

# 新基準としての テーラード・テンパリング

## 安全性向上・軽量化の自動車生産技術

オートフォームジャパン ミハエル・ケラウシュ

新しい自動車の生産にあたって、乗員の保護設備やユーロNCAP<sup>エヌキャップ</sup> (European New Car Assessment Programme: ヨーロッパ新車アセスメント・プログラム、ヨーロッパで実施されている自動車安全テスト) の衝突試験における5つ星の獲得は、消費者の購買決定に大きく影響する。

しかしながら、乗員の安全確保には自動車の重量増加が伴い、それは燃費にも影響する。自動車メーカーは、この相反する要求に応えるため、すべての構成部品の適切な軽量化に取り組んでいる。

ホワイト・ボディ (エンジン、シャーシ、エクステリア、インテリアなどの部品が配置される前の車体構造を形づくるメタルシート部品が溶接された段階のもの) の軽量化においては、適切な材料を選択し、それを使いこなすことが重要である。高張力鋼板や超高張力鋼板のテーラード・テンパリング (局部焼入れ) が成功の鍵となるが、それは多くの困難な課題を伴うものであり、コンピュータによるシミュレーションが大きな役割を果たす。

かつての新車モデルは、その世代ごとに重量が増していたが、近年はこの傾向が崩れつつある。複数の自動車メーカーによる新車モデルは、旧型モデルよりも50～100kg以上も軽量化されている。車体の大型化、装備の追加、運転者支援システムや衝突安全性の向上にも関わらず、軽量化に成功したのは、非常に多くの仔細な対応を積み重ねた結果である。

とくにホワイト・ボディには、顕著な対策がほどこされている。モデルのサイクルについては、その重量が比例的に削減されているが、主

材料は以前と変わらず、鋼材である。世界には何千種類もの鋼材が存在する。そのなかから自動車に最も適し、かつ技術的に加工可能な鋼材を選ぶことが、軽量化の真髄である。そして近頃、最も注目されているのが、高張力鋼板および超高張力鋼板である。

これら最新の材料は、より少ない消費量で乗客の安全に対する要求を満たし、また綿密に計算された形で、事故時の衝突エネルギーを軽減させることも可能にする (図1、図2)。これがメルセデス・ベンツ新型Eクラスのホワイト・ボディの約75%が、高張力鋼板や超高張力鋼板の等級である理由である。また、これは乗用車開発部門のピーク値と考えられている\*。

### テーラード・テンパリング

熱間プレス成形のなかでも特殊な手法である加工硬化を通じて、超高張力鋼板のマンガン・ボロン鋼材 (22MnB5) による車体部品が製造された。これには複数の手法があるが、基本的に直接および間接の加工硬化が採用されている。

テーラード・テンパリングの手法は、最も信頼できる世界の新基準 (ゴールデン・スタンダード) となりつつある。テーラード・ブランク (鋼種や板厚が異なる複数の素材を溶接により1枚とし、プレス成形する技術) と異なり、シート・メタル全体に、局部ごとに適切な熱間プレス成形を行ない、その後温度に誘因される冷却工程を行なう。この手法では、強度の高い領域と延性の高い領域を組み合わせることが可能となる。

構成部品の特性に応じて厚さや強度の異なるシート・メタルをつなげる、この溶接のテーラード・ブランクとの比較において、テーラード・テンパリングの利点は、ひとつのピースから部品がシームレスに生産されることである。溶接された領域間の“デジタル”的な接合に代わり、高強度と高延性のゾーンの間に緩やかなつなぎ面が存在する。これは機能的に最適化された部品、つまり衝突要件を満たす部品の設計における理想条件である (図3、写真1)。

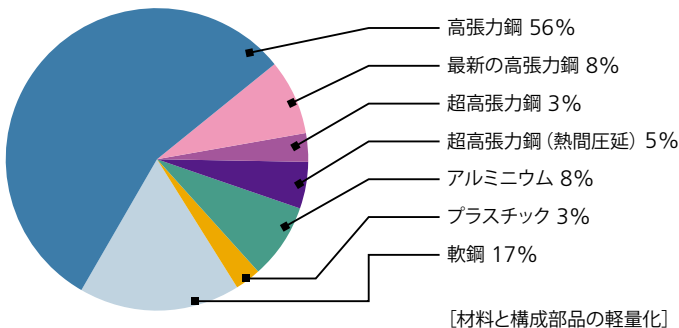
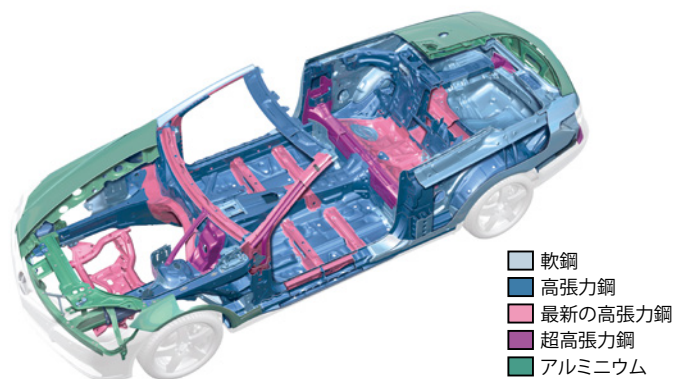


図1 新型Eクラスの安全コンセプト



[高張力・超高張力鋼板の利用率約75%]

図2 Eクラスのホワイト・ボディ



メルセデス・ベンツ新型Eクラス

[構成部品による強度特性の局部的違い]

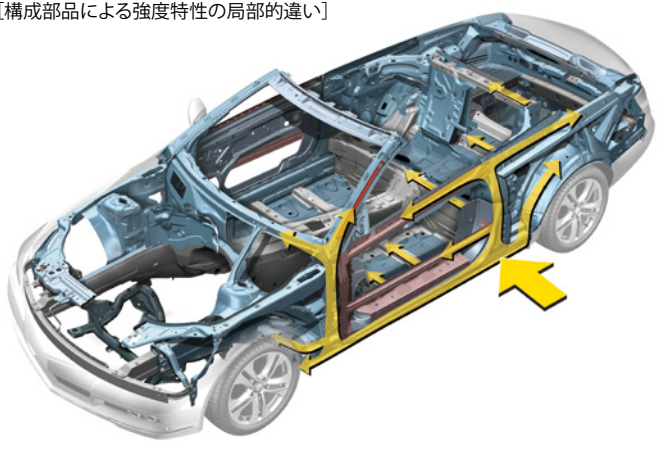


図3 衝突時エネルギーの分布

このように、従来の冷間プレス成形部品のコンセプトから、重量の大幅な削減が可能となる。この手法では、従来の加工硬化による生産よりも、たとえば自動車のBピラーの衝突性能は向上し、また強度のある薄板での生産が可能となる。またフォーム金型の形状やテーラード・テンパリング工程の実施方法をより詳細に検討することができる。材料挙動をよりよく理解するには、熱流量や相変態の挙動を把握しなければならない。

### シミュレーションによって深まる理解

テーラード・テンパリングの解析やその最終確認には、材料の構



[局部焼き入れ工程を経て局所的な強度特性を持つ]

写真1 フロント・バンパーの支持部品

造変化に関する深い理解が必要である。この手法は複雑であるため、その工程設計にコンピュータによるシミュレーションを活用することは必要不可欠となる。しかし、シミュレーション・ソフトウェアには、熱間プレス成形やクエンチング工程を現実的に表現すること、そして最終部品特性を高精度に予測することが求められ、その結果、この特殊な熱間プレス成形の技術情報が蓄積されていくことが重要である。

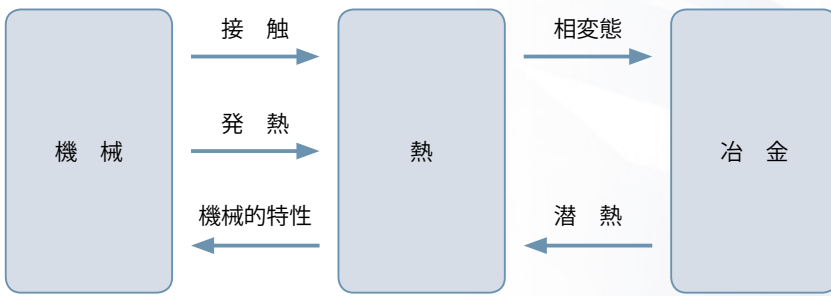


図4 AutoForm-ThermoSolverにおける機械、熱、冶金特性の相互作用

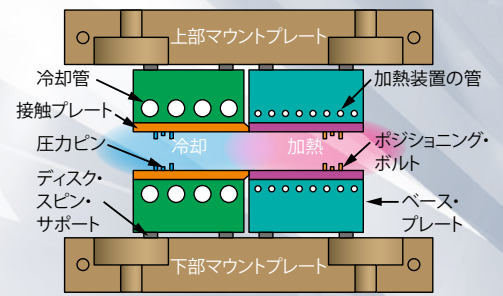


図5 熱機械冶金モデルの試験用金型の検証

当社はこれを目標と定め、熱機械冶金モデルを実行するシミュレーション・ソフトウェア「AutoForm-ThermoSolver」を開発した。このソフトウェアはシート・メタルの任意の材料点における温度履歴をある程度まで提供するため、熱間プレス成形やクエンチング中の材料挙動に関する理解を深めることができる。

予測を妥当な精度にて行なうには、関連のあるすべての現象やその相互関係をモデル化する必要がある。熱特性に関しては、シート、金型および環境間の熱流量、つまり輻射や対流も考慮しなけれ

ばならない。機械特性については、シート・メタルの塑性変形を考慮し、冶金の観点からは、冷却による相変態を考慮する必要がある(図4)。

**理論と実践の組み合わせ**

実験や検査の結果、当社は、熱機械冶金モデルを検証し、そのほかの決定的なパラメータを特定した。ダイムラー社との共同研究において、実験用の試験金型を開発(図5)、ニュルンベルク大学(ドイツ)のInstitute for Manufacturing Technologyにて分析的な試験が行なわれ、当社はAutoForm-ThermoSolverのパイロット版を提供した。ここでは工程ウィンドウおよび工程パラメータに応じた材料特性について研究が進められ、基礎的な専門知識が蓄積された。

ダイムラー社はBピラーの金型を作成し、最新の研究結果を実部品の生産に適用、シミュレーション結果のクオリティを検証した。そして小ロットのBピラーをジンデルフィンゲン工場で生産し、機械特性を詳細かつ広範囲に分析した。部品の複数領域からサンプルを抽出して引張試験を行ない、ダイムラー社および当社の専門家が、結果を詳細に検討した(図6)。

シミュレーション・モデルには、結果の精度を決定づけるすべての物理的な影響を取込む必要がある。妥当な計算速度を維持するために、二次的な影響は除外した。この試験を通じて、冷却工程中の潜熱も考慮する必要があるという結論に達した。その結果、AutoForm-ThermoSolverは、最終部品特性を非常に高い精度で計算できるようになった(図7)。

引張強度、板厚、応力分布、および硬さやマルテンサイトの分布などの結果も、グラフィック表示にて明確に表現される。テーラード・テンパリング工程の計算時間は、従来の成形と比較して、平均して5%ほど長くなった。しかし、工程に対する理解が深まることを考えると、この超過時間は妥当と考える。

**ダイムラー社、AutoForm-ThermoSolverを採用**

ダイムラー社と当社による共同研究の目標は達成した。

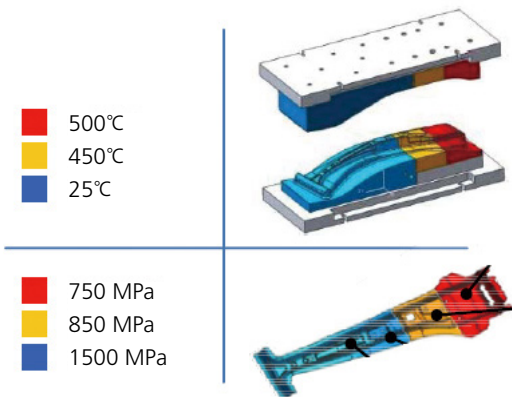


図6 Bピラーのテーラード・テンパリング(局部焼き入れ)による引張強度の違い

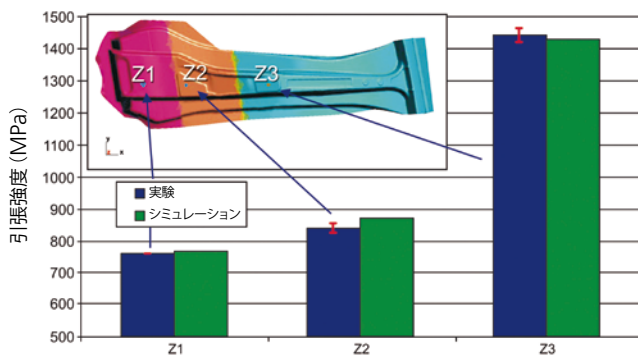


図7 シミュレーションによる引張強度計算

AutoForm-ThermoSolverは1年の試験期間を経て、ダイムラー社にて2012年より生産現場にて活用されている。

本ソフトウェアは複雑な工程戦略でも計算できるため、部品生産時の材料特性に対する熱機械の影響を、より正確に考慮することができる。また、冶金計算モデルに関する追加情報によって、シミュレーションの妥当性と情報量が高まり、さらに、テーラード・テンパリング工程の徹底的な試験によって、従来の加工硬化に対する理解も深まる。

熱変形の計算については、さらなる研究が必要であるが、今後もダイムラー社と当社による共同研究が進められる予定である。

### AutoForm-ThermoSolver

本ソフトウェアを使うことで、自動車メーカーやサプライヤは、熱間プレス成形を伴う部品(側面の補強、A/Bピラー、フロントヤリア・バンパの支持やそのほかの部品)の工程を開発および定義することが可能となる。また、直接および間接加工硬化のシミュレーションや、テーラード・テンパリング工程のサポートを行なうことが可能となる。そのため、事前定義された局所的な強度特性を持つプレス成形部品が、開発できるようになる。

シミュレーションでは、熱間プレス成形部品の実際の強度分布を考慮するため、衝突解析の精度も向上する。AutoForm-ThermoSolverは、板厚分布や応力分布、そして、硬さやマルテンサイト分布などの最終部品特性をグラフィック表示する。これによりエ

ンジニアは、材料の構造変化に関する理解を深めることができ、またそれを制御することが可能になる。

### 今後の傾向

加工硬化技術やテーラード・テンパリングの導入には、膨大な作業と投資が必要である。まず加熱炉および操作システムが必要となり、それには工場の設備配置を見直す必要も生じる。また新しい成形技術を的確に採用し、最大限に活用できる熟達した専門家が求められる。

これはシミュレーションをざっと確認すれば終わる問題ではない。しかし、シミュレーションを活用することで、加工硬化中の複雑な工程が理解できるようになるため、企業のノウハウが蓄積されるだけでなく、競争力の強化にもつながる。また、これら一連の作業は、鋼材による金型の作成からずっと遡る前段階で行なうため、コスト削減や開発計画の効率化などに寄与する。

実際上、これは非常に重要なことである。加工硬化およびテーラード・テンパリング工程は、自動車産業において重要性が増している。自動車メーカーは、高まり続ける衝突安全性や車体軽量化の要求から、逃れることはできない。何よりも、時間は過ぎ去ってゆき、排出上限値を超過した場合の罰則は、2012年時点において、すでに緊迫している。

\*出典: [www.daimler.com](http://www.daimler.com)