

平成 2 3 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「N i 基合金鍛造の高度量産プロセスの開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 4 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 鍛造技術開発協同組合

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	1
1-2	研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	2
1-3	成果概要	4
1-4	当該研究開発の連絡窓口	5

第2章 本論

①	調査研究	6
②	試験・研究設備と付帯設備の設計・製作	8
③	金型技術の研究開発	
③-1	最適金型材料の選定	10
③-2	金型材料の高温特性試験と試作用金型の製作	12
④	組織微細化研究	14
⑤	鍛造試作研究	16
⑥	試作品外部評価	21
⑦	最適鍛造工法の確立	22

最終章	全体総括	23
-----	------------	----

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

近年、自動車は低燃費を可能にする新エンジンの開発が進められ、エンジンバルブやターボチャージャー用ウェストゲートバルブ等のエンジン用鍛造部品は高性能化、特に要求耐熱性能が年々高温化してきている。そのため、排気系耐熱部品は従来の Fe 基から、高耐熱、高性能である Ni 基へと変わりつつある。また同時に航空機業界においてもエンジンの高性能化のために Ni 基を主とした超耐熱鋼等の鍛造部品への展開がある。

これらの Ni 基材料は難加工材と言われ、鍛造が難しい材料でありながら、ネットシェイプ化の要求が高く、薄肉・軽量化が求められている。また、自動車業界はもとより、今後、航空機業界においてもコスト低減の要請が厳しくなる。そのため、ネットシェイプ鍛造による材料費、切削加工量の削減、生産性の向上、工程の削減によるコスト削減を図る新たな高度量産プロセスの開発が必要とされる。

本研究開発はサーボプレスによる新たな鍛造プロセスを開発し、Ni 基合金を低荷重で熱間鍛造することによって、イニシャルコストのみならず、ランニングコストの低減を可能とするとともに、荷重低減による製品精度の向上は、後工程である切削加工の最小化、鍛造工程の短縮等の効果によりトータルコスト低減においても大きく貢献すると考えられ、その技術は、自動車及び航空機の熱間鍛造部品の加工へ幅広く展開することも可能である。この開発により、自動車に関する高度化目標「低燃費を可能にする新エンジン開発のために新素材・新構造鍛造技術の開発」及び航空機に関する高度化目標「エンジン部品に関する使用する超耐熱鋼等難加工材の鍛造製品開発」を同時に達成することである。

自動車、航空機共にエンジンの高機能化が求められ、部品の高強度化、高耐熱性、軽量化を目的として高機能材料の適用が図られている。これら高機能難加工材の複雑形状ネットシェイプ成形鍛造及び工程短縮、成形荷重の低減によりコスト削減を実現するために、本計画は、サーボプレスと付属のダイセットによる精密・複合化したひずみ速度制御鍛造を行う鍛造プロセス開発とともに、これを有効に機能させるため、鍛造材の組織微細化技術研究及び新たな金型材料開発を並行することにより高能率な高度生産プロセスの開発を行った。平成 22、23 年度の主たる開発研究内容は次の通り。

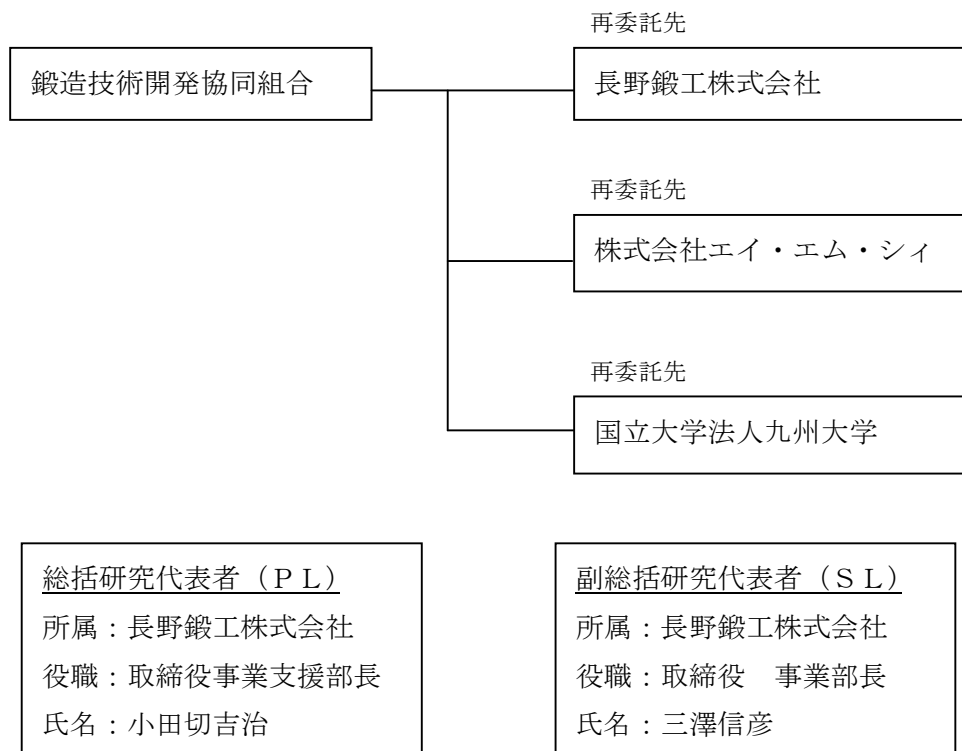
- ・ Ni 基合金（特にインコネル 718）の超塑性現象の出現を実証確認する試験研究を行うため、試験設備の改良を行った。
- ・ 超塑性を発現する鍛造素材（試験モデルサイズ）の作製及びその鍛造試験を実施した。
- ・ 鍛造プロセスの最適条件の把握、評価品の試作試験、製品評価・プロセス評価を実施する。

これらの研究をベースにして新量産プロセスの基盤技術確立を推進した。

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

本プロジェクトの参加メンバーは、研究の中核として長野鍛工株式会社、金型材料研究を分担する株式会社エイ・エム・シィおよび金属組織微細化研究を分担する国立大学法人九州大学堀田研究室、開発管理を行う鍛造技術開発協同組合から構成されている。

1) 研究組織（全体）



2) 管理員及び研究員

【事業管理者】鍛造技術開発協同組合

①管理員

氏 名	所属・役職
岩田 健二	専務理事
石津 玲子	事務局長

②研究員

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
岩田 健二	専務理事	①④
宮田 守次	嘱託研究員（ミヤタハイメック品質 技術研究所 代表）	①④

【再委託先】

長野鍛工株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
小田切 吉治	取締役 事業支援部 部長	①②③④⑤⑥⑦
三澤 信彦	取締役 事業部 部長	①②③④
八町 英樹	経営管理部 部長	③⑥⑦
北澤 大輔	事業部バルブ 2 課 課長	②③⑤
瀧沢 陽一	事業支援部技術課 課長	①②③④⑤⑥⑦
園山 竜	事業支援部技術課	①②③④⑤⑥⑦
池田 卓也	事業支援部技術課	③⑤⑦
荒井 高志	事業支援部技術課	①②③④⑤⑦
安藤 弘行	顧問	①②③④⑤⑦

株式会社エイ・エム・シイ

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
社本 稔	技術部常務取締役	③
野崎 辰夫	技術部主任	③
酒谷 隆晴	製造部次長	③

国立大学法人九州大学

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
堀田 善治	大学院工学研究院材料工学部門教授	②④

アドバイザー

氏 名	所属・役職
曾我 龍司	ホンダエンジニアリング株式会社 P/T 新機種 BLEGDA P/T Gr
石川 孝司	国立大学法人名古屋大学 工学部 教授

1-3 成果概要

22, 23 年度 2 年間の亘る研究実施項目別に目標達成状況を記述する。

①調査研究

本開発プロセスの評価に最適で、かつ将来の製品化・事業化に有効な対象製品について、特に需要家の需要背景、製品要件等の調査を行い、最適鍛造試作対象品を選定できた。

また、鍛造および組織微細化技術に関連した技術データ・情報収集分析を行うとともに、本開発プロセスの優位性を確認し、本年度の開発期間中に特許出願を完了した。

②試験・研究設備と付帯設備の設計・製作

昨年度の研究結果から Ni 基材料の超塑性現象の発現を確認した。本年度は幅広い強加工条件で組織微細化を行い、その処理材料の特性を把握するため高温引張試験装置を開発設計・製作した。これにより超塑性を期待する 800℃での材料試験が可能となり、インコネル 718 およびその他の Ni 基合金についての超塑性出現の微細化処理条件を把握した。

③金型技術の研究開発

本開発プロセスを効果的に適用するための金型技術の研究開発と絞り込み選定を完了した。その材質を適用し、Ni 基合金の超塑性鍛造を可能にする試作用金型を作製した。これにより効果的な鍛造試作が実施できた。

④組織微細化研究

- ・インコネル 718 超合金に室温で HPT 加工を 5 回転することで、結晶粒径 75 nm のナノ結晶粒組織が得られた。
- ・HPT 加工材を 700℃で引張試験すると破断伸びが 400%を超すようになり、750℃では 700%を超え、さらに 800℃では $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ の高ひずみ速度で 1000%に及ぶ超塑性伸びが観察された。
- ・0.75 回転した HPT 試料でも試料中心から 2 mm の個所では (相当ひずみ 8)、750%におよぶ超塑性伸びが得られ、3 回転の試料では 1200%に達した。
- ・インコネル 718 と類似の組成を有する INCONEL625、SUH661、Nimonic80A、SUH660 超合金を 800℃の温度で $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ のひずみ速度で引張試験を行うと、いずれも 400%かあるいはそれ以上の超塑性伸びが観察された。

これらの研究結果から組織微細化 HPT 処理によるインコネル 718 超合金等の超塑性鍛造可能性を見出した。

⑤鍛造試作研究

④項研究による組織微細化処理材料 (超塑性を発現する) を鍛造試料に圧縮鍛造試験及びモデル型鍛造 (素材が極小であり、製品形状・サイズは限定される) 試作を実施した結果：

- ・サーボプレス of 低速モーション (無変リンクモーションの 1%) の試験条件の中で

超塑性現象を確認した。

- ・ HPT 処理（1 回転処理）によりオリジナル素材に比較し成形荷重が 66.9%低減していることを確認した。

これらの結果から組織微細化 HPT 処理によるインコネル 718 超合金等を対象とするサーボプレスを使用しての量産型超塑性鍛造の可能性を見出した。

⑥試作品外部評価

本プロセスによる試作品の鍛造データを収集・分析し、想定される川下企業にその技術情報を提供し緊密な情報交換を行うとともに、評価試験を依頼し、製品化・事業化への見通しを把握することができた。

⑦最適鍛造工法の確立

試作対象品の製造条件と品質及び外部評価を総合的に解析し、その最適鍛造工法を絞り込む基盤的技術を把握できた。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

鍛造技術開発協同組合 専務理事 岩田健二

TEL : 042-384-3540 FAX : 042-384-3540

E-mail : k_iwata@tanzo-kumiai.or.jp

第2章 本論

1. 実施項目：①調査研究

2. 目的

Ni 基をベースとした難加工金属材料の新たな鍛造法、金型材料、金型構造に関する研究開発は、高機能化が進んでいる航空機・自動車部品を製造する上で高度化目標となる。本計画は、その目標解決に向けた研究内容と方向性を持っており、効果的な解決が可能となる。

3. 研究内容

(1)自動車分野における対象品：エンジンバルブ

近年、自動車向けエンジンバルブやターボチャージャー用ウェストゲートバルブは高性能化と環境対策により、要求される耐熱性能が高温化してきている。そのため、排気系耐熱部品は Fe 基合金から、高耐熱、高性能を具えた Ni 基合金へと変わりつつある。今後も高耐熱、高性能化のニーズは急速に加速していくものと考えられ、さらなる高温(1000℃以上)対応部品も開発されるものと予測される。

長野鍛工株式会社は、これまでに Ni 基エンジンバルブやウェストゲートバルブのアプセット鍛造に成功し、2009 年度には月産 2 万本以上の Ni 基エンジンバルブを生産している。適用製品は、材料が高い上、生産性が悪く、コスト低減が困難であるため、高付加価値製品のみとなっている。本研究では、材料が持つひずみ速度依存性の特性を最大限に活用するという、現在行われていない新しい鍛造工法により、高生産性、低コスト化を実現し、国際競争力の向上と Ni 基製品の市場拡大を実現し目指すものである。

(2)航空機分野における対象品：コンプレッサブレード

航空機分野では最先端技術が多く採用され、そのエンジン部品には Ni 基が多く使用されている。今後、中・小型航空機を中心に需要が大幅に増加していくことが予測され、Ni 基部品もそれに伴い需要増加が見込まれる。

代表的な Ni 基部品としては、ジェットエンジン 1 基に数百枚～千枚程度取り付けられるコンプレッサブレード、タービンブレード及びタービンノズルが挙げられる。タービンブレード、タービンノズルの素材は精密鋳造で、またコンプレッサブレードは鍛造で主に製作される。材質は、主に Ti と Ni 基合金があり、Ni 基合金の鍛造は非常に難しく、使用設備の大型化や金型寿命の低下などの問題を含んでいるために、新たに市場に参入もしくは販路を切り開くには革新的な技術による需要家への具体的メリットの提示が必要となる。本プロセスは材料の持つひずみ速度依存性を有効に利用し、また結晶粒微細化技術を組み合わせることで従来技術に比べ大幅に荷重低減を行い、飛躍的な低コスト化を図ることができる。この技術は、航空機産業に求められているニーズを先取りする。航空機分野における本開発研究の試作対象品としては、このコンプレッサブレードが最適と考えられる。本研究はプロセス研究開発であるが、現段階で加工荷重を従来工法に対して 1/2～1/4 に低

減と生産速度 2 倍にすることを考えている。本プロセスは、従来の鍛造生産技術には見られない革新的な技術を有しており、これを実現し利用可能な状態にすることで、高機能（難加工）材料の鍛造技術において、世界に先駆けた量産を行うことができる。Ni 基鍛造品の低コスト化により、対象製品、供給市場の拡大が見込まれ、耐熱性を要求される分野への貢献が期待できる。対象とする材料は、コンプレッサブレード等に広く使われているインコネル 718 とし、その上で他の Ni 基合金に対して検討して行く。

1. 実施項目：②試験・研究設備と付帯設備の設計・製作

2. 目的

本研究では、ひずみ速度依存性を有効に活用する鍛造プロセスとして、これまでに図②-1 に示すストロークモーションを任意に 100%→1%に制御できるサーボプレス、図②-2 に示す Ni 基材料を短時間で急速昇温させる高周波加熱装置、及び図②-3 に示す金型を 800℃まで急速昇温できる金型ダイセットヒータを開発し、試験研究用として使用を目的とした。



図②-1 サーボプレス



図②-2 高周波加熱装置



図②-3 ダイセットヒータ

一方、被加工材料の結晶粒微細化の評価では、これまでの研究結果から対象材料としているインコネル 718 は 600℃以上に加熱することで超塑性現象が発現する可能性を得たが、既存の設備では最高試験温度が 600℃までと、超塑性の発現が期待できる温度域の評価ができなかった。そこで、800℃近辺での評価が可能な高温横型引張試験機を開発し、微細化を行った試料の最適加工条件を見出せるようにする。

3. 研究内容

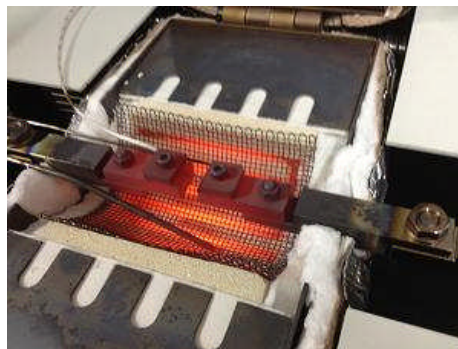
ここでは、23年度試験設備について記述する。

(1) 高温引張試験装置の開発

図②-4 に開発した高温横型引張試験機を示す。



図②-4 開発した高温横型引張試験機



図②-5 高温引張試験の状態

試験機は、φ10 から切り出した小さな HPT 試料を引っ張るという特殊なもので、炉内で引張を行う特殊アームを設計、採用した。高温引張試験を実施している状態を図②-5 に示す(試験は炉を閉じて実施するが、撮影用に炉を開けている)。

引張量は HPT 試料から切り出した試験片のゲージ部長さ 1.5mm の約 2000%に相当する 32mm を最大とした。この最大引張量は Al 合金で極めて大きな超塑性延びを発現する材料(2000%超)を基準とした。

速度制御については、幅広いひずみ速度(特に低速側)に対応できるよう 0.002～1mm/min とした。

4. まとめ

本年度は HPT 試料から切り出す小さな高温引張試験片に対応した専用高温引張試験装置を開発し、800℃での高温引張試験を実現した。これにより、Ni 基超合金の比較的低い温度域での超塑性現象を確認することができた。試験結果の詳細は次の 4 項にて述べる。

1. 実施項目：③金型技術の研究開発

③-1 最適金型材料の選定

2. 目的

本研究開発におけるプロセスは、熱間鍛造時の荷重が従来の 1/2～1/4 に低減させることを目的としており、材料への要求特性は以下のとおりである。

① 加熱されたワーク材の温度を下げないこと

② 加熱、冷却のヒートサイクルに対して強靱であること

昨年度開発した材料で鍛造試験をした結果、金型の変形量が大きかった。また金型を 800℃に加熱し鍛造することが前提であり、変形量を抑え、耐酸化性を向上させた材料開発を行う。（金型材料自体は企業独自の開発であるため、その技術内容は記述しない）

3. 研究内容

(1)研究の方法

金型材料の目標値を表③-1-1 に示す。材料の硬さ及び、耐酸化性を向上させるため、構成元素やその添加量を検討した。

これまでの開発材の特性評価、鍛造試験を行い、本プロセスに用いる金型を選定する。

表③-1-1 試作材の実績と目標値

	22 年度開発材	23 年度目標値
硬さ(HRC)	61.4	61 以上
抗折力[GPa]	2.9	2.0 以上
破壊靱性 [MN/m ^{3/2}]	32	20 以上

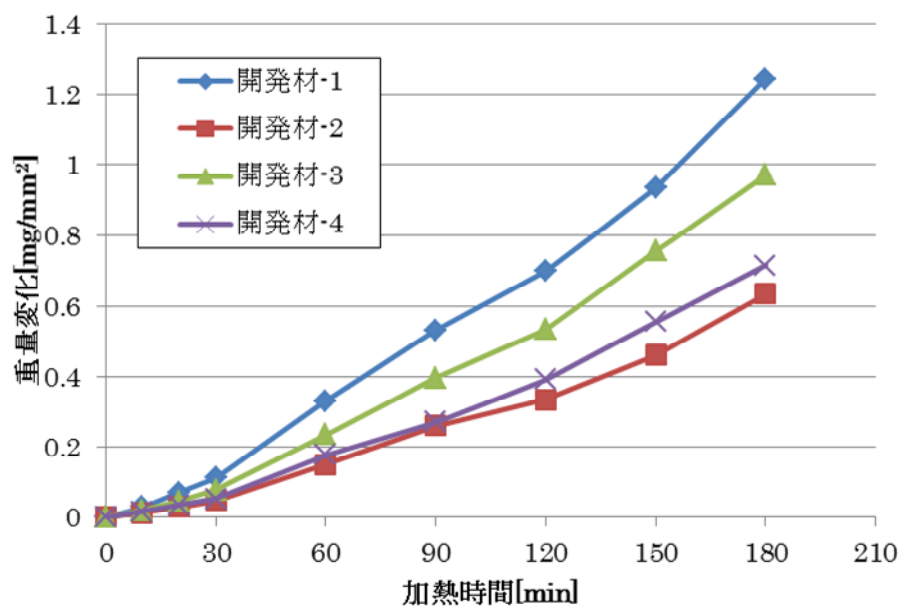
(2)研究の結果と考察

2 3 年度開発した材料の一覧を表③-1-2 に示す。開発した材料の硬さ、抗折力は目標をクリアしているが、破壊靱性値は耐酸化性向上の観点から構成元素の見直しを行った結果、目標値よりもやや低くなった。

表③-1-2 2 3 年度開発材の特性値

	開発材-1	開発材-2	開発材-3	開発材-4
硬さ(HRC) 【HRA】	66.9 【84.9】	62.5 【82.6】	66.9 【84.9】	65.2 【84.0】
比重	13.7	13.5	14.1	13.8
抗折力[GPa]	2.8	2.5	2.8	2.6
破壊靱性[MN/m ^{3/2}]	24	18	19	18

耐酸化性を評価するため、電気炉を用いて 800℃、大気雰囲気加熱し、時間経過毎の表面積に対する増量を調査した。これは、重量が増加しないほど、耐酸化性が良いことを示している。結果を図③-1-1 に示す。



図③-1-1 耐酸化試験結果

1. 実施項目：③金型技術の研究開発

③-2 金型材料の高温特性試験と試作用金型の製作

2. 目的

金型材料が実際に使用される高温域において、特性がどのように変化するか確認する。昨年度は高温硬さのみ測定したが、本年度は高温抗折力試験を試み、材料評価の参考とする。

3. 研究内容

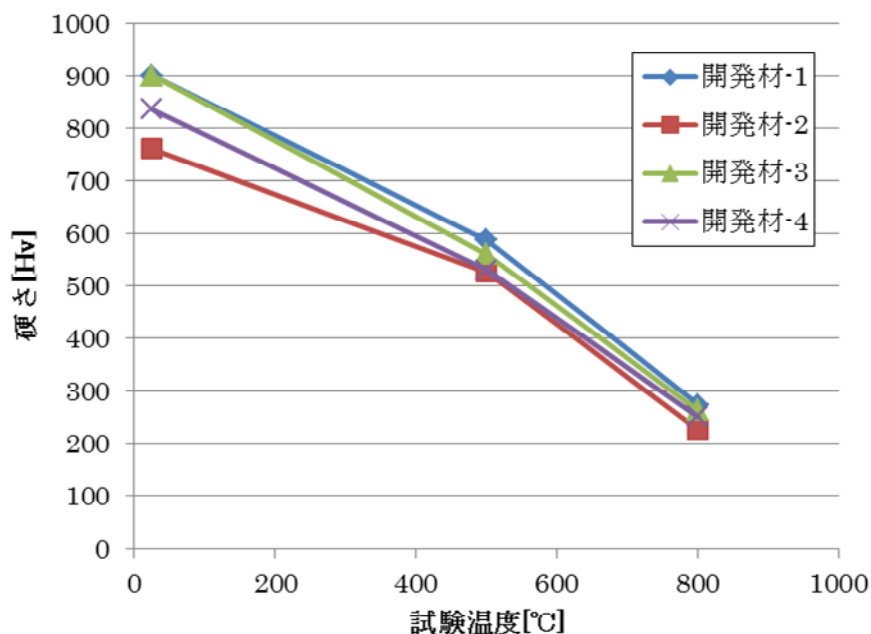
(1)研究の方法

本年度開発した材料が実際の使用温度ではどの程度の硬度となるのか、500℃、800℃での高温硬度測定を実施した。測定は昨年度同様、外部分析協力企業に依頼した。さらに高温時の特性を評価するため、高温抗折力試験を行った。

(2)研究の結果と考察

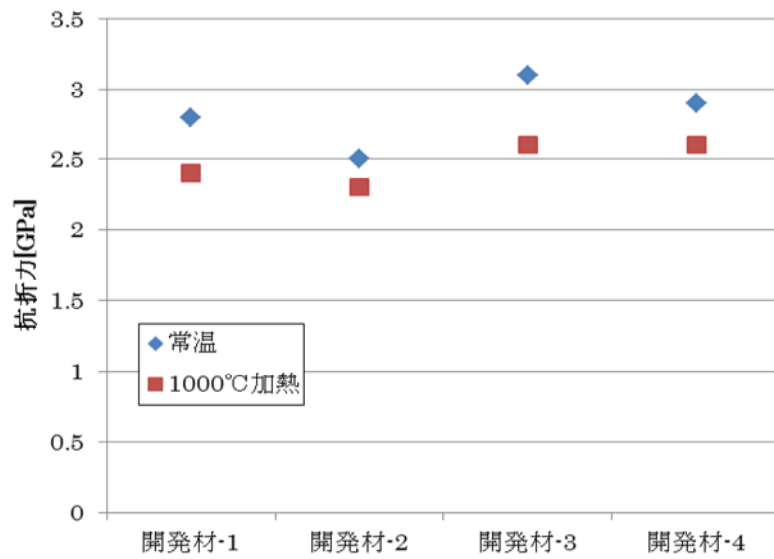
高温硬度測定結果を図③-2-1 に示し、硬さの低下を比較するため、常温時のデータ(表③-1-2 より)を追加してプロットした。硬さは温度上昇とともに低下し、使用温度である800℃では Hv250 程度まで低下した。

常温では開発材-2 の硬さが低かったが、800℃ではほぼ差異はなくなった。



図③-2-1 高温硬度測定結果

高温抗折力試験結果を図③-2-2 に示し、比較のため常温時のデータ(表③-1-2 より)をプロットした。抗折力は常温時に比べ、10~15%程度低下することが分かった。開発材-2 は4材種の中で比較的抗折力は低い、常温時との差は一番小さく、先の耐酸化性の評価からも、高温時の特性は良いと評価できる。



図③-2-2 高温抗折力試験結果

第5項で述べるφ16単純据え込み試験では、開発材-1～4の鍛造荷重に大差は見られないが、使用後の形状変形量が最も小さいのは開発材-2で、酸化影響による重量変化量が最も小さかったのも開発材-2であった（詳細は第5項で述べる）。

このことから、本プロセスにおいて現時点で最も適している材料は開発材-2であるとし、開発材-2を用いて本年度試作形状を製作した。

1. 実施項目：④組織微細化研究

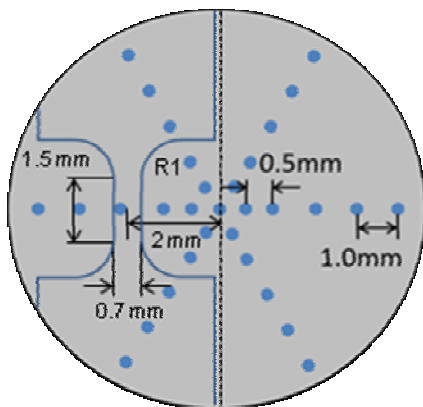
2. 目的

昨年度の研究では、インコネル（INCONEL）718 超合金に高圧ねじり加工（High-Pressure Torsion: HPT）法を行うことで約 100 nm の超微細粒組織が得られ、600℃での破断伸びが 300%を超えるという結果が得られた。さらなる高温域では超塑性現象が発現することを期待できた為、本年度は、600℃以上の高温域で引張試験ができる高温引張試験を導入し、HPT 加工で超微粒細化した INCONEL 718 超合金の超塑性現象発現を確認することを目標とした。

3. 研究内容

(1)研究の方法

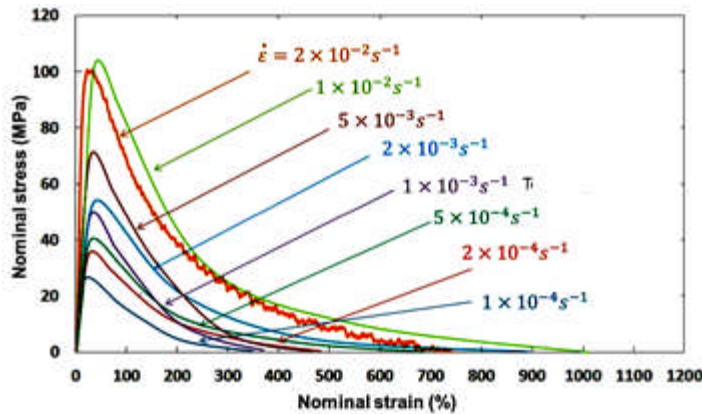
HPT 加工を行った試料(INCONEL 718 合金の他に、INCONEL625、Nimonic80A、SUH660、SUH661 合金も一部使用)を 650, 700, 750, 800℃の温度にて、初期ひずみ速度 $2 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ で高温引張試験を行い、超塑性出現の可能性を調べた。HPT 加工は、アンビル間で試料を挟圧し、回転させることで結晶粒を微細化するという方法であるが、HPT 加工の条件詳細についてはノウハウのため、記載しない。（試験片採取法のみ図④-1 に示す）



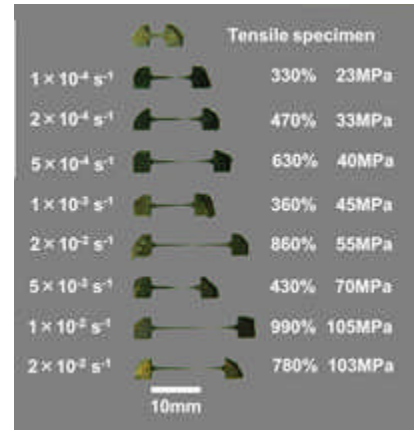
図④-1 硬度測定及び引張試験片の採取法

(2) 研究の結果

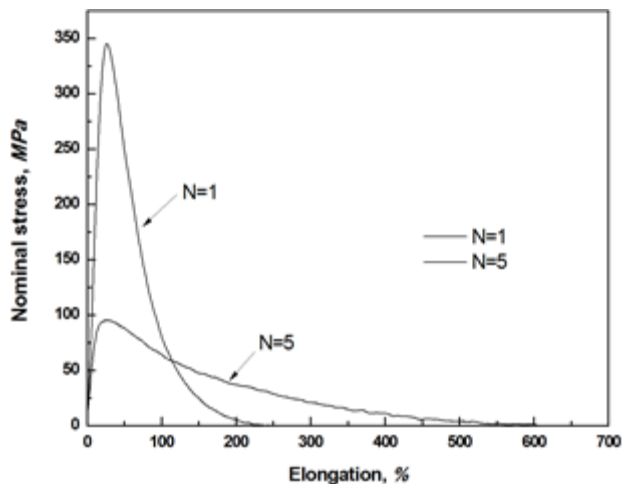
様々な処理条件、及び引張試験条件で、超塑性出現の可能性について調査を行ったが、ここでは代表条件として図④-2 から図④-5 にインコネル 718 の結果についてのみ記載する。



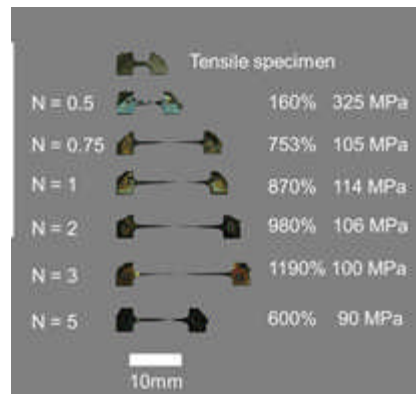
図④-2 HPT 材を 800℃で引張試験したときの応力-ひずみ曲線



図④-3 HPT 材を 800℃で引張試験したときの試験片形状



図④-4 HPT 加工を 1 回転および 5 回転したときの応力-ひずみ曲線



図④-5 HPT 加工を 0.5~5 回転とした試料を引張試験したときの試験片形状

詳細は記述しないが、インコネル 718 超合金以外の合金でも同様の傾向が確認された。これらの研究結果から組織微細化 HPT 試料によるインコネル 718 超合金等の超塑性鍛造可能性を見出した。

1. 実施項目：⑤鍛造試作研究

2. 目的

選定した試作対象品を新開発プロセスによって試作する。その金型材質選定・評価、結晶粒微細化の効果確認を行い、新工法の最適条件を見出すため試作試験を行う。同時に金型材料の評価試験を兼ねるものである。

3. 研究内容

高度量産プロセスに用いる金型材料の評価、微細化による鍛造荷重低減効果の確認を実施し、最適と考えられる条件で対象試作品の鍛造試作を行い、高度量産プロセスの実現性及び優位性を確認する。

(1) 鍛造試験

1) $\phi 16$ 据え込み試験(金型用開発材料の評価試験)

1-1) 実験目的

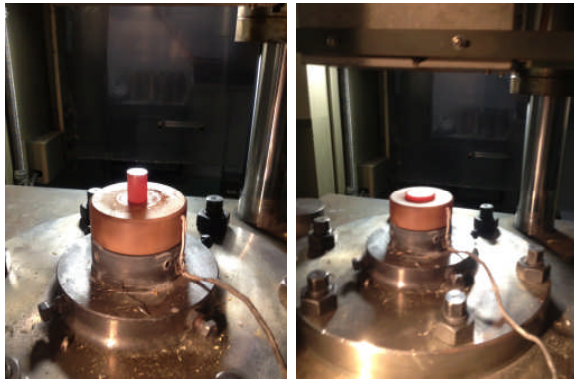
金型 800℃、ワーク 800℃の恒温鍛造を行う。開発した金型材料による単純平ツブシ鍛造試験を行い、本プロセスに適した金型材質を絞り込む。

1-2) 実験方法

開発材で製作した上面がフラットな金型で、 $\phi 16 \times L24$ 材を t4.8(高さ減少率 80%)までつぶす単純丸棒据え込み鍛造試験を実施する。

1-3) 実験結果と考察

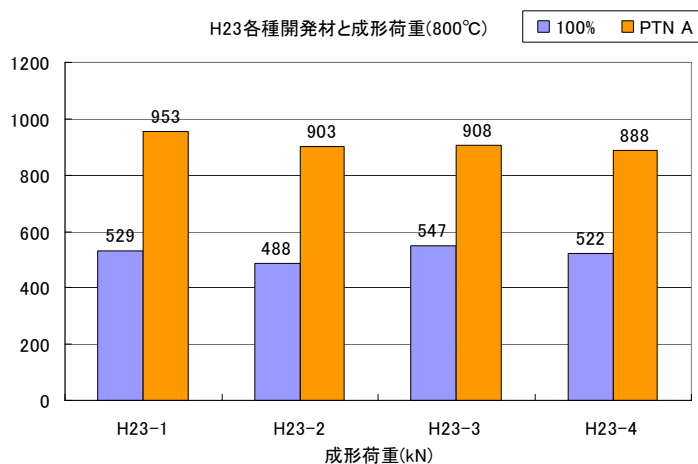
試験の状況を図⑤-1 に示す。



図⑤-1 $\phi 16$ 据え込み試験

1-3-1) 成形荷重

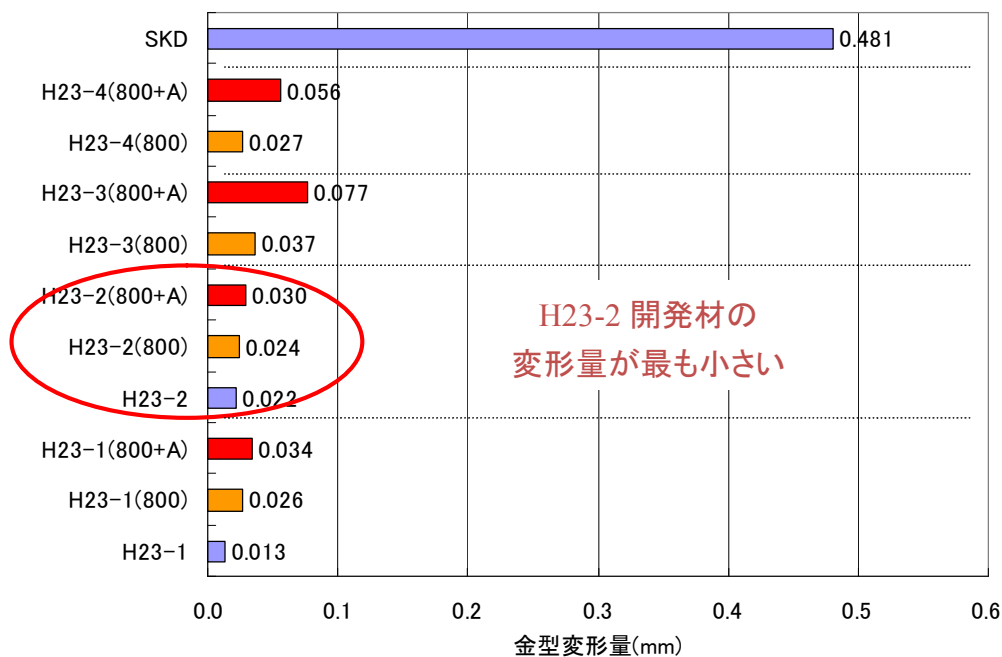
成形荷重の結果を図⑤-2に示す。鍛造試験の結果、各開発材で鍛造した際の成形荷重にほとんど差は見られなかった。



図⑤-2 H23 各種開発材と成形荷重

1-3-2) 金型変形量

鍛造試作後の金型中央部変形量を形状測定機にて測定した。結果を図⑤-3に示す。800°C条件下においてはH23-2開発材が他の開発材に比べて変形が最も小さかった。



図⑤-3 φ16 単純平ツブシ試験後の金型変形量

1-4) 単純平ツブシ試験まとめ

単純平ツブシ試験の結果から、使用後の変形で優れる H23-2 開発材が現時点で最適と考えられる。

2) HPT8 分割試料の鍛造試験

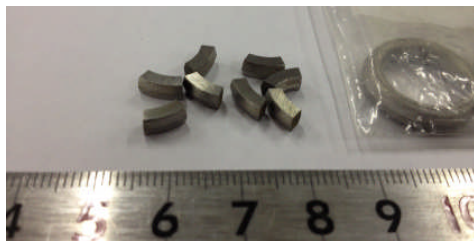
2-1) 実験目的

HPT 処理によって結晶粒微細化を行った試料を鍛造し、鍛造プロセスにおける結晶粒微細化の効果を確認する。

2-2) 試験方法

2-2-1) 試験用試料

HPT で得られる試料は現時点で、 $\phi 10 \times t1$ または $\phi 20/14 \times t4$ のリング状試料である。そこで HPT によって得られた $\phi 20/14 \times t4$ リング形状を 8 等分し、図⑤-4 に示す評価用試料とした。



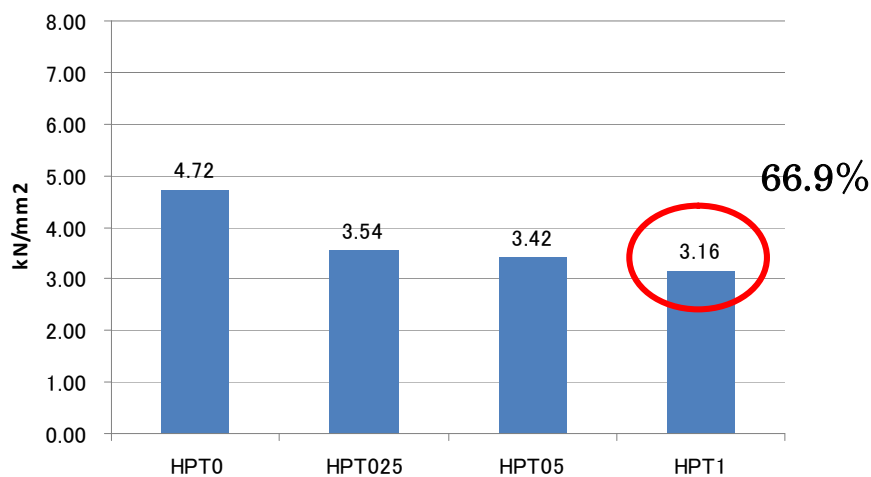
図⑤-4 評価用試料

2-2-2) 鍛造試験条件

試料及び金型加熱温度は超塑性が期待できる 800°C として、鍛造試験を行った。

2-3) 試験結果と考察

成形荷重を投影面積で割った単位面積あたりの成形荷重の比較結果を、図⑤-5 に示す。HPT0=0 回転試料、HPT025=1/4 回転試料、HPT05=1/2 回転試料、HPT1=1 回転試料を示す。HPT0 に対して HPT1 は成形荷重が 66.9%まで低減できていることが確認できた。



図⑤-5 試験結果(単位面積あたりの成形荷重)

3) HPT 試料による試作対象形状の鍛造試作

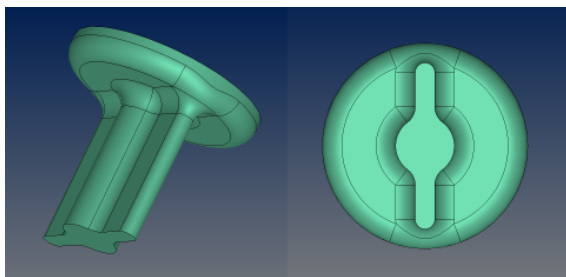
3-1) 目的

サイズの限定された HPT 試料を用いて型鍛造試作を行い、成形性を確認した。

3-2) 実験方法

3-2-1) 試作形状

HPT 試料によるミニチュアサイズの試作対象品形状(コンプレッサブレード)の試作を試みた。試作形状を図⑤-6 に示す。



図⑤-6 試作形状

3-2-2) 試験条件

試料は $\phi 10 \times t1$ の HPT 試料を複数枚重ねて使用する。HPT なし試料は機械加工のままとしており、両者には若干の厚み差がある。温度は試料及び金型温度 800°C で試験を実施した。

3-2-3) 実験結果と考察②～ミニチュアコンプレッサブレード～

試作試験では、試料がサイズの限定される為、厳密に型鍛造への適用を評価するデータの把握はできなかった。図⑤-7 に試作品、図⑤-8 に試料断面を示す。ただし、図⑤-9 に示すように、同程度の成形荷重でも HPT 試料の突出量が多いことが確認できることから、結晶微細化された材料は変形能が向上しているといえる。



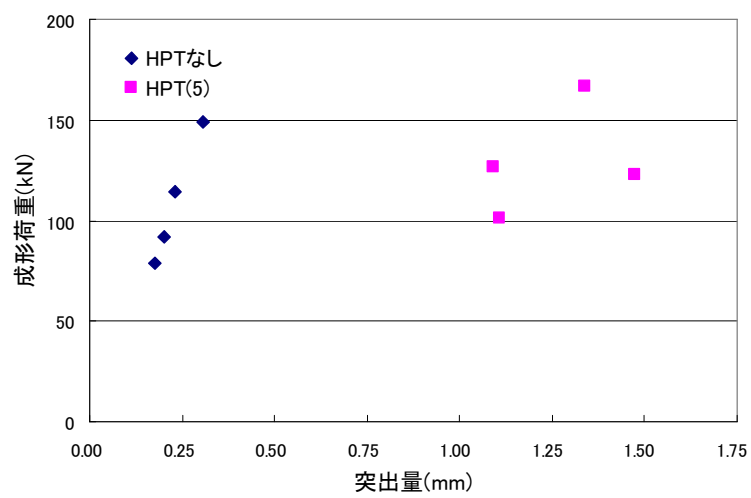
図⑤-7 試作品

(左:HPT なし、右:HPT 試料)



図⑤-8 試料断面

(上:HPT 試料、下:HPT なし)



図⑤-9 形状部突出量と成形荷重

1. 実施項目：⑥試作品外部評価

2. 目的

当研究開発の事業化に向け、対象製品の技術的要件を明確に把握する必要がある。これを前進させるため、需要家に市販材で成形した試作品（微細化試料を鍛造したものではない）と当該技術情報を提供し、緊密な意見交換を行った。

3. 研究内容

(1) 川下ユーザーへのサンプル提供と情報交換

川下ユーザーへサンプル提供を行い、情報交換を行ったが、内容は機密情報を多く含むため、記載しない。ユーザーに提供された試作品を図⑥-1 に示す。



図⑥-1 試作品外部評価用サンプル

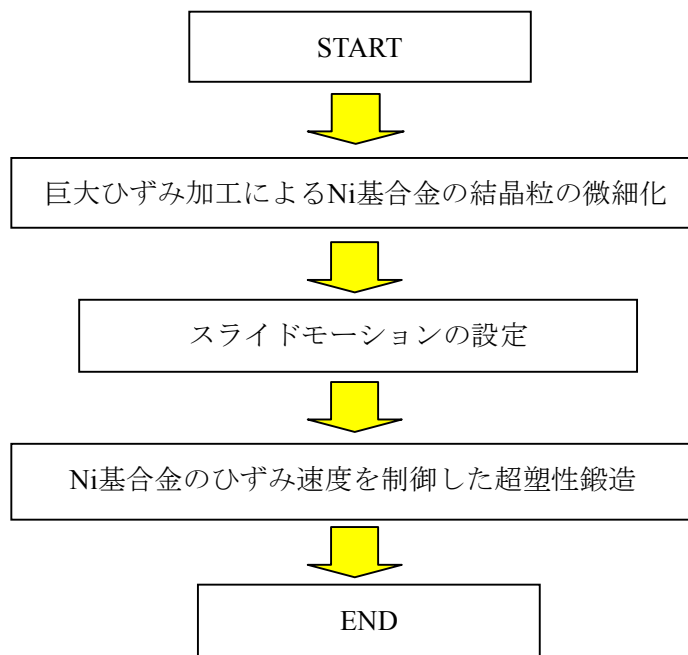
1. 実施項目：⑦最適鍛造工法の確立

2. 目的

本開発は鍛造工程の開発だけではなく、金型材料開発、鍛造素材組織微細化、CAE 解析等の新たな技術開発を組み合わせたものであり、事業化を加速するため、総合的な最適工法の条件を早期に把握する必要があり、その最適鍛造工法を絞り込む手法を検討した。

3. 研究内容

本研究の成果に基づき、最適鍛造工法の工程フローを策定した。工程フローを図⑦-1 に示す。



図⑦-1 最適鍛造工法の構想

最終章 全体総括

平成23年9月にボーイング787の営業運転が開始された事は記憶に新しい。この機体は多くの日本企業が開発、製造に携わっており、部品の35%を占める。

さらに、三菱重工のMRJ、防衛省のCX（次期輸送機）、PX（次期哨戒機）等、新プロジェクトが目白押しで航空機産業の活性化と裾野の広がりが期待される。

また、自動車産業も、三菱自工のi-MiVE、日産のリーフ等の電気自動車や、トヨタのプリウス、ホンダのインサイト等のハイブリッドが注目を浴びているが、一方では低燃費エンジンの開発も活発で、マツダのスカイアクティブ、ダイハツのミラ・イース、フォルクスワーゲンのTSi等、25km/l～30km/lを実現しており、年々燃費が改善されている(図3-1参照)。

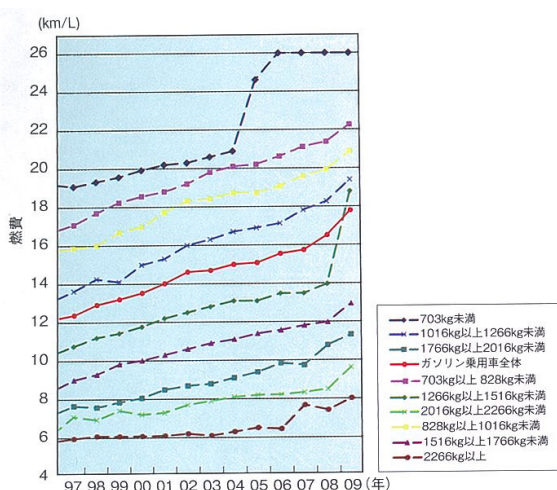


図3-1 ガソリン乗用車の10・15モード燃費平均値の推移

出典：国土交通省「自動車燃費一覧」

本研究は、航空機エンジン部品、自動車エンジン部品の低燃費、高性能化に必要な難加工材料であるNi基超耐熱合金の鍛造を低荷重で行い、高い生産性を実現しようとするものである。

そのため、材料のひずみ速度依存性、組織微細化による超塑性現象の発現とその利用、金型の温度制御を行うダイセットと耐熱金型の開発を行った。当初目標であるNi基耐熱合金の量産技術開発を効果的に推進することができた。

今後の課題

- ①現状のHPT装置で製作可能な試料は、 $\phi 10 \times 1t$ のディスク状又は $\phi 20/14 \times 4t$ のリング状であり、実用製品に適用するには小さすぎるため、生産ベースサイズのHPT加工方法を開発する必要がある。
- ②800℃での鍛造に適用できる金型材として、強度の面ではクリア出来たが、金型表面の酸化が著しく、その対策が必要である。

生産技術への移行には他にも多くの課題を解決する必要があるが、このイノベーティブな開発研究は将来の生産技術として可能性を追求する意義がある。