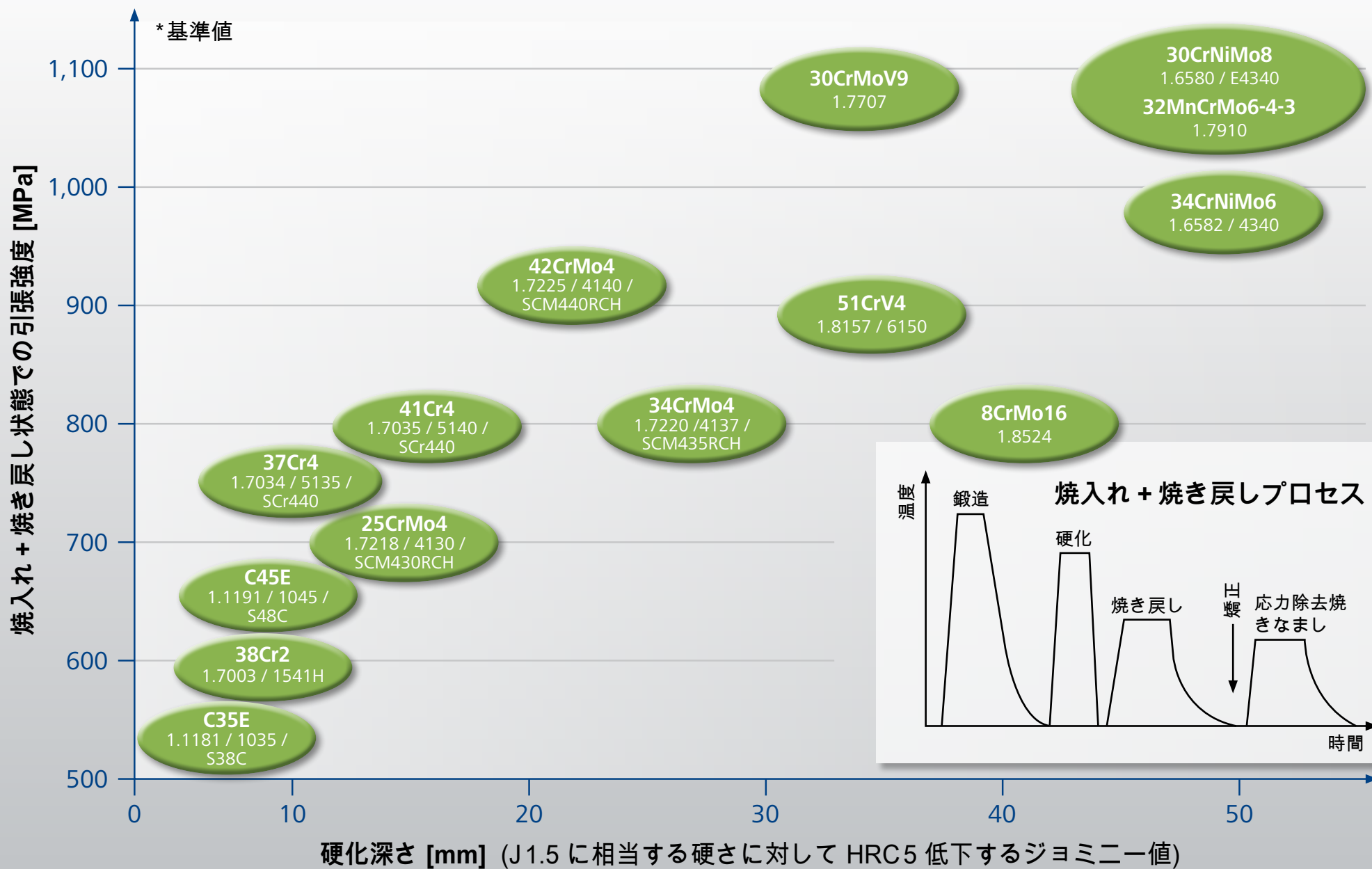




# ”表面硬化鋼”の材料系図



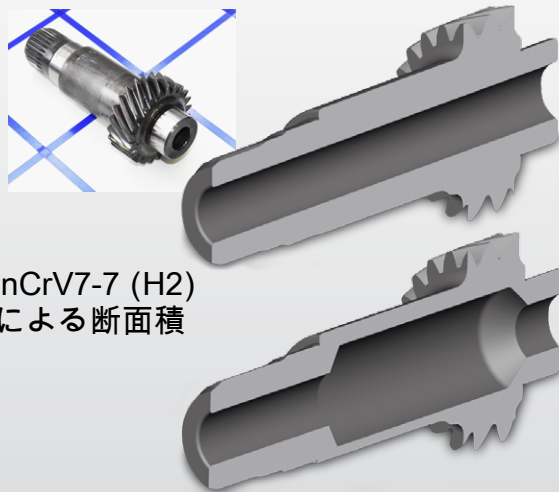
# “焼入れ + 焼き戻し鋼”の材料系図\*



## 1. ドライブシャフト ディファレンシャル

### 量産

- 浸炭用鋼 SCr420H
- m = 1,182 g



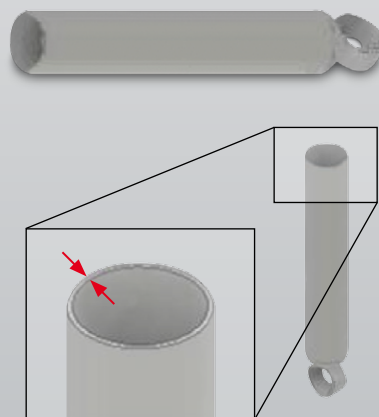
### 可能性

- 高強度浸炭用鋼 16MnCrV7-7 (H2) と改善した製造技術による断面積の縮小を可能
- m = 875 g
- $\Delta m = 307$  g (35%)

## 2. 緩衝装置 (ショックアブソーバー)

### 量産

- チューブ鋼管 (例えば E235 (1.0308))
- 壁厚 2.8 mm
- m = 1,054 g



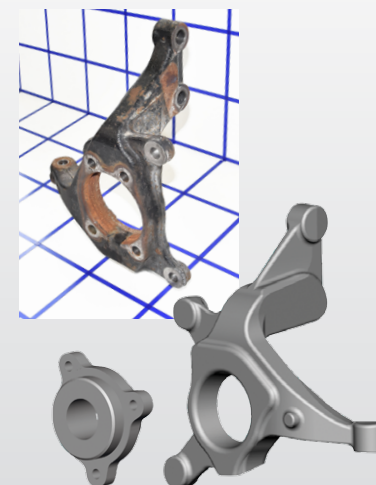
### 可能性

- 高強度チューブ FB590 の採用
- 壁厚 2.0 mm
- m = 804 g
- $\Delta m = 250$  g (31%)

## 3. ホイールキャリヤー : フロントレフト

### 量産

- 鋳鉄 (TS = 400 – 600 MPa)
- m = 5,060 g



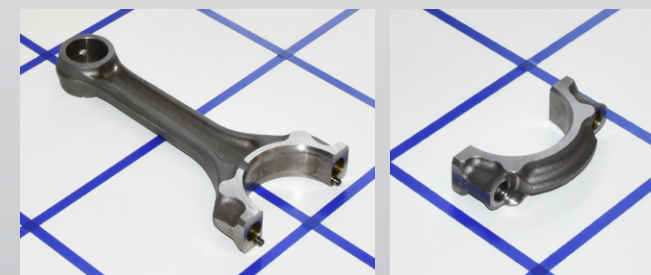
### 可能性

- フェライトパーライト鋼またはベイナイト鋼の鍛造
- TS = 1,100 MPa
- m  $\approx$  4,100 g
- $\Delta m \approx 960$  g (23%)

## 4. コンロッド

### 量産

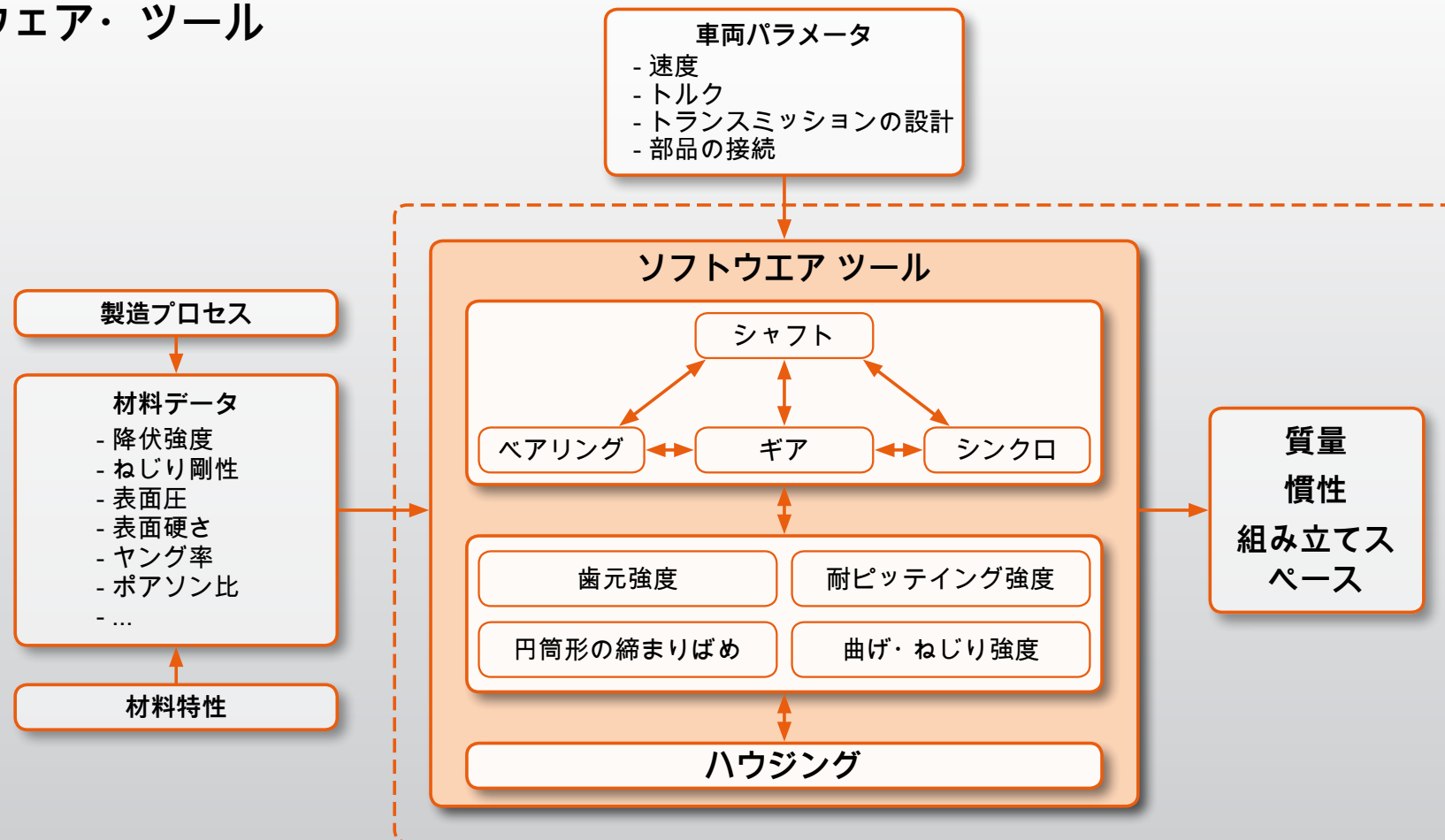
- 23MnVS3
- m = 572 g



### 可能性

- 高強度鋼 36/46MnVS6Mod  $\rightarrow \Delta m \approx 35\%$
- 他の高強度鋼 : 27/30/38 の MnVS6 または類似物; 16MnCrV7-7, S40C+P

## ソフトウェア・ツール



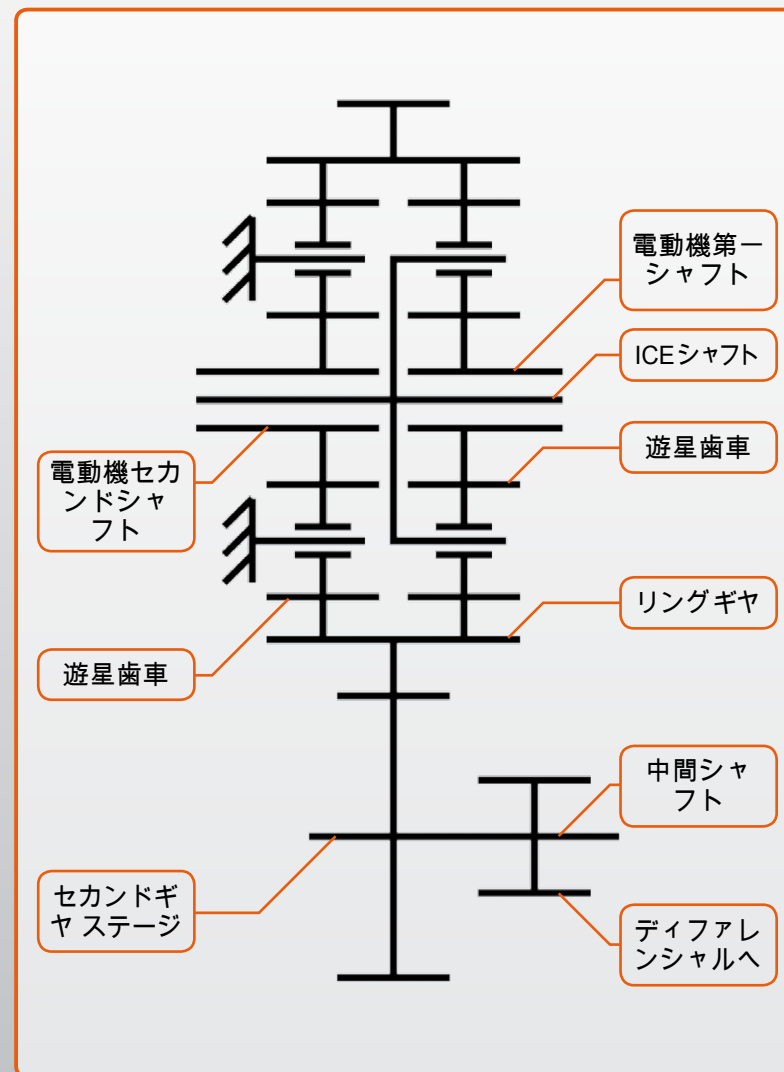
- DIN 743 に従うシャフトの寸法
- DIN 3990 に従う歯車の寸法
- VDI 2157 に従う遊星ギアの寸法
- DIN 7190 に従う円筒形の締め代の寸法



## ソフトウェア ツール

- ラフな設計モデルの開発 / トランスミッション設計と重量
- モデルの創成と以下に対する検証：
  - e-ハイブリッドCVT、SCr420H、SCM420H (25CrMo4と類似)
  - 12速トラックトランスミッション、25MoCrS4、30MnSiV6、20MoCrS4
- トランスミッション寸法出しのための材料特性の影響変数の評価
- 高強度鋼の現実的な影響の試験
- トランスミッション標準 ISO 6336、Part 5 からの「弱影響因子」の評価

## 電子式ハイブリッド CVT の機能的な配置



## ソフトウェア・ツール：電子式ハイブリッド CVT

### Software Tool planetary gearbox

**Input variables**

**Dimension gear wheels**

$\sigma_{p0}$	Permitted pitting resistance	1500	1500	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_s$	Permitted tooth strenght	1000	1000	N/mm <sup>2</sup>
E	E-Modul gear wheels	208000	208000	N/mm <sup>2</sup>

**Dimension gear shafts**

$T_{sw}$	Permitted swelling torsional tension	270	270	N/mm <sup>2</sup>
$T_{sb}$	Permitted bending fatigue strength	450	450	N/mm <sup>2</sup>

**Engine parameters**

Power combustion engine	114	kW
Power electric engine	105	kW
Power generator	50	kW
Input torque: petrol engine	208	Nm
Input torque: electric engine	270	Nm
Input torque: generator	135	Nm
Input speed at maximum power of the combustion engine	4500	1/min

**Total weight of the gear box**

Weight of the reference gear box	104,1	kg
Weight of the optimized gear box	104,1	kg
Weight saving in kg	0,000	kg
Weight savin in %	0,000	%

**Inertia of the shafts and gear wheels**

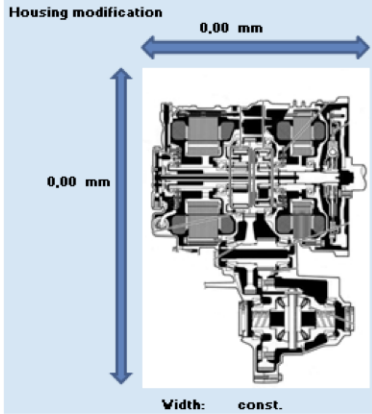
Inertia of the reference gear box	0,0019	kg*m <sup>2</sup>
Inertia of the optimized gear box	0,0019	kg*m <sup>2</sup>
Inertia saving in kg*m <sup>2</sup>	0,000	kg*m <sup>2</sup>
Inertia saving in %	0,000	%

**Shaft length**

	reference	optimized	saving	
VKM-shaft	173,5	173,50	0,00	mm
MG1-shaft	85	85,00	0,00	mm
MG2-shaft Inside	170	170,00	0,00	mm
MG2-shaft Outside	76	76,00	0,00	mm
Hollow wheel shaft	81	81,00	0,00	mm
Intermediate shaft	143	143,00	0,00	mm

GT: pitting resistance (flank pressure)  
ZT: tooth strenght (tooth root tension)

**Housing modification**




**Total weight change 0,000 kg**

**Housing weight**

	reference	optimized	saving	
Width	550	550,00	0,00	mm
Length	435,00	435,00	0,00	mm
Height	405,00	405,00	0,00	mm
Weight	26,833	26,833	0,000	kg

**shaft weight**

	reference	optimized	saving	
VKM-shaft	0,674	0,674	0,000	kg
MG1-shaft	1,298	1,298	0,000	kg
MG2-shaft Inside	0,966	0,966	0,000	kg
MG2-shaft Outside	1,160	1,160	0,000	kg
Hollow wheel shaft	3,209	3,209	0,000	kg
Intermediate shaft	1,151	1,151	0,000	kg



**Institut für Produktentwicklung**  
am Karlsruher Institut für Technologie

**Input Values:**

- pitting resistance
- tooth root stress
- E module
- torsional tension, pulsating
- bending fatigue strength
- power
- torque
- rotational speed

**Output Values:**

- Transmission weight
- Reduction in transmission weight

**Output Values:**

- Transmission width
- Transmission height
- Transmission length
- Reduction in transmission geometry

**Output Values:**

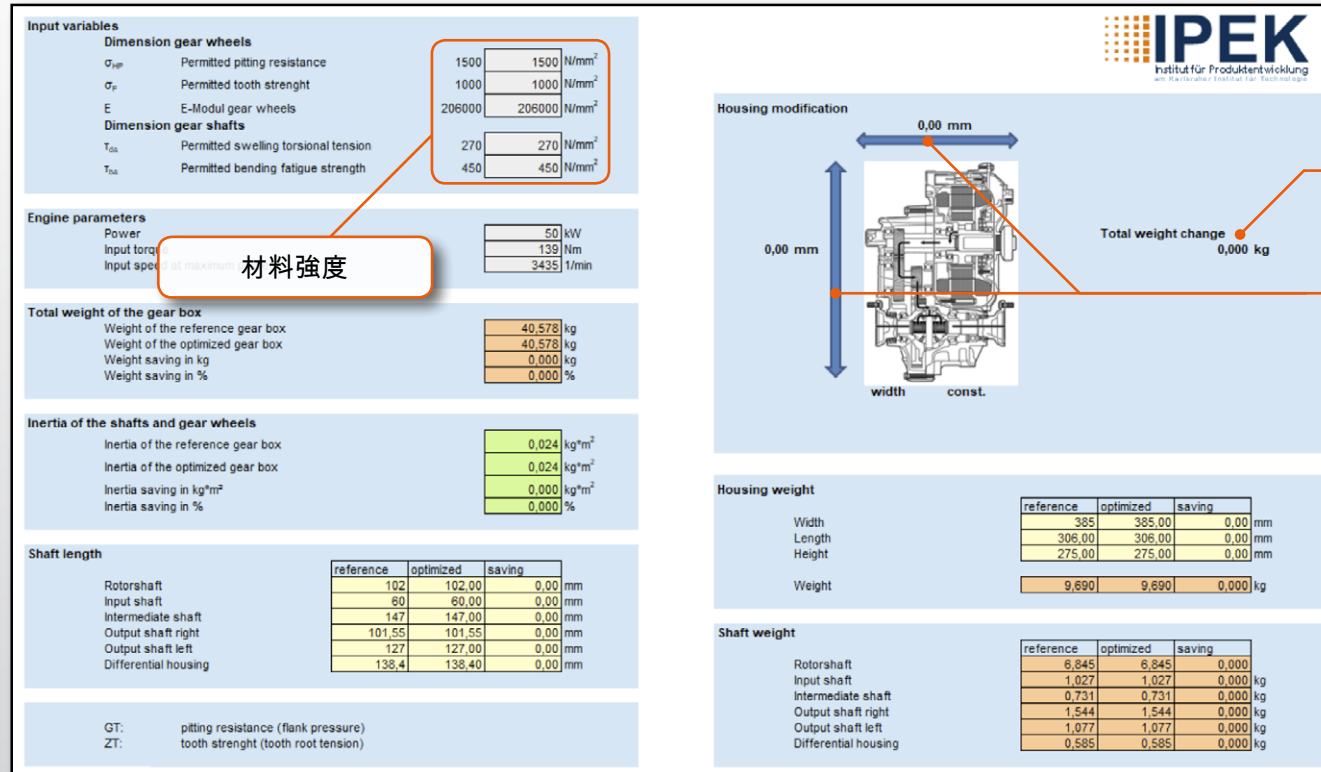
- inertia
- Reduction in transmission inertia

**Gear wheel width**

	sun gear 1	planetary gear	ring gear 1	sun gear 2	planetary gear	ring gear 2	GS1_Z1	GS1_Z2	GS2_Z1	GS2_Z2	
Reference gear box	30,00	28,50	29,50	21,00	17,20	23,00	25,00	25,00	38,70	33,00	mm
Optimized gear box	30,00	28,50	29,50	21,00	17,20	23,00	25,00	25,00	38,70	33,00	mm
Width savings	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	mm
Dimension after	GT	GT	ZT	GT	GT	ZT	ZT	ZT	ZT	ZT	

**Gear wheel mass**

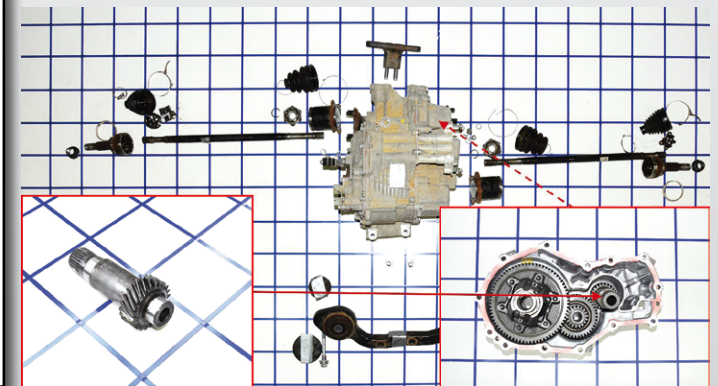
	sun gear 1	planetary gear	ring gear 1	sun gear 2	planetary gear	ring gear 2	GS1_Z1	GS1_Z2	GS2_Z1	GS2_Z2	
Reference gear box	0,262	0,785	0,222	0,209	0,267	0,131	0,585	2,300	1,604	3,580	kg
Optimized gear box	0,262	0,785	0,222	0,209	0,267	0,131	0,585	2,300	1,604	3,580	kg
Mass savings	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	kg



## リアアクスルトランスミッション

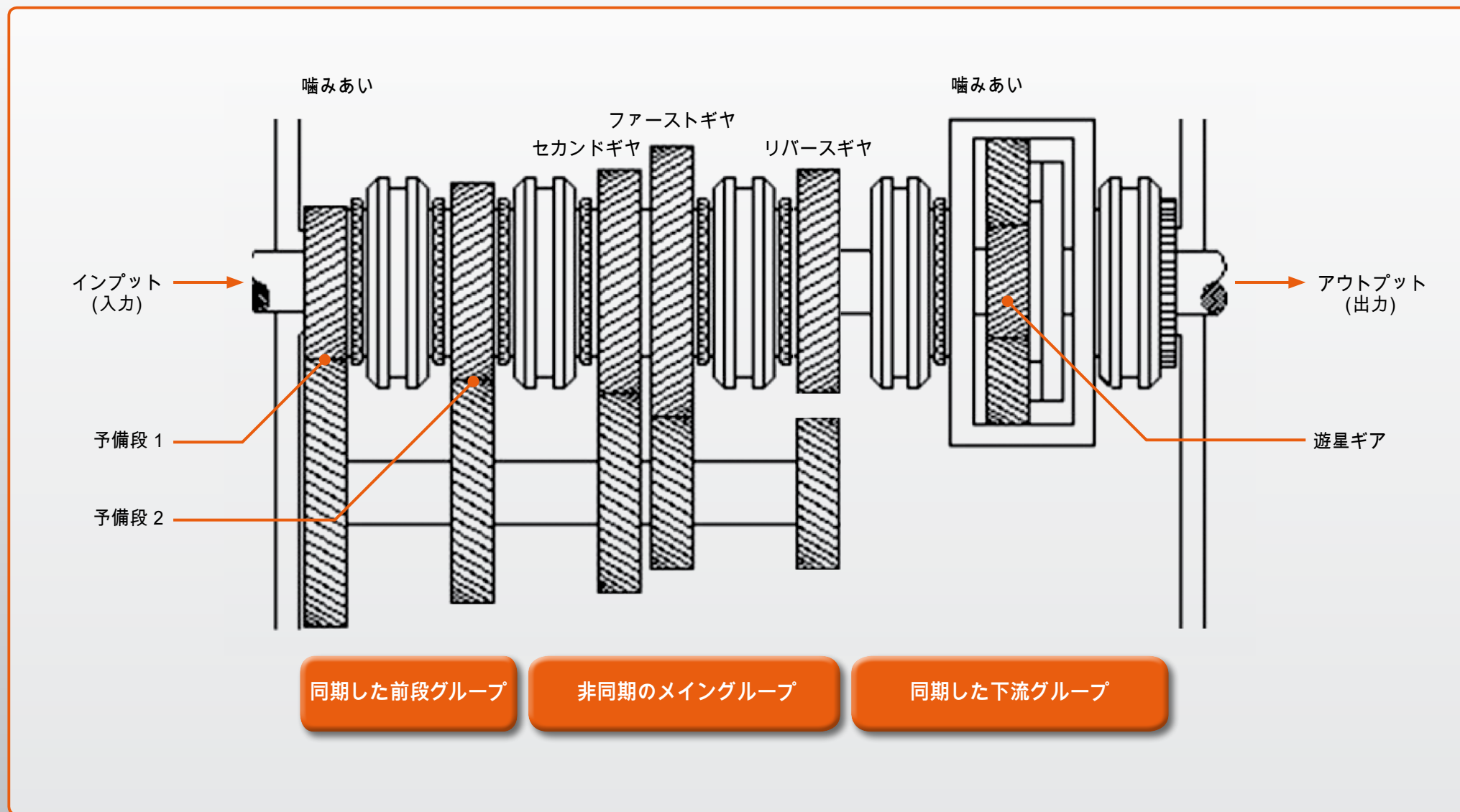
材料特性に依存した重量変化

材料特性に依存した寸法変化



歯面強度 / MPa	歯元強度 / MPa	パルスねじり強度 / MPa	曲げ疲労強度 / MPa	重量減 / g
1,500 → 1,800	1,000	270	450	-129
1,500 → 1,800	1,000 → 1,200	270	450	-1,216
1,500 → 1,800	1,000 → 1,200	270 → 324	450	-1,722
1,500 → 1,800	1,000 → 1,200	270 → 324	450 → 540	-1,875

## 高積載商用車トランスミッションの機能的な配置





## ソフトウェア ツール : 高積載商用車 トランスミッション

### ソフトウェア ツール 商用車

**Input variables**

**Dimension gear wheels**

$\sigma_{p0}$	Permitted pitting resistance	1500	1500	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_s$	Permitted tooth strenght	1000	1000	N/mm <sup>2</sup>
E	E-Modul gear wheels	206000	206000	N/mm <sup>2</sup>

**Dimension gear shafts**

$T_{sw}$	Permitted swelling torsional tension	430	430	N/mm <sup>2</sup>
$T_{sb}$	Permitted bending fatigue strength	450	450	N/mm <sup>2</sup>

**Engine parameters**

Input torque	3300	Nm
Input speed at maximum power	2000	1/min

**Total weight of the gear box**

Weight of the reference gear box	283,3	kg
Weight of the optimized gear box	283,3	kg
Weight saving in kg	0,0	kg
Weight savin in %	0,0	%

**Inertia of the shafts and gear wheels**

Inertia of the reference gear box	0,143	kg*m <sup>2</sup>
Inertia of the optimized gear box	0,143	kg*m <sup>2</sup>
Inertia saving in kg*m <sup>2</sup>	0,000	kg*m <sup>2</sup>
Inertia saving in %	0,0	%

**Shaft length**

	reference	optimized	saving	
Input shaft	446,50	446,50	0,00	mm
Forward shaft	544,00	544,00	0,00	mm
Forward 1+2	165,00	165,00	0,00	mm
Forward 3	128,00	128,00	0,00	mm
Intermediate shaft	517,00	517,00	0,00	mm
Planetary shaft	64,50	64,50	0,00	mm
Reversal of rotation	118,50	118,50	0,00	mm
Output shaft	288,00	288,00	0,00	mm

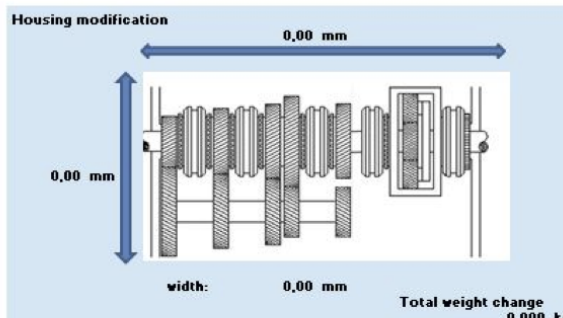
GT: pitting resistance (flank pressure)  
ZT: tooth strenght (tooth root tension)

**Gear wheel width**

	Vor1 Z1	Vor1 Z2	Vor2 Z1	Vor2 Z2	G3 Z1	G3 Z2	G4 Z1	G4 Z2	R1	R2	R3	sun gear	planetary gear	ring gear
Reference gear box	56,50	56,00	54,50	54,00	61,50	61,50	80,00	77,00	53,00	49,00	48,00	44,00	42,00	50,00
Optimized gear box	56,50	56,00	54,50	54,00	61,50	61,50	80,00	77,00	53,00	49,00	48,00	44,00	42,00	50,00
Width savings	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dimension after	GT	GT	GT	GT	GT	ZT	GT	ZT	GT	GT	ZT	GT	GT	ZT

**Gear wheel mass**

	Vor1 Z1	Vor1 Z2	Vor2 Z1	Vor2 Z2	G3 Z1	G3 Z2	G4 Z1	G4 Z2	R1	R2	R3	sun gear	planetary gear	ring gear
Reference gear box	8,08	3,42	5,76	5,10	1,53	7,78	1,21	12,58	0,46	3,10	6,34	0,78	1,31	4,60
Optimized gear box	8,08	3,41	5,76	5,10	1,53	7,78	1,21	12,58	0,46	3,10	6,34	0,78	1,30	4,60
Mass savings	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



**Housing modification**

0,00 mm

0,00 mm

width: 0,00 mm

Total weight change 0,000 kg

**Housing weight**

	reference	optimized	saving	
Width	558	558,00	0,00	mm
Length	917,00	917,00	0,00	mm
Height	550,00	550,00	0,00	mm
Weight	72,120	72,120	0,000	kg

**Shaft weight**

	reference	optimized	saving	
Input shaft	9,51	9,51	0,00	kg
Forward shaft	16,42	16,42	0,00	kg
Forward 1+2	3,18	3,18	0,00	kg
Forward 3	3,49	3,49	0,00	kg
Intermediate shaft	14,81	14,81	0,00	kg
Planetary shaft	0,33	0,33	0,00	kg
Reversal of rotation	0,47	0,47	0,00	kg
Output shaft	21,30	21,30	0,00	kg

**Input Values:**

- pitting resistance
- tooth root stress
- E module
- torsional tension, pulsating
- bending fatigue strength
- torque
- rotational speed

**Output Values:**

- Transmission weight
- Reduction in transmission weight

**Output Values:**

- Transmission width
- Transmission height
- Transmission length
- Reduction in transmission geometry

**Output Values:**

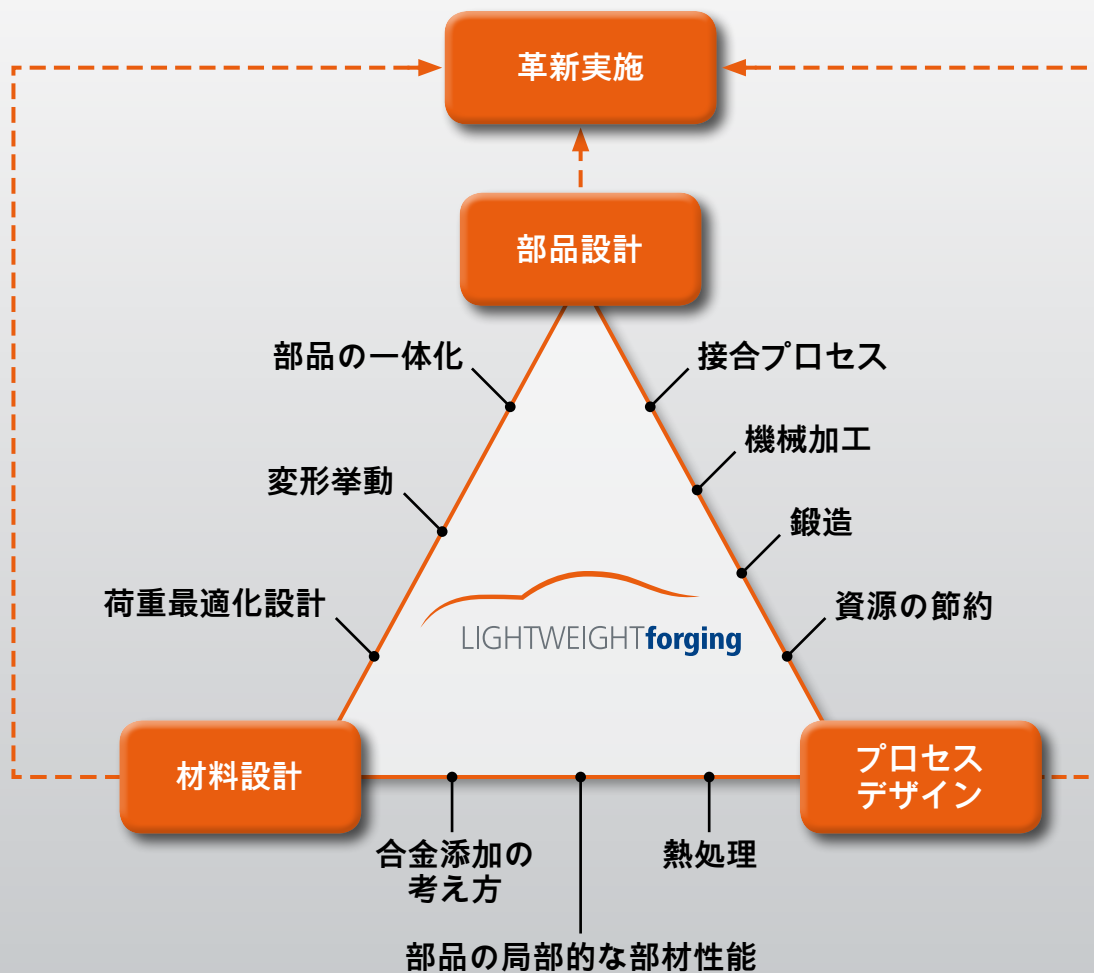
- inertia
- Reduction in transmission inertia reduced of 1<sup>st</sup> gear



## 結果

- 10% の材料特性の最適化により、  
軽量化の可能性は：
  - 電子式ハイブリッド CVT にたいして、最大 3.5 kg
  - 12 段トラックのトランスミッションに対して、最大 17 kg
- 計算モデルは、また以下を示す：  
歯車やシャフトの材料強度の更なる向上により  
追加の重量低減につながる可能性がある

## “軽量化鍛造”の研究ネットワーク



“自動車技術における鍛造品の部品、プロセスそして材料設計の技術発展のための革新的ネットワーク-軽量化鍛造”と題する研究ネットワークは、ドイツ産業研究協会連合 (AiF) を通じた連邦経済技術省 (BMWi) の産業共同研究への助成 (IGF) によるアイデアの競争“中小企業への先導的な技術”から創作された。

▶ **ゴール**：新材料の使用や、またエンジンからトランスミッションやホイールベアリングまでの自動車のパワートレインをさらに軽量化するための部品・製造方法の開発とともに耐用年数に関する厳しい要件を満たす。

## マルチ部品のギヤホイール

材料  
形状  
生産プロセス

重量低減  
静的トルク

- 18CrNiMo7-6
- 中実材の削りだし
- 旋削



- 0%
- 794 Nm\* / 889 Nm\*\*

- 18CrNiMo7-6
- 4 個の穴削り出し
- 旋削/ミリング



- -25%
- 192 Nm\*

- 18CrNiMo7-6
- 1つの円周溝加工
- 旋削/ミリング



- -25%
- 333 Nm\*

材料  
形状  
生産プロセス

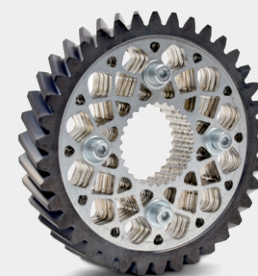
重量低減  
静的トルク

- DC04 (シートメタル)
- 軽量化構造
- 深絞り加工



- -44.5%
- 433 Nm\*\*

- DP 鋼
- 軽量化構造
- シートの打ち抜き/積層



- -30.5%
- 627 Nm\* / 776 Nm\*\*

- C15
- 軽量化構造
- 鍛造による接合



- -30%
- 1,200 Nm

## 研究協会

研究ネットワークは、2015年5月1日より財政的補助を受けており、2018年10月31日まで財政的補助を受け続けた……



鉄鋼用途の研究協会



ブレーメンの熱処理  
工業組合



運転技術研究組合



ドイツ鍛造協会

……ドイツ産業研究協会連合 (AiF) を通じた連邦経済技術省 (BMWi) の産業共同研究の基金により

フェーズ I および II の結果を基にして、さらなる軽量化の可能性がおよそ 2 年間で期待されている。更なる結果は、2015 年 5 月に始めた 5 つの研究プロジェクトから新しい材料が受ける動的な負荷を科学的に検証することによってのみ確実視され得る。軽量鍛造イニシアティブは、新たな重量最適化の可能性が研究ネットワークから生まれるであろうと予想します。

## 調査結果の譲渡

- [www.LIGHTWEIGHTforging.com](http://www.LIGHTWEIGHTforging.com) での現在の情報
- 出版物
- 発表会と展示
- 自動車会社とシステム供給元との“軽量化鍛造”テックデイ (TechDays)
- **コンタクト :**
  - ドイツ鍛造協会 (Industrieverband Massivumformung e. V.)
  - ドロシア バッハマン オーセンベルク (Dorothea Bachmann Osenberg)
  - 電話 : +49 2331 958830
  - 電子メール : [info@massiverLEICHTBAU.de](mailto:info@massiverLEICHTBAU.de)