

(技術資料)

自動車用アルミサスペンション部品の製造データの収集と解析

Production Data Collection and Analysis of Forged Aluminum Automobile Suspension Parts



小林 明*¹
Akira KOBAYASHI



小柳匡史*²
Tadashi KOYANAGI

As a part of the aluminum business, the Daian Works at Kobe Steel produces suspension parts of aluminum forging, following the trend of automotive weight reduction, and has gained a high market share. Production is expected to grow further, and developments are being pursued so as to reduce short-time breakdowns in the production lines, which are caused by small problems and fluctuations in production conditions, as well as to achieve better utilization of the equipment. Various production data, abnormal data, and inspection data were gathered to grasp the cause of the short-time breakdowns and to take measures against them. As a result, the utilization rate has been improved by 3%. Further measures will be promoted in the future.

ま え が き = 地球温暖化防止のためのCO₂排出規制への対応を始めとして、環境保護を目的とした自動車の燃費向上は喫緊の課題である。また、安全装置などの機能向上に伴う装備の増加により、重くなる傾向にある車体の軽量化も強く求められている。そのため、従来は鋼や鋳鉄で製造されていた部品の軽量材料への置換を各自動車メーカーは推進している。

当社は、1980年代末にアルミを鍛造したサスペンション部品の製造を開始した。現在は、アルミ鍛造ラインに素材となるピレットを製造する鋳造ラインを併置して、素材から完成品までの一貫生産体制を確立している。これにより、低コスト、短いリードタイム、生産の一元管理を実現し、多くの自動車メーカーに製品を供給してきた¹⁾。

また、国内自動車メーカー各社の生産拠点の海外展開に合わせて、当社も米国および中国に海外生産拠点を建設し日米中の3極体制を構築して、現地ニーズに合わせた製品を供給する体制を確立した²⁾。これら3極において製造設備や製造方法の共通化を図ることにより、同一品質の製品の供給を可能にしている。

しかしながら、各工場では一定割合のチョコ停が発生している。チョコ停とは、設備のトラブルなどにより短時間の製造停止が発生する現象である。チョコ停が繰り返し発生することで生産を阻害し歩留りを低下させる。

今後さらに伸びることが予想される市場の拡大に的確に対応するために、チョコ停を低減してゼロに近づけることは大きな課題である。チョコ停の発生頻度は海外工場が高いものの、国内でも作業員の熟練度によりその発

生頻度は異なる状況である。作業員の経験によらず同じ生産性と品質を常時維持できることが必要である。

そこで、当社は製造状態を可視化するための製造条件や異常発生データの収集の仕組みを構築した。得られたデータを解析することにより、チョコ停の原因究明とその対策を進めてきた。本稿ではその内容と効果について報告する。

1. プレスによるサスペンション部品生産ラインの概要

図1にサスペンション部品の例を示す²⁾。サスペンションは車体とタイヤとを連結し路面の凹凸による振動を抑制する緩衝装置であり、車の運動性能や乗り心地に大きく影響を与える。このため、強度や耐食性など高い信頼性が重要な部品である。通常、サスペンション部品は

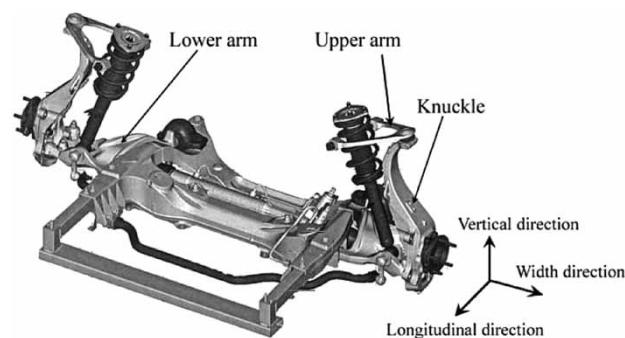


図1 サスペンション部品の例 (ダブル・ウィッシュボーン方式フロントサスペンション)²⁾
Fig.1 Example of suspension members (front suspension structure of double wishbone type)²⁾

*¹ 技術開発本部 生産システム研究所 *² アルミ銅事業部門 大安製造所 サスペンション工場

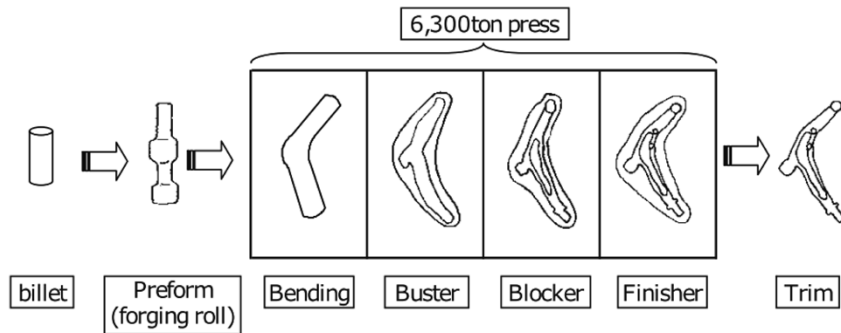


図2 サスペンション部品鍛造工程³⁾
Fig. 2 Forging process for suspension parts³⁾

鋼や鋳鉄で製造されるが、車体を軽量化するために大型車を中心にアルミ材の採用が進んでいる。当社の開発したKD610材は鋳鉄部品と比較して40%以上の軽量化を達成している²⁾。

プレスによるサスペンション部品の製造工程を図2に示す³⁾。工場に併設された鍛造設備で作られたビレットは加熱炉で所定の温度に昇温され、予備成形(Preform)→曲げ加工(Bending)→潰し加工(Buster)→荒加工(Blocker)→仕上げ加工(Finisher)→トリム加工(Trim)の工程を経てサスペンション部品に成形される。プレスは最大荷重6,300tのメカニカルプレスにより行われる。高い荷重性能を活用して曲げ型と荒型、潰し型と仕上げ型でワークを同時にプレスするなど、効率的なプレス加工法を確立している。プレス工程においては、ワークの搬送および離型剤の散布をすべてロボットが行う。ワークの種類に応じてプログラムを変更することによりロボットの動作を制御している。

2. 収集データとその分析

2.1 収集データの概要

工場におけるサスペンション部品の製造および検査工程では、主に以下に示す4種類のデータを収集している。

(1) 製造データ

メカニカルプレスによる鍛造条件と各種測定データであり、時刻、製品名称、プレス設定パラメータ、離型剤流量、金型温度、鍛造荷重など。

(2) プレス異常データ

メカニカルプレスで発生したワークの上型残り、ワークの置きズレ、ロボット異常など、センサで検出した異常の名称と発生時間。

(3) 作業日報データ

プレス担当作業員が記録した製品生産数や設備の稼働時間と稼働率など。

(4) 検査データ

下工程での製品検査結果の内訳。

(1)～(3)はプレス工程における記録であり、(4)は下工程での製品検査データである。(1)の製造データは個別のワークにひも付けられており、(2)のプレス異常データは発生時刻にひも付けられている。これらのうち(1)と(2)は、設備の稼働状況の調査と異常

原因の把握および対策を目的として、2014年秋からデータの収集を開始した。当初は、測定データのノイズや動作不良などにより信頼性に欠ける面があったものの、対策を施して順次改善してきた。また、離型剤散布装置の改造に伴う項目やサーモビジョンによる金型表面温度などの項目のデータも随時追加・増強してきた。現在では、60項目のデータを常時取得している。

2.2 チョコ停内容の分析

現在、自動的に収集しているチョコ停要因は「上型残り」と「着座異常」が主である。他にはロボットやプレス本体、加熱炉など、設備の軽微な異常があげられる。「上型残り」とは、金型温度の上昇などによりワークをプレスした際に上型にワークが固着してしまう状態である。また、「着座異常」はロボットのワークハンドリング異常により、所定の金型位置にワークが着座しない状態である。いずれの場合においても、センサにより検知されてプレス動作が停止する。

チョコ停の要因ごとによるプレス停止時間を分析した。製品による違いはあるが、およそ4～5割が「上型残り」であり、2～3割が「着座異常」であった。「上型残り」と「着座異常」の2つが大きな割合を占めることがわかった。最大要因である「上型残り」の主要な発生原因には以下の4つが挙げられる。

- (1) 金型温度の変化
- (2) 不適切な離型剤の塗布量
- (3) 金型上へのワークの置きズレ
- (4) 鍛造荷重の増加

そこで、これらの項目についての取り組みを次章で述べる。

3. データ活用によるチョコ停対策と効果

3.1 離型剤吹付け量管理

当社のサスペンション製品は自動車メーカーの車種ごとに異なり多くの種類がある。製品ごとに形状や重量が異なるため、離型剤の吹付け量の最適値が異なる。新しい製品の製造にあたっては、離型剤吹付け量を類似の製品の値に基づいて調整していたが、必ずしも安定していなかった。データ解析を行うことで、より安定して生産できる適正範囲が推定できることが分かった。図3にその例を示す。

図3はある製品への離型剤の吹付け量の分布を表して

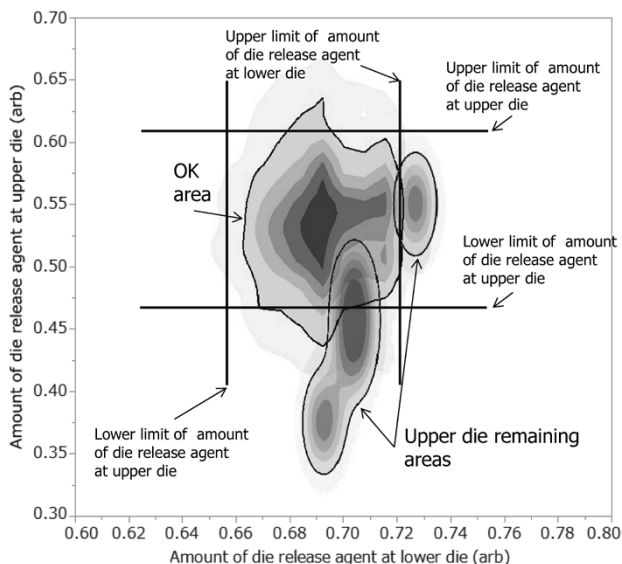


図3 離型剤吹付け量に対する正常品と上型残り発生品の分布
Fig. 3 Distributions of normal products and defective products of upper die remaining

いる。横軸は下型への吹付け量，縦軸は上型への吹付け量である。図3において正常に生産されたワークの流量分布領域と上型残りが発生したワークの流量分布領域をそれぞれ個別の線で囲って示している。またグラフの濃淡は，それらの現象の発生頻度に比例する。上型への吹付け量が一定レベルより少ない場合には，多くの上型残りが発生していることが図3よりわかる。適正な流量を下回ると型温度が上昇して型残りの発生頻度が上がると推定し，この値を離型剤吹付け量の管理値の策定に活用している。他の製品では，吹付け量が正常品より多い場合に上型残りが発生する場合もある。このため，離型剤吹付け量の上限下限を定め，誰でも同じ条件での吹付けが可能で吹付けシステムを構築した。このシステムによって，現在は作業員によらず同じ条件で離型剤の吹付けを行っている。

3.2 金型上へのワーク置きズレの定量化

ワークを把持するロボットハンドのフィンガー部の汚れやロボットティーチングの誤差などが，金型上へのワークの置きズレの要因となる。置きズレもワークの焼付き，上型残り，ワークの搬送ミスを引き起こす。そこで，光切断法の手法を用いてワーク位置の変化を測定する系を構築した(図4)。シートレーザをワークに照射し，ワークを型上においたタイミングで画像を取得し，画像処理することでワーク位置の変化を測定している。図4では，ワークの左右方向における変位の測定結果を示している。変位量がある閾値を超えると，左右方向の置きズレは「上型残り」となり，前後方向の置きズレは「搬送異常発生」となる頻度が高いことが，この測定よりわかった。静止画と同時に取得した動画の解析も参考にした。置きズレ異常の原因は主にロボットハンドの汚れやハンドリングの問題であると判明した。このため，ロボットハンドの定期的なクリーニング，ワークのハンドリング方法の変更などの対策を順次実施し，「上型残り」および「着座異常」の低減につなげた。図5に対策前後

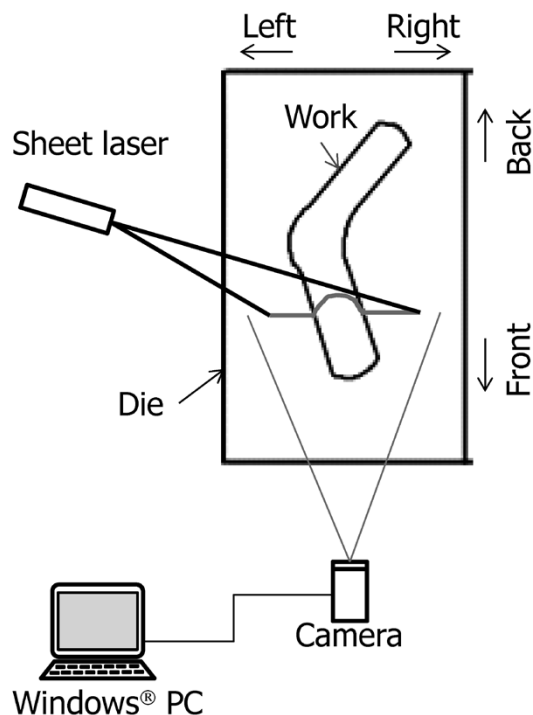
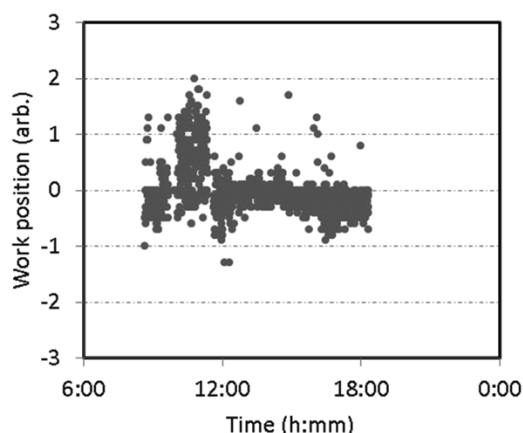
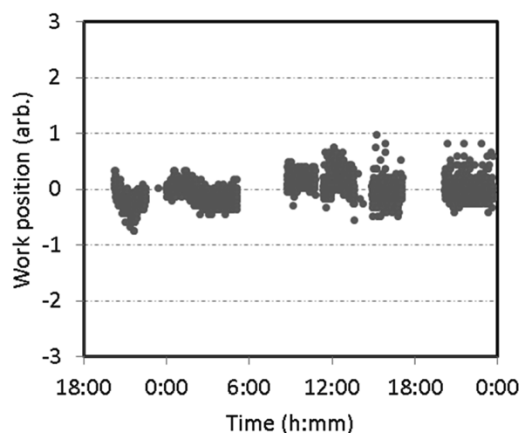


図4 シートレーザによるワーク位置測定系
Fig. 4 Measuring system of work positions with sheet laser



(a) 対策前のワーク位置変位
(a) Fluctuation on workpiece position countermeasures



(b) 対策後のワーク位置変位
(b) Fluctuation on workpiece position after countermeasures

図5 ショットごとのワークの金型上での位置変動測定結果
Fig. 5 Measurement results of fluctuation on workpiece position for each shot on mold

のワーク位置変化を示す。図5 (a) は、対策前のワーク位置ずれを示し、図5 (b) は対策後のワーク位置ずれを示している。図5 (a) では、大きな変位が連続的に発生している部分があり、安定時でも突発的に位置変動が発生している。これに対して図5 (b) では、大きな位置ずれは発生せず安定していることがわかる。

3.3 鍛造荷重変化への対策

鍛造荷重の増加要因として、金型やスライドの温度上昇に伴う熱膨張により上下型間のギャップが狭くなり、下死点時のワークの変形量が大きくなることが挙げられる。荷重が大きくなりすぎると「上型残り」の発生率が增大する。プレス時の側面の動画を高速で撮影し最短ギャップとなったときの、ギャップ変化の測定値と鍛造荷重の時間変化を図6に示す。両者はよく比例しており、

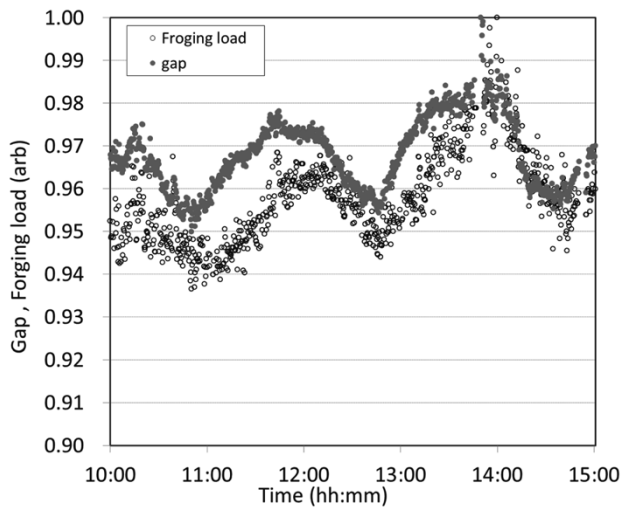


図6 金型間ギャップと鍛造荷重

Fig. 6 Relationship between forging loads and gaps between upper and lower die

ギャップ変化を制御することにより、鍛造荷重を一定の範囲内に納めることができることがわかる。荷重の自動制御方法を現在検討中である。

3.4 チョコ停対策の効果

上述の対策に加えて、作業員の作業性改善などの取り組みを行った。これにより、チョコ停によるライン停止が減少し、稼働率が約3%向上した。

むすび=大安製造所サスペンション工場では高まる自動車軽量化のニーズに応えるべく、アルミ鍛造品によるサスペンション部品の製造技術の開発を進めてきた。その過程で作業員のQC活動などを中心として、歩留り向上の取り組みを行ってきたが限界が見えてきた。そこで、各種データを常時取得・解析してチョコ停要因を明確にして対策を立てることで、チョコ停による稼働率低下を抑制した。今後、チョコ停の撲滅を目標として活動を継続し、米国および中国で稼働中の工場へも技術を展開する計画である。また、大量のデータを短時間で効率よく解析し、改善の指針を導くためにデータ解析技術の向上を図る。さらに、データのリアルタイムの解析により鍛造工程における異常発生の予測技術を確立していく。そのために、AI技術の活用も考慮に入れた異常発生予測アルゴリズムの開発や、より高精度の計測技術の開発を進める。

参考文献

- 1) 福田篤実ほか. R&D神戸製鋼技報. 2007, Vol.57, No.2, p.61-64.
- 2) 中村元ほか. R&D神戸製鋼技報. 2017, Vol.66, No.2, p.99-102.
- 3) 稲垣佳也ほか. R&D神戸製鋼技報. 2009, Vol.59, No.2, p.22-26.