

平成28年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「軽量自動車部材の低コスト・高品質加工を実現する次世代鍛造法の開発」

研究開発成果等報告書

平成29年 5月

担当局
補助事業者

九州経済産業局
一般財団法人九州産業技術センター

目次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標 P. 4
 - (1) 研究開発の背景
 - (2) 研究目的
 - (3) 高度化目標
 - (4) 技術的目標
- 1-2 研究体制（研究組織、研究者氏名、協力者） P. 6
 - (1) 研究組織
 - (2) 研究者氏名
 - (3) 協力者（アドバイザー）氏名
- 1-3 成果概要 P. 8
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口 P. 9

第2章 本論

- 【1】鍛造工程設計案を自動生成する知的設計支援システムの開発 P.10
 - (1) 実施内容
 - (2) 成果（目標と達成度）
- 【2】ターレット鍛造装置のプロトタイプ構築 P.13
 - (1) 実施内容
 - (2) 成果（目標と達成度）
- 【3】アルミ合金製ヨークの温間鍛造条件の最適化 P.15
 - (1) 実施内容
 - (2) 成果（目標と達成度）
- 【4】多段階時効における金属組織形成メカニズムの解明と時効制御条件の最適化 P.19
 - (1) 実施内容
 - (2) 成果（目標と達成度）

- ① 複数年の研究開発成果
- ② 研究開発後の課題について
- ③ 事業化展開について

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

近年、燃費性能が自動車の差別化要因として位置付けられ、自動車メーカーの競争力を大きく左右している。さらに、省エネ法に基づき、自動車の2015年度燃費基準が大幅に引き上げられた。燃費性能の向上の有力手段として、ハイブリッド車などの「電動化」と並んで「軽量化」の重要性が高まっている。一般に、車体100kgの軽量化によりO₂の排出量に換算して7.5~2.5kg/kmの削減につながり、数%の燃費向上に相当すると言われる。また、2020年に向けて燃費規制が、先進国だけでなくワールドワイドで強化されようとしているため、多くの自動車メーカーでは、その規制値をクリアするために規制値の3~5割を軽量化によって達成しようと考えており、数百kg単位での軽量化が求められている。

本研究では、川下企業である日立オートモティブシステムズ九州(株)の要望で、自動車駆動系部材であるヨークを軽量化のターゲットとした。ヨークは、一台あたり複数個が使用されており、現状では炭素鋼製の鍛造部材が主流である。アルミ合金製の鍛造部材は、2012年6月に日立オートモティブシステムズ(株)によって実用化(日本初)されたばかりである。現在、ヨークのアルミ鍛造部材は、大型プレス(1000ton超)で東北地方の企業で生産され、福岡県の企業で仕上げ加工しているため、輸送コストが必須となっている。もし、次世代鍛造法で鍛造生産が可能になれば九州で一貫生産が可能となる。ところで、現状のアルミ鍛造部材は、一部の車種(トラック)に限定されている。乗用車についてはこれからであるが、適用に際してのネックは、炭素鋼部材と比較して割高(素材費に起因)であるが、もし、低コスト化が実現できれば、その市場性は計り知れない。また、品質面においては、現状のアルミ鍛造部材は熱処理(T6処理)をしても炭素鋼部材と比較して10~20%強度が低い。

(2) 研究目的

自動車駆動部品の軽量化において、鉄鋼部材のアルミ合金鍛造品への代替が望まれているが、品質はもちろんのこと、鉄鋼部材と同等以下のコスト要求が大きなハードルになっている。そのため、アルミ合金製鍛造部材を低コストで生産できる鍛造技術の創出を目的に本研究を実施した。

(3) 高度化目標

特定ものづくり基盤技術高度化指針にある「鍛造に係わる技術」に関する事項において、本研究に対応した自動車に関する川下製造業者等の抱える課題及びニーズは、

力、生産性・効率化の向上、低コスト化

であり、そのニーズを踏まえた高度化目標は、具体的には以下の通りである。

自動車駆動部品の軽量化において、鉄鋼部材のアルミ合金鍛造品への代替が望まれているが、品質はもちろんのこと、鉄鋼部材と同等以下のコスト要求が材料置換の大きなハードルとなっている。そのため、アルミ合金製の鍛造部材を低コストで生産できる鍛造技術の創出が必要で自動車駆動系部品に求められる厳しい品質要求を満足しながら、非常に短い生産タクトタイムを可能とするターレット鍛造装置を中核とする革新的な次世代鍛造法を開発する。

その実現のため、以下の4つのテーマを設定し、課題解決を図る。

- 【1】鍛造工程設計案を自動生成する知的設計支援システムの開発
- 【2】ターレット鍛造装置のプロトタイプ構築
- 【3】アルミ合金製ヨークの温間鍛造条件の最適化
- 【4】多段階時効における金属組織形成メカニズムの解明と時効制御条件の最適化

(4) 技術的目標

上記高度化目標に対応したテーマごとの技術的目標は以下のとおりである。

- 【1】鍛造工程設計案を自動生成する知的設計支援システムの開発

(技術目標)

工程設計支援システムを100%完成させ、ヨーク設計において、熟練技術者並みの工程設計を従来の12時間から1時間に短縮する。

- 【2】ターレット鍛造装置のプロトタイプ構築

(技術目標)

ターレット鍛造装置のプロトタイプを製作してから、当該装置を用いて、素材であるアルミ合金を押し出し材から連続鋳造材へ変更し、ヨーク鍛造部材の製造原価を炭素鋼製比で15%、先行研究比で25%低減し、生産タクトタイムを先行研究比で約1/2に短縮(216秒を119秒に短縮)する。

【3】アルミ合金製ヨークの温間鍛造条件の最適化

(技術目標)

統合試作を100%完了させ、ヨーク円筒端における材料廃棄率を0%とし、プレス装置内で角(つの)部の2穴の連続横穴抜きを可能とする。

【4】多段階時効における金属組織形成メカニズムの解明と時効制御条件の最適化

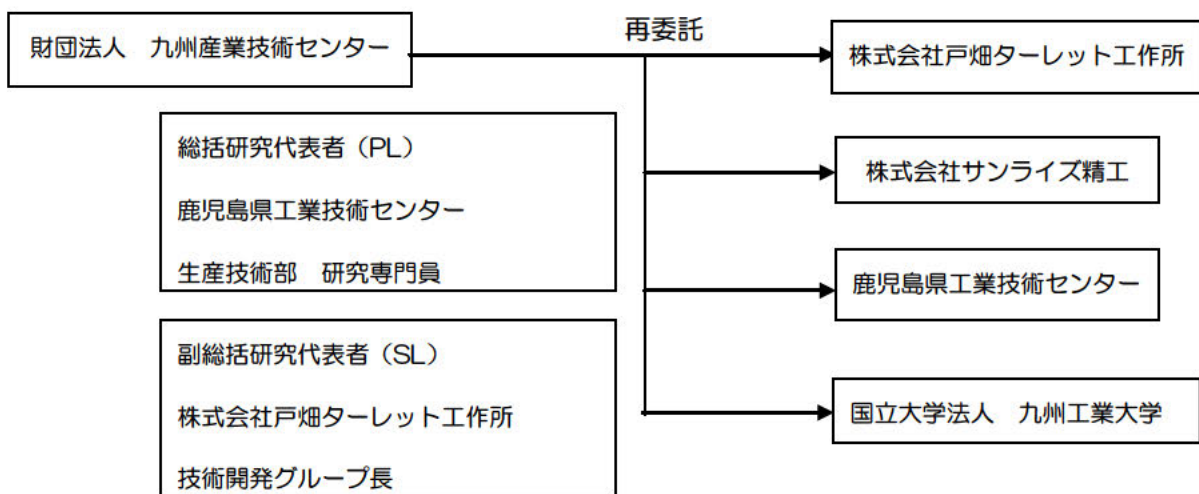
(技術目標)

多段階時効制御条件を最適化するためのデータベースを作成し、このデータベースを利用して多段階時効制御条件を最適化し、ヨーク鍛造部材の機械的特性(硬さ)を従来品の15%以上向上し(Hv140~160)、かつ 靱性は同等以上を確保する。

1-2 研究体制

(研究組織、研究者氏名、協力者)

(1) 研究組織



(2) 研究者氏名

株式会社戸畑ターレット工作所

| 氏名 | 所属・役職 |
|-------|------------|
| 松本 大毅 | 代表取締役社長 |
| 川崎 宏史 | 技術・開発グループ長 |
| 照本 部 | 技術・開発グループ |
| 縣山 和也 | 技術・開発グループ |
| 古賀 千恵 | 技術・開発グループ |

株式会社 サンライズ精工

| 氏名 | 所属・役職 |
|-------|---------|
| 児玉 祐司 | 代表取締役 |
| 内村 静徳 | 第二製造部係長 |
| 児玉 剛士 | プレス技術員 |

鹿児島県工業技術センター

| 氏名 | 所属・役職 |
|--------|-------------|
| 瀬戸口 正和 | 生産技術部長 |
| 牟禮 雄二 | 生産技術部 研究専門員 |
| 松田 豪彦 | 生産技術部 主任研究員 |
| 桑原田 聡 | 生産技術部 主任研究員 |

九州工業大学

| 氏名 | 所属・役職 |
|-------|----------------|
| 梅田 政信 | 大学院情報工学研究 准教授 |
| 片峯 恵一 | 大学院情報工学研究 准教授 |
| 恵良 秀則 | 工学部マテリアル工学科 教授 |

(3) 協力者（アドバイザー）氏名

| 氏名 | 所属・役職 |
|-------|-------------------------------------|
| 高橋 昌也 | 日立オートモティブシステムズ九州株式会社 執行役員・設計部 部長 |
| 横山 和久 | 日立オートモティブシステムズ九州株式会社 生産技術部 部長 |
| 青山 進 | 株式会社エムエイチセンター 代表取締役社長 |

1-3 成果概要

【1】鍛造工程設計案を自動生成する知的設計支援システムの開発

(九州工業大学、鹿児島県工業技術センター、㈱戸畑ターレット工作所)

最終年度、工程設計支援システムを完成させ、ヨーク設計において熟練者並みの工程設計を従来の12時間から10分まで大幅な短縮するのに成功した。

【2】ターレット鍛造装置のプロトタイプ構築

(鹿児島県工業技術センター、㈱戸畑ターレット工作所、㈱サンライズ精工)

最終年度には、実際にプレス内に装置を組み込み、鍛造試作を行ったが、生産に関わるすべての工程を含んだ生産リードタイムにおいて目標としていた対アルミ化先行研究比約1/2(50%減)に対し、約17%低減の結果で未達に終わった。しかし、製造コストにおいては材料費の低減等により、対炭素鋼比15%、アルミ化先行研究比25%低減目標に対し、各々15.8%、22.8%低減とほぼ達成することができた。

【3】アルミ合金製ヨークの温間鍛造条件の最適化

(鹿児島県工業技術センター、㈱戸畑ターレット工作所)

最終年度では、川下ユーザーからの所望でヨーク鍛造品の大幅な設計変更が生じ、ヨーク鍛造型の新型を設計製作し、統合試作トライアルを実施したが、トライアル中に金型が破損し、破損原因の抽出作業を実施した。トライアルで成形した鍛造品については、外観品質に不十分な箇所はあるもののほぼ形状はでていたので、内部品質（強度）の確認したところ、引張強度は目標としていたアルミ化先行研究比15%以上 up に対し17.3%向上、硬度においても目標の140～160（Hv）に対し141.1（Hv）と目標達成することができた。また、試作したヨーク鍛造品の円筒端における材料廃棄率を0%とする目標を掲げていたが、形状不具合が発生し、現時点では目標未達の判断となるが、改善方案は検討し、対策を実施すれば目標達成になる見込みである。加えて、川下ユーザーも注目していたプレス装置内でのヨーク角部分2穴連続横穴抜きは達成することができた。ただし、設計変更後のヨーク鍛造品は形状に不十分な箇所が残り、川下ユーザーへアッセンブリ評価のための鍛造品提供ができていない。今後、完品形状の製作が課題として残った。

【4】多段階時効における金属組織形成メカニズムの解明と時効制御条件の最適化

（九州工業大学、櫛戸畑ターレット工作所、鹿児島県工業技術センター）

最終年度には統合試作トライアルに条件適用して鍛造品評価を行った。【3】項にも前述したが、適用した製造条件下で試作した鍛造品の引張強度は目標としていたアルミ化先行研究比15%以上 up に対し17.3%向上、硬度においても目標の140～160（Hv）に対し141.1（Hv）、靱性指標の伸びも12.4%と目標達成することができた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社戸畑ターレット工作所 技術開発グループ 川崎 宏史

tel:093-475-8864 ; fax:093-475-8865 ; e-mail:kawasaki@t-turret.co.jp

第2章 本論

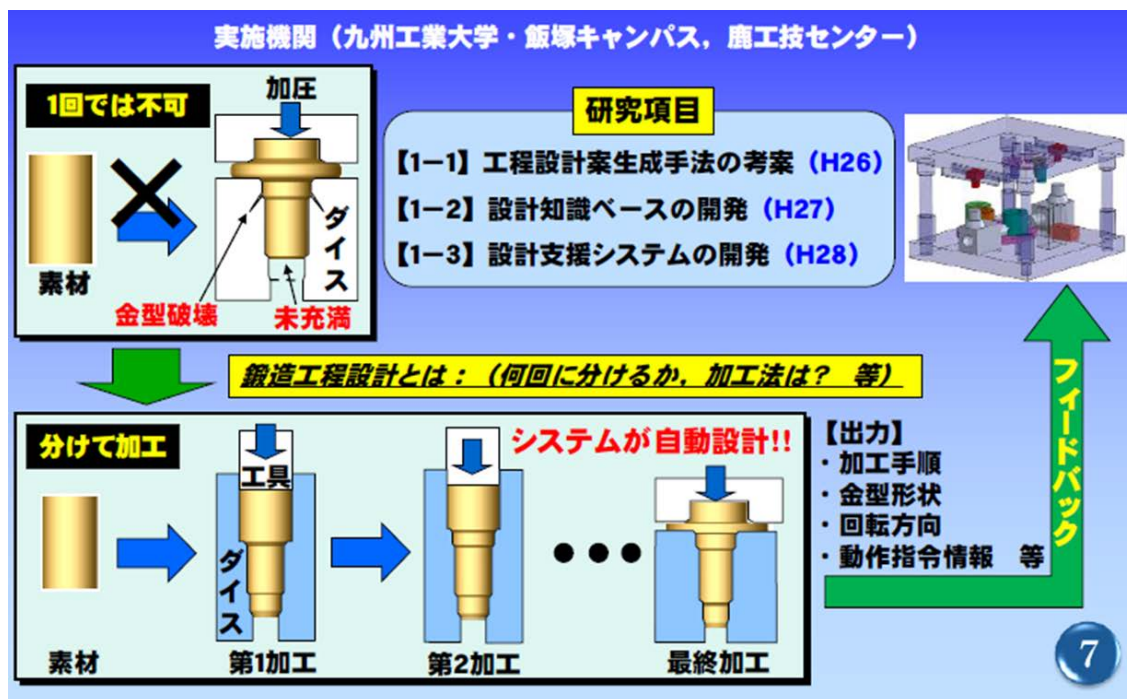
【1】鍛造工程設計案を自動生成する知的設計支援システムの開発

(1) 実施内容

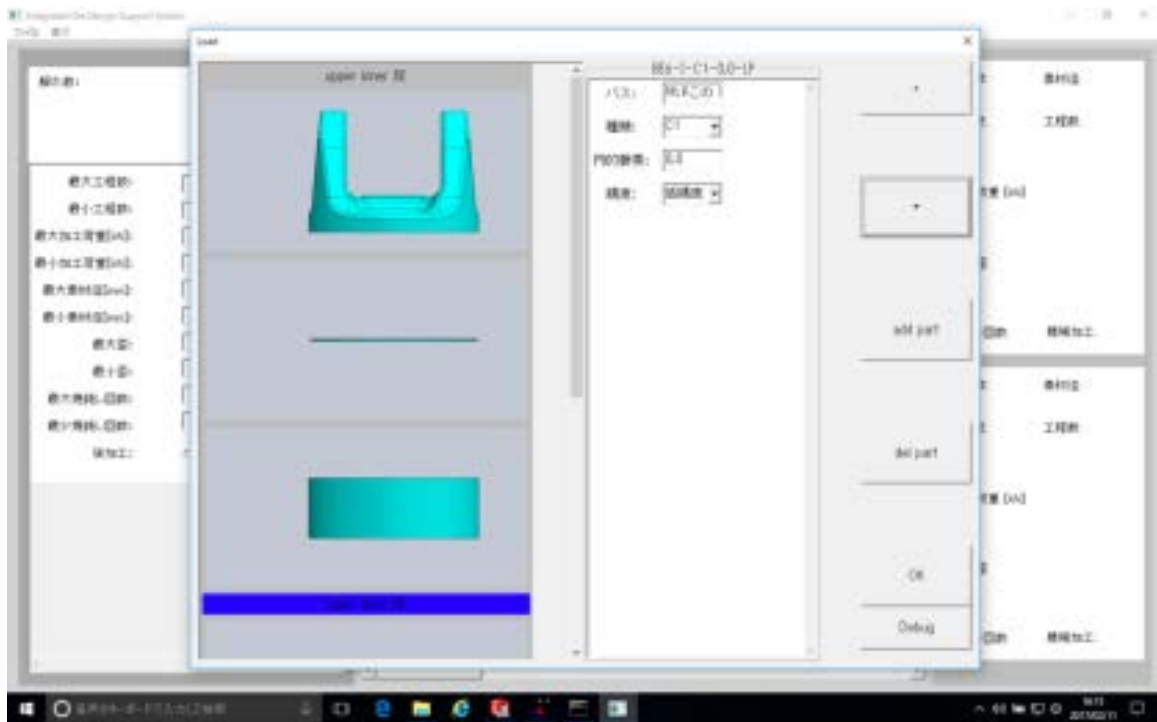
最終年度は、平成26年度から構築してきた工程設計支援システムを稼働させ、鍛造工程設計知識ベースにより自動生成された鍛造工程案に対して、二つ以上の加工工程を一つに単一化する複合化を行う知識ベースを開発した。(図【1】-(1)-① 工程設計支援システム開発の説明)

●加工ストロークに対する加工圧を見積り、これに基づいて非軸対称部位を含む鍛造部品に関する断面減少率を評価する手法を考案した。

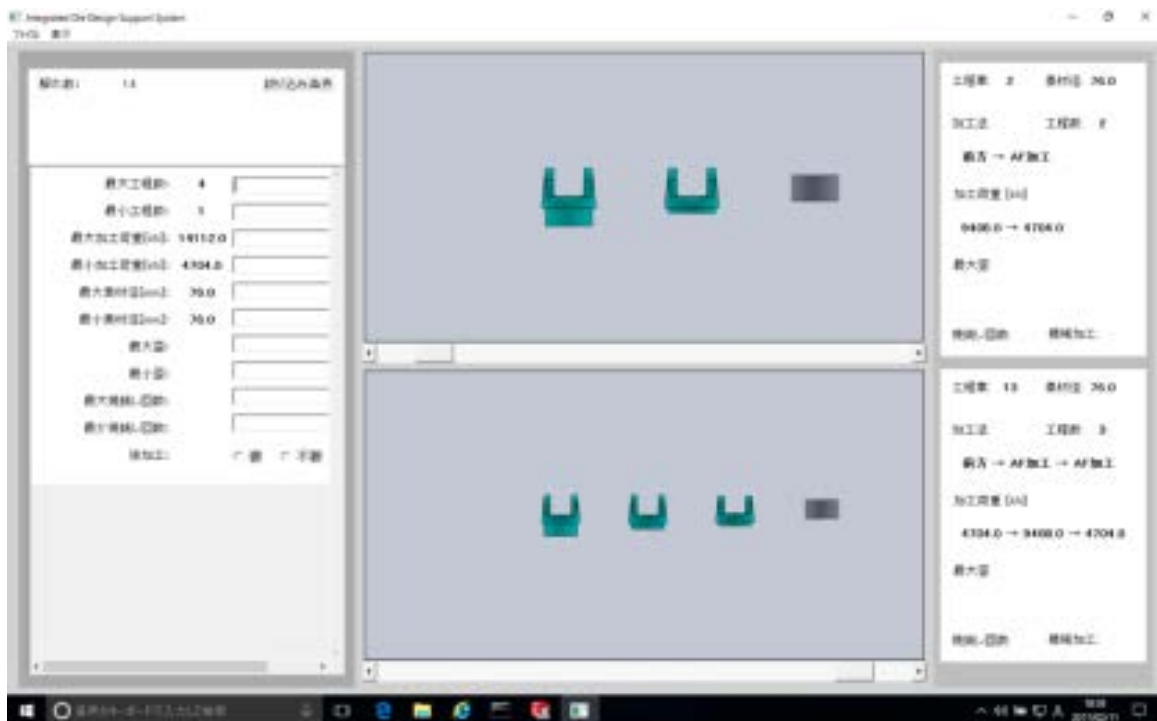
●鍛造工程設計知識ベース、および鍛造工程複合化知識ベースを用いて、鍛造工程設計支援システムを開発した(図【1】-(1)-②、図【1】-(1)-③)



図【1】-(1)-①工程設計支援システム開発の説明



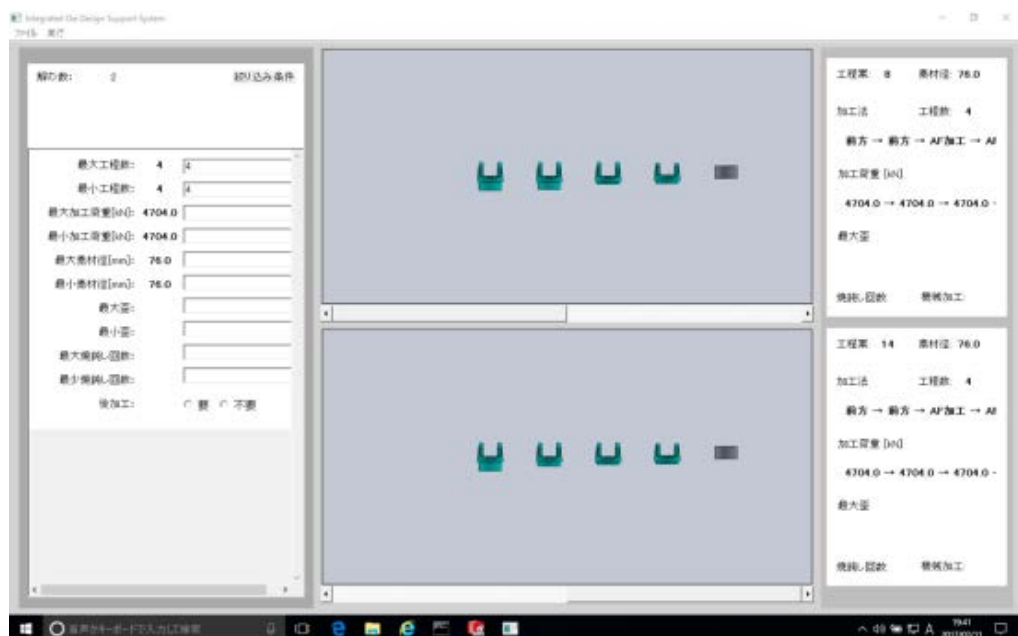
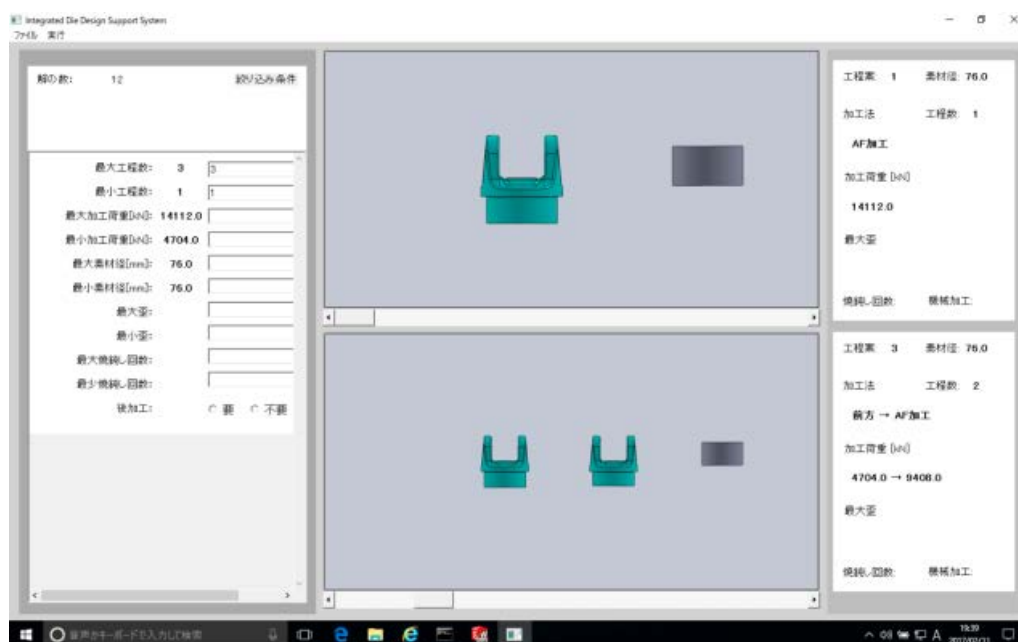
図【1】-（1）-② 鍛造工程設計支援システムの入力画面例



図【1】-（1）-③ 鍛造工程設計支援システムの評価画面例

(2) 成果 (目標と達成度)

技術目標に掲げた「工程設計支援システムを100%完成させ、ヨーク設計において、熟練技術者並みの工程設計を従来の12時間から1時間に短縮する。」に対し、ヨークに対して鍛造部品データの入力から鍛造工程案49個の表示、比較検討までを10分以内に行えることを確認できたので大幅な目標達成となった。(図【1】 - (2) -①)



図【1】 - (2) -① ヨークに対する鍛造工程案の生成例

【2】ターレット鍛造装置のプロトタイプの構築

(1) 実施内容

最終年度は、前年度鍛造3工程で完成したターレット鍛造装置の実機単体を鍛造4工程に、また面取り工程まで増やし自動制御プログラムの変更と装置内の上下型の位置調整を行った。更に、鍛造工程と面取り工程を増やしたターレット鍛造装置実機を600tonサーボプレス内に組み込み、プレス内で動作させ上下の型がしっかり合わさって位置精度がしっかりであることを確認した。また、全工程の目標値を前年度60秒に設定し直し、装置をプレス内に組み込んでからの統合試作トライアルを実施した中で時間計測を行った。(図【2】-(1)-①)

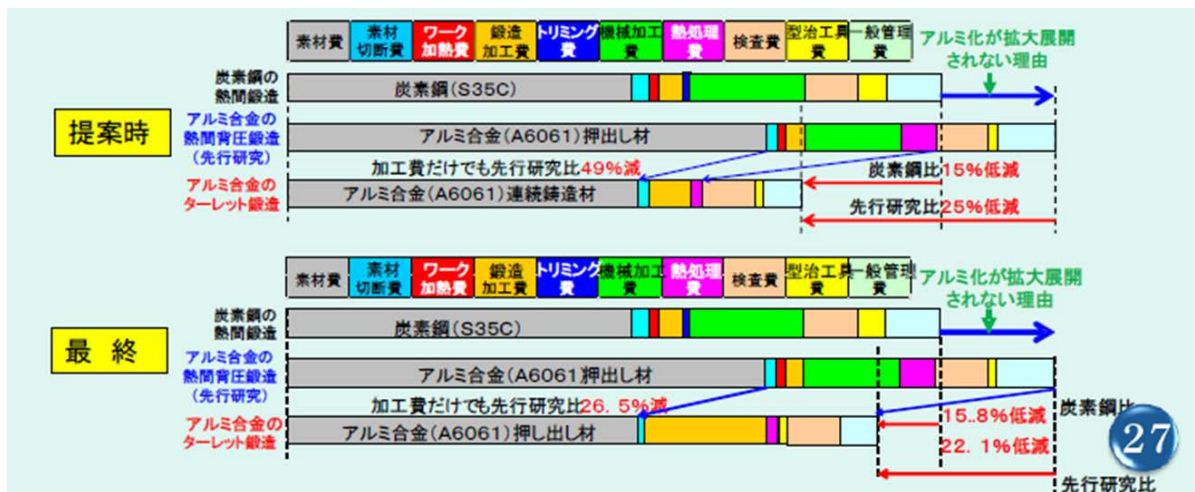


図【2】-(1)-① ターレット鍛造装置の動作している様子

(2) 成果 (目標と達成度)

技術目標として「ターレット鍛造装置のプロトタイプを製作してから、当該装置を用いて、素材であるアルミ合金を押し出し材から連続鍛造材へ変更し、ヨーク鍛造部材の製造原価を炭素鋼製比で15%、先行研究比で25%低減し、生産タクトタイムを先行研究比で約1/2に短縮(216秒を119秒に短縮)する。」を掲げていたが結果は以下の通りである。

① ヨーク鍛造部材の製造原価を炭素鋼製比で15%、アルミ化先行研究比で25%低減目標に対し、炭素鋼製比で15.8%、先行研究比で22.1%低減することができた。(図【2】 - (2) -①)



図【2】 - (2) -① ヨーク鍛造部材の製造原価比較図

② 生産タクトタイムを先行研究比で約1/2(50%減)に短縮(216秒を119秒に短縮)するに対し、約17%短縮の結果となった。現状の実力では時間短縮は目標達成とはいかなかったがコスト優位性は変わらない。(図【2】 - (2) -②)



図【3】-(2)-② 生産タクトタイム比較図

【3】アルミ合金製ヨークの温間鍛造条件の最適化

(1) 実施内容

最終年度はターレット鍛造装置を用いたヨーク鍛造の統合試作検証トライアルを実施した。(図【3】-(1)-①、図【3】-(1)-②、図【3】-(1)-③)



図【3】-(1)-① 統合試作トライアルの実施状況

試作結果

12/5,6ヨーク鍛造トライ結果表

2016/12/7
神戸相ターレット工作所
技術営業部 梅野敏明

| 番号 | 材料長さ (mm) | 熱処理 | 荷重(ton) | | | | | | |
|----|--------------|-------|---------|---------------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | | 1工程 | 2工程 | 3工程-1 | 3工程-2 | 4工程-1 | 4工程-2 | |
| 1 | 41.9 | 焼きなまし | 437 | 343 | 353 | 311 | 144 | 325 | |
| 2 | 42.5 | 焼きなまし | 489 | 363 | 365 | 311 | 172 | 382 | |
| 3 | 42.2 | 焼きなまし | 479 | 358 | 373 | 315 | 145 | 315 | |
| 4 | 42.0 | 溶体化 | 542 | 425 | 476 | 432 | | | |
| 5 | 42.4 | 溶体化 | 478 | 1工程で割れ発生のため中断 | | | | | |



図【3】-(1)-② 統合試作トライアルの試作結果

また、試作品の単体評価（強度評価）をするべく、硬度試験及び引張試験を実施し、川下ユーザーへの報告を行った。（ 図【3】-(1)-③、図【3】-(1)-④、図【3】-(1)-⑤ ）

ヨーク単体評価の状況

【状 況】

・単体評価は静的強度として硬さ(HV)と引張強さ(MPa)を求めるべく、各試験を実施した。

硬さ試験

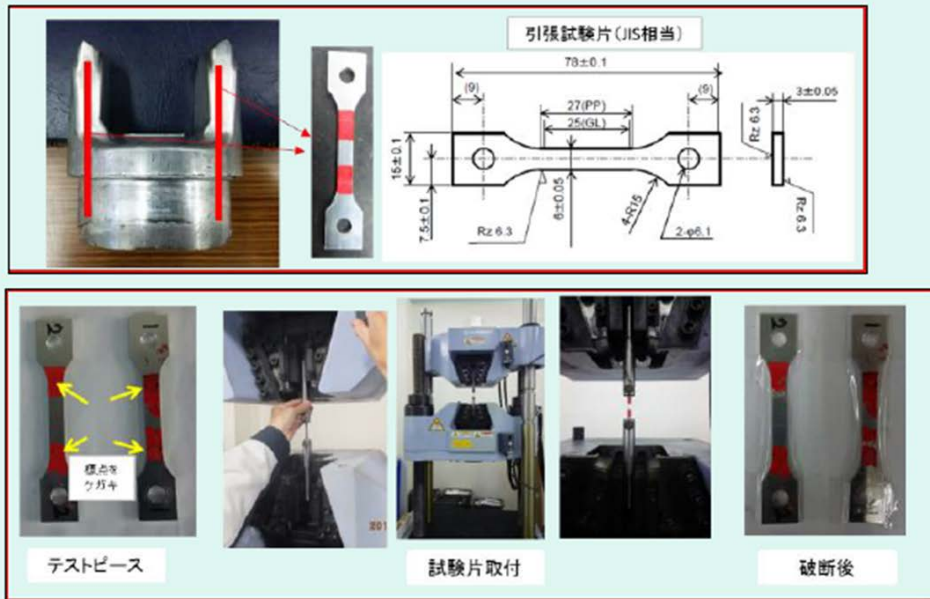
①下図のように鍛造品を半割し断面の硬さを測定した。(硬さ試験はHvにて実施)



図【3】-(1)-③ ヨーク単体評価 硬さ試験

【引張り試験】

①下図のように鍛造品の角から円筒部にかけて板状のテストピースを削り出して、ワークに標点表示(印を付ける)をし、治具にセット。 万能引張試験機(島津UH-F500knX)に取り付けした。



42

図【3】-(1)-④ ヨーク単体評価 引張りの試験

ヨーク単体評価の結果

【状況】

- ・硬さについては目標の140~160HVに対し、HV140以上をギリギリではあるが何とかクリアできた。
- ・引張試験については客先図面の要求仕様である引張強さ320(MPa)、耐力280(MPa)以上に対し15%以上向上した結果を得ることができた。

硬さ試験結果(Hv)

| 試験片No. | A点 | B点 | C点 | D点 | E点 | 全体平均 | (備考) |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 1 | 142.6 | 140.2 | 138.8 | 141.5 | 142.9 | X | |
| 2 | 141.5 | 141.5 | 140.2 | 140.2 | 141.5 | | |
| (平均) | 142.1 | 140.9 | 139.5 | 140.9 | 142.2 | 141.1 | |

引張り試験結果

| 試験片No. | 標点間引張ワーク板厚 | 標点間引張ワーク板幅 | 破断前標点間距離 | 破断後標点間実測値 | 破断評価 | 伸び値(%) | 引張強さ(MPa) | 0.2%耐力(MPa) | (備考) |
|--------|------------|------------|----------|-----------|-------|--------|-----------|-------------|------|
| 1 | 2.99 | 5.98 | 25 | 28.0 | B | 12 | 372.45 | 371.18 | |
| 2 | 3.00 | 6.00 | 25 | 28.2 | B | 12.8 | 378.14 | 368.27 | |
| | | | | | (平均値) | 12.4 | 375.30 | 369.73 | |

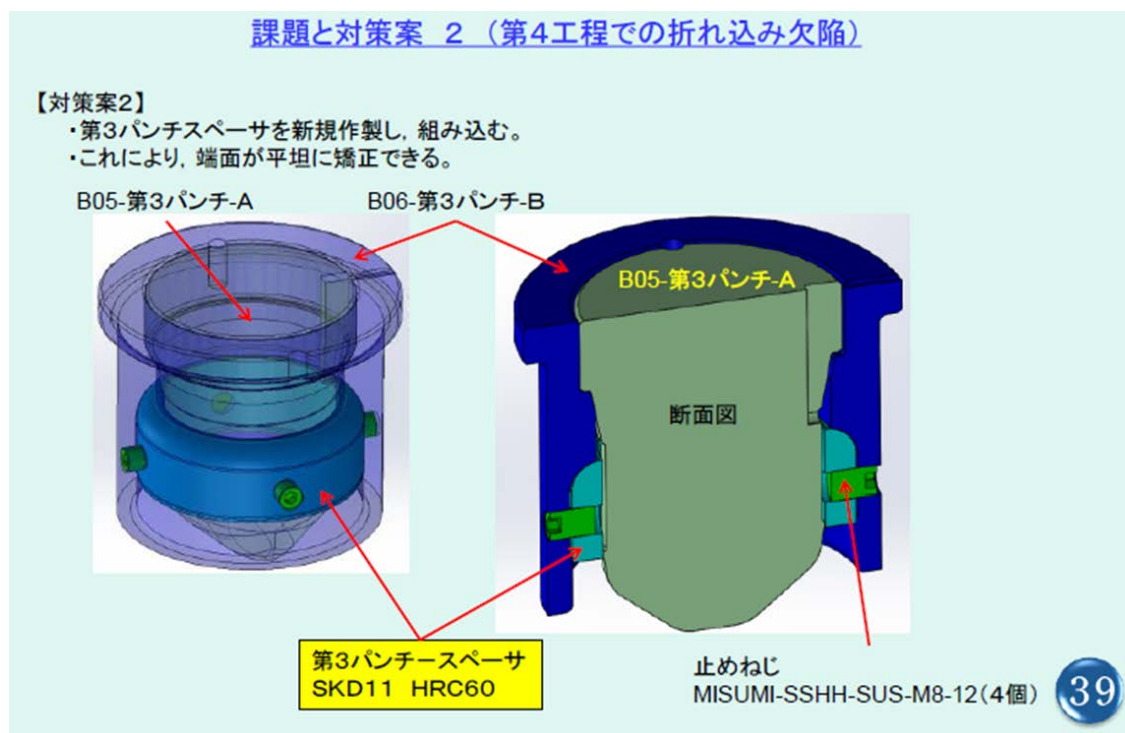
43

図【3】-(1)-⑤ ヨーク単体評価 硬さと引張りの試験結果

最終年度、川下ユーザーの所望で設計変更となったヨークの鍛造型を新作り、統合試作トライアルを実施したが、鍛造品そのものにも形状不良が発生し、改善方を検討した。以下に不具合状況と改善検討案を記す。(図【3】-(1)-⑥、図【3】-(1)-⑦)



図【3】-(1)-⑥ ヨーク鍛造品の形状不具合



図【3】-(1)-⑦ ヨーク鍛造品の形状不具合対策案

(2) 成果（目標と達成度）

最終年度の技術目標「統合試作を100%完了させ、ヨーク円筒端における材料廃棄率を0%とし、プレス装置内で角（つの）部の2穴の連続横穴抜きを可能とする。」に対し、円筒端の成形が前述の不具合報告通り綺麗にできていないので現段階では目標達成とはいかないが、対策を施し成形不具合をなくせば、材料廃棄率0%は達成される見込みである。一方、プレス装置内でのヨーク角部の2穴連続穴抜きについては達成することができた。また、ヨーク鍛造品の単体評価（強度評価）においては、川下ユーザーへ報告したところ一定の評価をいただいた。

【4】多段階時効における金属組織形成メカニズムの解明と時効制御条件の最適化

(1) 実施内容

最終年度は、単純据込で得られたデータを基に最適と判断される製造条件設定し、実際の製品鍛造加工（ヨークの鍛造加工）を実施、玉成した鍛造品の機械的性質を調査し、目標の強度向上が図れるか確認した。（ 図【4】-（1）-①、図【4】-（1）-② ）

ヨーク単体評価の状況

【状 況】
・単体評価は静的強度として硬さ(HV)と引張強さ(MPa)を求めべく、各試験を実施した。

硬さ試験
①下図のように鍛造品を半割し断面の硬さを測定した。(硬さ試験はHvにて実施)



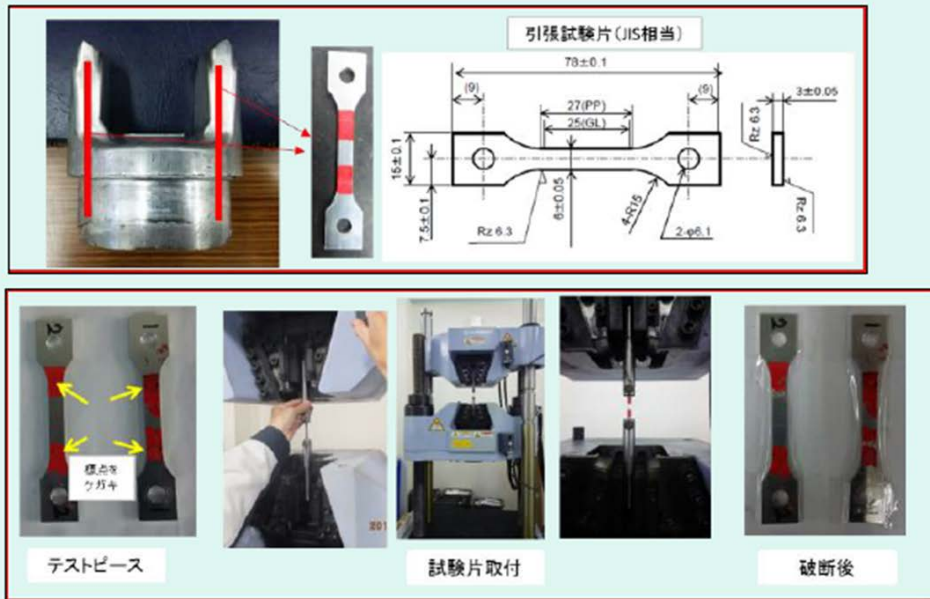
硬さ試験の様子

41

図【4】-（1）-① ヨーク単体評価 硬さ試験

【引張り試験】

①下図のように鍛造品の角から円筒部にかけて板状のテストピースを削り出して、ワークに標点表示(印を付ける)をし、治具にセット。 万能引張試験機(島津UH-F500knX)に取り付けした。



図【4】 - (1) -② ヨーク単体評価 引張り試験

(2) 成果 (目標と達成度)

最終年度の技術目標「多段階時効制御条件を最適化するためのデータベースを作成し、このデータベースを利用して多段階時効制御条件を最適化し、ヨーク鍛造部材の機械的特性(硬さ)を従来品の15%以上向上し(Hv140~160)、かつ 靱性は同等以上を確保する。」に対し、硬さについては目標の140~160HVに対し、HV140以上をギリギリではあるが何とかクリアできた。また、引張試験については客先図面の要求仕様である引張強さ320 (MPa)、耐力280 (MPa) 以上に対し15%以上向上した結果を得て、靱性指標の伸びについても10%台を確保することができ、目標を達成することができた。(図【4】 - (2) -①)

ヨーク単体評価の結果

【状 況】

- ・硬さについては目標の140～160HVに対し、HV140以上をギリギリではあるが何とかクリアできた。
- ・引張試験については客先図面の要求仕様である引張強さ320(MPa)、耐力280(MPa)以上に対し15%以上向上した結果を得ることができた。

硬さ試験結果(Hv)

| 試験片No. | A点 | B点 | C点 | D点 | E点 | 全体平均 | (備考) |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 1 | 142.6 | 140.2 | 138.8 | 141.5 | 142.9 | ✕ | |
| 2 | 141.5 | 141.5 | 140.2 | 140.2 | 141.5 | ✕ | |
| (平均) | 142.1 | 140.9 | 139.5 | 140.9 | 142.2 | 141.1 | |

引張り試験結果

| 試験片No. | 標点間引張 ワーク板厚 | 標点間引張 ワーク板幅 | 破断前 標点間距離 | 破断後 標点間実測値 | 破断 評価 | 伸び値 (%) | 引張強さ (MPa) | 0.2%耐力 (MPa) | (備考) |
|--------|----------------|----------------|--------------|---------------|----------|------------|---------------|-----------------|------|
| 1 | 2.99 | 5.98 | 25 | 28.0 | B | 12 | 372.45 | 371.18 | |
| 2 | 3.00 | 6.00 | 25 | 28.2 | B | 12.8 | 378.14 | 368.27 | |
| | | | | (平均値) | | 12.4 | 375.30 | 369.73 | |

43

図【4】 - (2) - ① ヨーク単体評価 硬さと引張り試験結果

最終章 全体総括

① 複数年の研究開発成果

以下に4つの各研究課題の複数年成果について記す。

【1】鍛造工程設計案を自動生成する知的設計支援システムの開発

鍛造工程設計案の自動生成システムの構築にあたり、平成26年度から段階的に活動を行った。平成26年度には、非軸対象部位として JIS 規格等に規定されている非軸対称部品の表現に汎用的に必要な非軸対称要素の5種類（六角、四角、楕円、半円、ギヤ）のモデル化を達成し、ヨークの形状表現ができるようになった。平成27年度には、机上シミュレーションにて鍛造品形状に対して被加工材の加工限界や加工精度を満足する2案以上の工程設計案の生成手法を考案し、最終年度、工程設計支援システムを完成させ、ヨーク設計において熟練者並みの工程設計を従来の12時間から10分まで大幅な短縮するのに成功した。

【2】ターレット鍛造装置のプロトタイプ構築

本研究の中核テーマであるターレット鍛造装置の開発をするべく、平成26年度から3ヶ年にわたり、装置開発を段階的に進めた。平成26年度にはターレット鍛造装置の設計製作し、機械的な組み付けを完了させ手動にて実機の動作確認と干渉チェックを済ませた。また、装置内のヨークの角部分横穴抜きを担当させるインライン横穴切削機構部についても設計製作し、機械的な組み付けを完了させ手動にて実機の動作確認と干渉チェックを済ませた。平成27年度には、ターレット鍛造装置に電氣的制御を施し、自動動作確認を実施したが、この段階では、材料投入から加工後の搬出までの鍛造加工に関わる目標時間30秒に対し60秒以上と目標には大幅に未達であった。最終年度には、実際にプレス内に装置を組み込み、鍛造試作を行ったが、生産に関わるすべての工程を含んだ生産リードタイムにおいて目標としていた対アルミ化先行研究比約1/2（50%減）に対し、約17%低減の結果で未達に終わった。しかし、製造コストにおいては材料費の低減等により、対炭素鋼比15%、アルミ化先行研究比25%低減目標に対し、各々15.8%、22.8%低減とほぼ達成することができた。

【3】アルミ合金製ヨークの温間鍛造条件の最適化

当該研究テーマについても、3ヶ年かけ段階的に活動を行った。平成26年度にはヨーク鍛造金型を設計するにあたり、FEM解析、実験シミュレーションを駆使して型設計を完了させた。また、鍛造ワークを加熱するための加熱器を製作するにあたり必要な機構設計を実施した。平成27年度においては、ヨーク鍛造型と鍛造ワークの加熱器を設計製作し、ヨーク単体一次試作を実施して成形確認を行い、型の問題抽出を行った。また、加熱器については30秒以内で200℃まで加熱できる仕様目標を掲げていたが、能力は目標に対し十分である結果を得た。最終年度では、川下ユーザーからの所望でヨーク鍛造品の大幅な設計変更が生じ、ヨーク鍛造型の新型を設計製作し、統合試作トライアルを実施したが、トライアル中に金型が破損し、破損原因の抽出作業を実施した。トライアルで成形した鍛造品については、外観品質に不十分な箇所はあるもののほぼ形状はでていたので、内部品質（強度）の確認したところ、引張強度は目標としていたアルミ化先行研究比15%以上 up に対し17.3%向上、硬度においても目標の140~160（Hv）に対し141.1（Hv）と目標達成することができた。また、試作したヨーク鍛造

品の円筒端における材料廃棄率を0%とする目標を掲げていたが、形状不具合が発生し、現時点では目標未達の判断となるが、改善方案は検討し、対策を実施すれば目標達成になる見込みである。加えて、川下ユーザーも注目していたプレス装置内でのヨーク角部分2穴連続横穴抜きは達成することができた。ただし、設計変更後のヨーク鍛造品は形状に不十分な箇所が残り、川下ユーザーへアッセンブリ評価のための鍛造品提供ができていない。今後、完品形状の製作が課題として残った。

【4】多段階時効における金属組織形成メカニズムの解明と時効制御条件の最適化

当該テーマも3ヶ年に渡り活動を行った。平成26年度には、最適な鍛造条件を見出すための単純潰し型を製作し、これを用いて平成27年度までに1回プレスして成形ポイントまで行く場合、2~3回プレスして成形ポイントに行く場合においてアルミ鍛造品の強度確保に必要な条件データを取得し、最終年度には統合試作トライアルに条件適用して鍛造品評価を行った。【3】項にも前述したが、適用した製造条件下で試作した鍛造品の引張強度は目標としていたアルミ化先行研究比15%以上 up に対し17.3%向上、硬度においても目標の140~160 (Hv) に対し141.1 (Hv)、靱性指標の伸びも12.4%と目標達成することができた。

② 研究開発後の課題について

品質面（鍛造形状）で川下企業に提供できる完品が得られていない状態で、まずは形状不具合を改善し、客先でのアッセンブリ評価に持ち込むことが最優先である。コスト的には、現在の手持ちの情報内でも成立するレベルに収まりそうなので、早期に改善し事業化に必要な次のステップに移りたいと考える。品質、コストが客先で認められれば、カーメーカーに対し戦略部品として川下企業が売り込みに動いていただけるかと思われる。そこで、補完研究を以下のように設定し実施する予定である。

- ◆補完研究のテーマ：アルミヨーク鍛造品の3次試作
- ◆補完研究の実施主体：(株)戸畑ターレット工作所
- ◆補完研究の資金供給元：自己資金または公的資金
- ◆補完研究の概要：サポイン事業最終年度で実施した鍛造トライの中ではヨーク鍛造品は形状不具合を残したままでまだ完品とは言えない。そこで、本事業期間内で検討した対策法案を基に、金型の設計変更と場合によっては成形に有利な形状変更も織り込み3次試作を実施し、形状不具合の改善を行い、以降のプロペラシャフトへのアッシー（組み込み）評価、車両評価に繋げていく。

③ 事業化展開について

川下企業との連携については、提案以前からアルミ鍛造ヨークの地場調達の話を引き合いとしていただいております。現在もヨークについてアドバイス頂く等良好な関係を築いている。また、想定顧客へのアプローチの状況は、まだ鍛造品をアセンブリできる品質状態にもっていかけてないので、早期に鍛造品単体の品質確保（形状確保）を行い、客先でのアセンブリした後の強度評価に繋げていく方針である。尚、事業化スケジュールについては以下の表の通りである。（表③ 事業化スケジュール）

表③ 事業化スケジュール

| 実施内容 | 平成29年度 上期 | 平成29年度 下期 | 平成30年度 上期 | 平成30年度 下期 | 平成31年度 上期 | 平成31年度 下期 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 【1】製造3次試作 【1-1】設計見直し 【1-2】金型設計 【1-3】金型製作 【1-4】製造ライアル 【1-5】型修正およびモトリ 【1-6】単品再評価 | | | | | | |
| 【2】客先アッセンブリ評価 【2-1】一次評価 【2-2】二次評価 | | | | | | |
| 【3】エンドユーザー売り込み 【3-1】車両計画継り込み獲得 【3-2】ターゲット車両製品設計 【3-3】金型設計及び金型製作 【3-4】ターゲット車両製造品試作～アッセンブリ～車両組み込みデータ取得 | | | | | | |
| 【4】量産立ち上げ計画 【4-1】車両イベ木毎の試作 【4-2】量産条件の決定 【4-3】量産体制整備 | | | | | | |
| 【5】量産スタート | | | | | | |

平成32年度まで想定

平成33年度 フルモデルチェンジの車両立ち上げが最速と予想