

(解説)

アルミ鍛造サスペンション拡大に向けて

New Applications for Forged Aluminum Suspension Arms



福田篤実*
Atsumi Fukuda



稲垣佳也*
Yoshiya Inagaki

Demand for vehicle weight reduction continues to rise as the result of recent safety enhancement trends, driving performance improvements, and higher fuel economy expectations. As a result of these developments, auto manufacturers have become increasingly aware of the advantages provided by forged aluminum suspension arms, which reduce automobile part weight and provide exceptional safety advantages. This paper introduces Kobelco's strategy regarding the new applications for aluminum suspension arms. Kobelco's approach to product design development and improvements in manufacturing technology are also discussed.

まえがき = 自動車は、環境保護への燃費向上に加え、安全装備の充実や運転性能の向上を背景に軽量化が年々強く求められている¹⁾。これに伴いサスペンションアームも軽量化を目指してアルミ化が進展し、製造プロセスの中では最も軽量化効果が得られて信頼性の高いアルミ鍛造品の採用が増加している。サスペンションアームの開発はTS16949の管理体制のもと、アームの解析設計および鍛造試作品の作製、強度評価による設計検証を経て顧客承認を得ている。本稿ではアルミ鍛造サスペンション拡大に向けた製品開発の取組みについて紹介する。

1. サスペンションのアルミ化動向

サスペンションアームの軽量化を目指したアルミ化の製造プロセスとしては、図1に示すように鍛造、鋳造、鋳造/鍛造、SSF (Semi Solid Forging; 半溶融鍛造法)、などがあるが、アルミ鍛造品は鋳造などの他のプロセスと比較して高強度であることから鋳鉄比35~40%の軽量化率が得られており、これらのプロセスの中で最も大きな軽量化効果となっている。また内部品質も安定しており信頼性が高いことから軽量化を目指すサスペンションの製造プロセスに最も適している。図2から分かるように日本の自動車用アルミ鍛造品の生産量は2000年から年々増加の状況にあり、着実に自動車軽量化のためのアルミ鍛造品の採用が増加している。

サスペンション構造の代表例を図3に示す。この構造はダブルウィッシュボーンタイプと呼ばれ、ロアアーム、アッパーアーム、ナックルなどにより構成されており、バネ下重量となることからこれらの部材の軽量化は単なる軽量化効果のみならず、安定走行性能、および乗心地性能の向上にも寄与することになる。

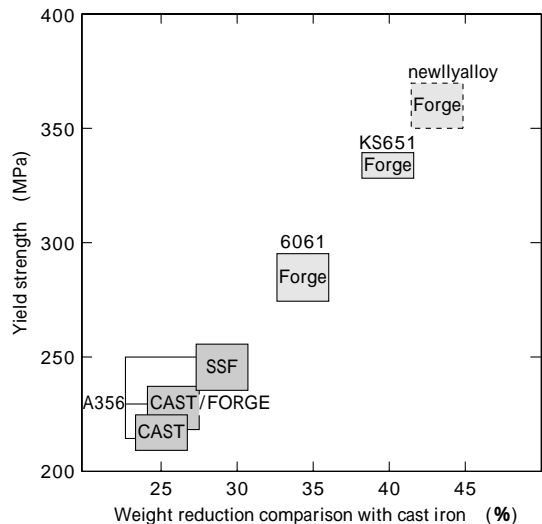


図1 サスペンションアルミ化プロセスと軽量化効果
Fig. 1 Weight reduction effect of aluminum forgings (Comparison with cast iron)

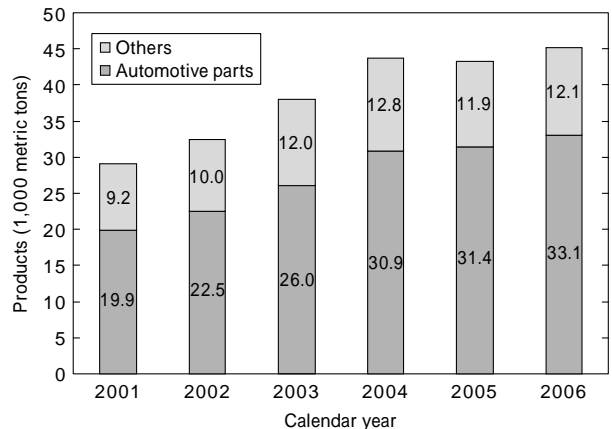


図2 アルミ熱間鍛造生産量推移²⁾
Fig. 2 Annual production of aluminum hot forgings²⁾

*アルミ・銅カンパニー 大安工場

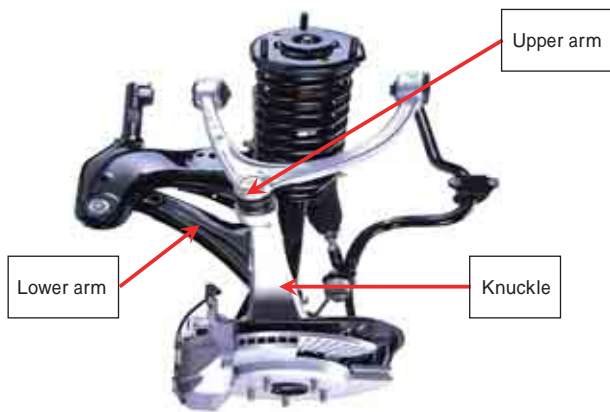


図3 サスペンション構造の代表例³⁾
Fig. 3 Automotive suspension system³⁾

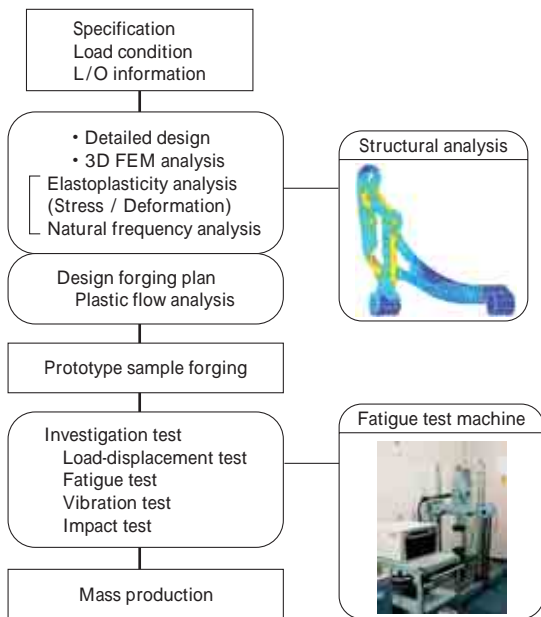


図4 足回りアルミ鍛造品の開発フローチャート⁴⁾
Fig. 4 Flow chart of product development⁴⁾

2. サスペンション解析設計

当社ではTS16949の認証を取得し、サスペンションの入力条件、レイアウト条件をもとに図4のフローチャートに示す構造解析設計から試作品の強度評価までの一貫した開発体制を確立している。解析設計には、これまでに得られている適用材料の静的強度、疲労強度、高温強度などの各種材料特性データ、台上実験データなどを反映した境界条件の合せ込みにより高精度化を図っている。サスペンションアームは、取り付け部位に緩衝ゴムブッシュ、ボールジョイントなどの部品があり、これらの部品を含めたアーム組立状態での弾塑性強度解析が必要となる。したがって、ブッシュやボールジョイントなどの境界条件の設定においてこれまでの台上実験値の織込みが解析精度向上のために非常に効果的となる。一例として、ロアアーム後向き荷重における静破壊試験の変形強度と破断強度の設計値/実験値の比較事例を図5に示す。設計要件にはこの他に、疲労強度、剛性、などがあり各々を設計検証すると共に、並行して他部品との干渉を防止するためのクリアランス確認を行っている。

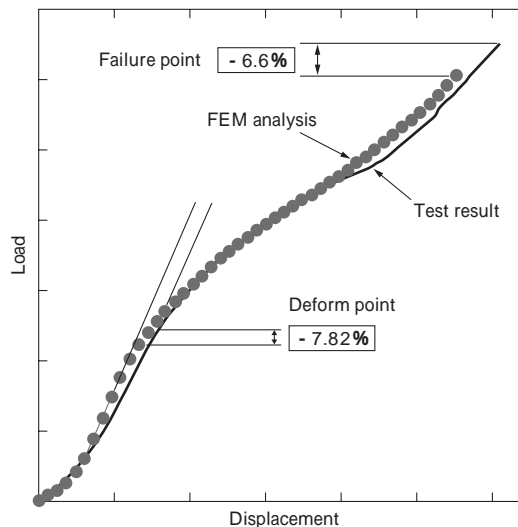


図5 サスペンションにおける解析・実験結果比較
Fig. 5 Comparison between FEM analysis and test result of suspension load test

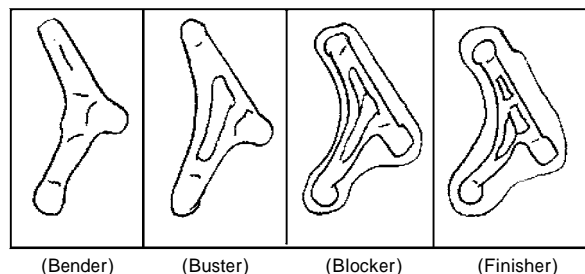


図6 サスペンションの鍛造工程
Fig. 6 Typical sequence of forging process

3. アルミ鍛造塑性流動解析

近年、3次元形状における鍛造塑性流動解析が進歩してきており、当社でもサスペンションのアルミ鍛造において実用化の段階になってきている。

代表的なサスペンションの鍛造工程は、曲げプリフォーム、バスタ型、ブロック型、フィニッシャ型の3種類の金型を用いた鍛造である。この鍛造工程の塑性流動解析を実施するには、図6に示す工程順に各々の工程での金型の3次元モデルを作成し、工程順にFEM解析を繰り返して最後にフィニッシャ型での流動解析結果を得る。

解析に必要なデータは、鍛造温度のほかに材料の変形温度での変形抵抗、せん断摩擦係数、すべり摩擦係数などであり、これらデータの整備が必要となる。

FEM解析によるアウトプットとしては、経時的変形挙動、ひずみ分布(図7)、温度分布(図8)、などが得られることから、鍛造成型充填状況や鍛造欠陥の発生、金型発生応力などの予測に対して効果的となる。経時的変形挙動をシミュレーションすることにより鍛造成型の状況、鍛造欠陥の発生メカニズムが明確化され、鍛造欠陥防止のためのバスタ型、ブロック型の鍛造方案チューニングが可能となる。

鍛造素材の最適化は、投入材料の最小化と、バスタ型での変形ひずみ量の均一化、未充填の防止に効果的であり、これらを満足させるため数種類の素材寸法での解析

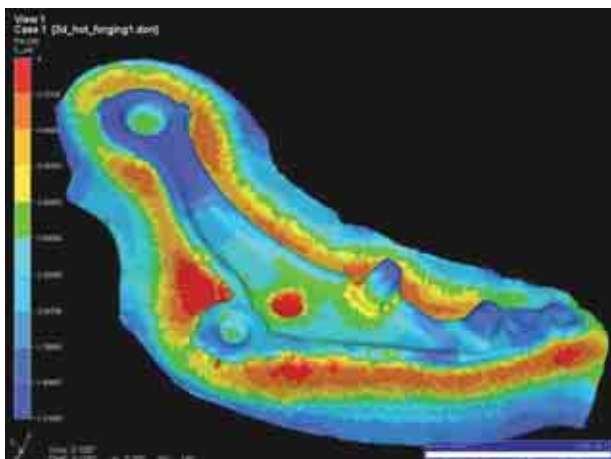


図7 鍛造 FEM 解析における鍛造後の相当ひずみ分布
Fig. 7 Equivalent strain distribution obtained by FEM analysis

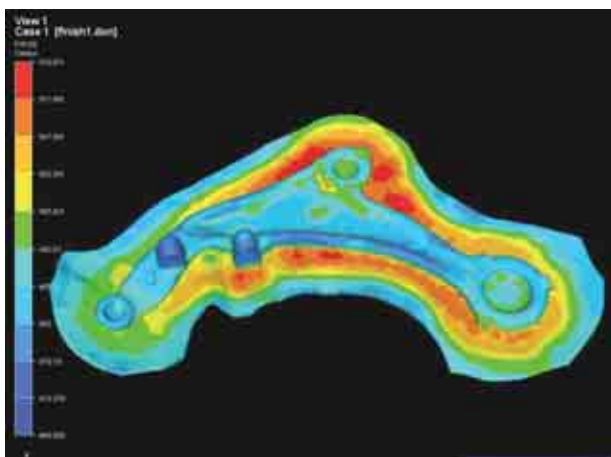


図8 鍛造 FEM 解析における鍛造後の温度分布
Fig. 8 Temperature distribution obtained by FEM analysis

の実施やバスタ型の構造、キャビティ形状を変化させた解析を実施する。これらの検討の中には、曲げなどのプリフォームの要否も含める必要があり多岐に亘るが、製造コストを左右する重要な工程となる。

また鍛造欠陥は、バスタ型、ブロッカ型の体積配分バランス、コーナーR、フィレットRの適正度などに律束される場合が多い⁵⁾。例えば、H断面におけるフロースルーはバスタ、ブロッカの体積過多やフィレットR過小で生じ、ラップ欠陥はブロッカのフィレットR過小などフィニッシュ型との形状アンマッチで生ずるため、塑性流動解析を用いることによりこれらの適正化がシミュレーション可能となる。これらは従来、試作を実施しトライアンドエラーでブラッシュアップしてきたが、大幅な時間とコストが必要であった。しかしこの塑性流動解析を踏まえた金型設計により、試作期間と試作コストの大幅な短縮が可能となっている。

鍛造温度は、材料変形抵抗値や鍛造品の機械的性質に影響する要因⁶⁾であり、鍛造中の温度変化の予測は品質安定化に効果的となる。鍛造温度は、材料加熱温度、金型温度、変形ひずみ速度、摩擦状態などにより影響を受けるため、これらの設定値の適正化により鍛造温度の予測が可能となり、鍛造品の安定した内部品質が得られる(図9)。

またアルミ鍛造の場合、金型損傷は金型コーナ部から

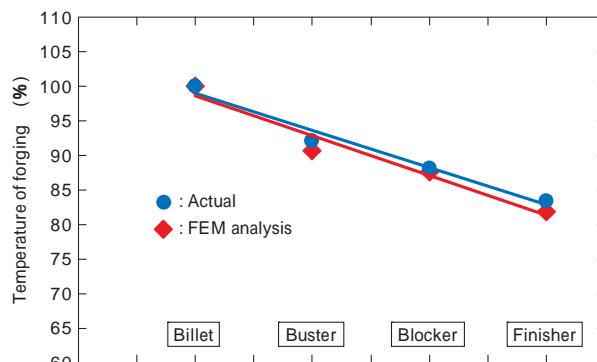


図9 各鍛造工程での素材温度推移
Fig. 9 Material temperature change in forging process

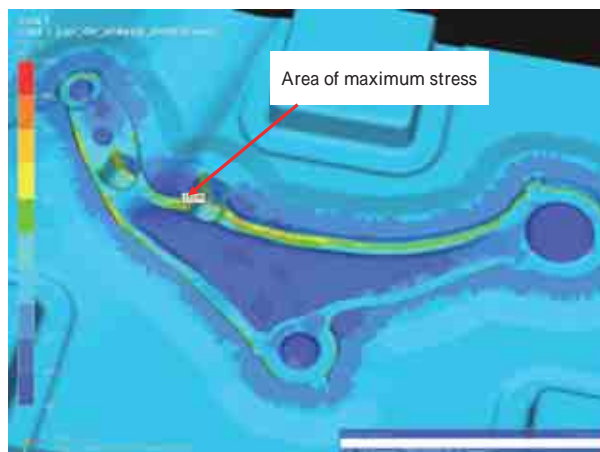


図10 鍛造金型 FEM 解析における応力分布
Fig.10 Stress distribution of forging dies obtained by FEM analysis

のクラック、金型高応力部の変形が大きな要因であり、鍛造時点の金型発生応力を知ることは、金型損傷防止に非常に有効である⁷⁾。金型の発生応力を知るには塑性流動解析で鍛造品の応力分布を知り、この応力分布から生じる金型ひずみ量を金型が弾性体であるとして求め、金型発生応力を求める。鍛造時のキャビティ内圧は、材料変形抵抗値、製品形状、フラッシュ形状、フラッシュ流量、鍛造温度などにより増減するが、金型方案による内圧のコントロールはフラッシュ形状とフラッシュ流量の設計最適化で可能となり金型寿命増加への対策がとれることになる⁸⁾(図10)。

4. 生産体制

当社はアルミ鍛造工場に隣接して鍛造用素材であるビレットの鍛造工場を設置し、鍛造ビレット素材から鍛造完成品までの一貫生産体制を確立した。

この一貫生産体制の模式図を図11に示すが、一貫生産体制の確立により、鍛造バリの完全リサイクルによる低コスト化、生産管理一元化によるリードタイム短縮、さらに品質管理面でも一元管理が実現され、高効率の生産を可能とした。

鍛造プレスは国内で最大級の61.740MNメカニカルプレスを4台設置している。この大型プレスによりロアームなどの大型サスペンション部品でも、鍛造金型を複数型同時にプレスに装着できることになり、連続成型により鍛造工程が完了できる。一方、アッパーアームなどの

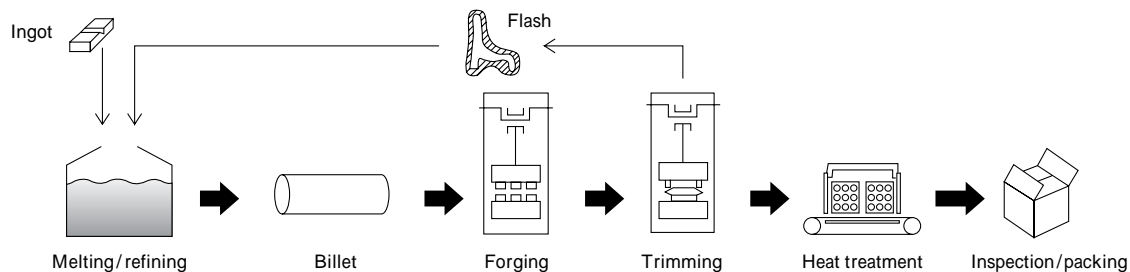


図11 一貫生産体制とリサイクル
Fig.11 Consecutive production and recycling system

中型足廻り部材では、多数個取り鍛造が可能であり、大型プレスの特徴が生かされている。

金型は、4台のプレス共通で鍛造できるよう標準化しており、互換性の確保と金型製作の面でも標準化による効率化を図っている。金型製作のリードタイム短縮化のため、金型加工モデルデータの作成にはサスペンション製品設計で作成した三次元ソリッドモデルデータを活用し、CAMデータを作成している。また高速マシニングセンタの採用により加工時間の短縮と高精度化が図られ、加工技術の向上により高硬度の材料も加工が可能になって来ている。

5. 海外展開

自動車生産のグローバル化の進展により顧客自動車メーカーの海外生産が増加しており、部品メーカーである当社も北米ケンタッキー州にアルミ鍛造サスペンション会社（図12、以下北米工場という）を設立して2005年から操業を開始し、現在61.740MNプレス3台の稼働体制となっている。北米工場は大安工場の生産体制、生産技術を踏襲



図12 北米工場外観 (Kobe Aluminum Automotive Products, LLC)
Fig.12 Kobe Aluminum Automotive Products, LLC

しており鍛造素材のビレットの生産から鍛造アームまで一貫生産体制の工場となっている。素材ビレットが国産技術と同等設備で自給できることと、国産同等の鍛造設備、鍛造金型の自給により、国産と同等品質のサスペンション部材が、タイムリーに供給される体制が整っている。特に金型については大安と互換性が得られるよう標準化しており、製作もCAMデータの共用化ができる体制を整えている。

むすび=自動車は、環境保護への燃費向上、走行性能の向上が求められる中で、安全装備の拡充、快適装備の充実など重量増加への対応もあり、軽量化がさらに求められている。この軽量化ニーズに対応してアルミ鍛造サスペンションのさらなる拡大に向け、CAEを活用し開発期間の短縮、低コスト化を実現していきたい。

参考文献

- 1) (社)日本アルミニウム協会 HP：アルミと自動車
<http://www.aluminum.or.jp/jidosya/japanese/index.htm>
- 2) (社)日本アルミニウム協会 HP：統計資料
<http://www.aluminum.or.jp/toukei/index.htm>
- 3) (社)日本アルミニウム協会 HP：アルミと自動車
<http://www.aluminum.or.jp/jidosya/japanese/index.htm>
- 4) 福田篤実ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.52, No.3(2002) p.88.
- 5) (財)鍛造技術研究所：鍛造技術講座型設計，(1982年) p.263, (株)東神堂。
- 6) 稲垣佳也ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.55, No.3(2005) p.83.
- 7) ASTM INTERNATIONAL Handbook Committee：Metals Handbook Ninth Edition，(1988年) p.247.
- 8) (財)鍛造技術研究所：鍛造技術講座型設計，(1982年) p.52, (株)東神堂。