

平成20年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「高機能アルミ材の材料創製から鍛造までの一貫製造システムの開発」

成果報告書

平成21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	1
1-3	成果概要	3
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	4

第2章 本論

①	新鑄造法の開発	5
①-1	水平式連続鑄造法の開発	5
①-2	垂直断熱急冷式連続鑄造法の開発	12
②	特徴ある新合金創出に関する技術開発	20
②-1	鍛造ピストン高機能適用合金の開発	20
②-2	高機能鍛造適用合金開発	27
③	複雑・高精度鍛造品の開発研究	33
③-1	高機能新合金の鍛造試作（鍛造ピストン）	33
③-2	高機能新合金の鍛造試作（一般鍛造品）	43
④	精密鍛造用金型製造法の開発	47
④-1	流動制御鍛造の開発研究	47
④-2	精密鍛造金型加工法の開発研究	52

第3章	全体総括	57
-----	------------	----

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

国内鍛造業界はその需要が自動車産業に大きく依存しているのが実態である。しかもグローバル化の中、国際競争力が必要とされる条件の元で、コスト低減にも限界が見られる。このため、その解決の一手段として、新たな付加価値を需要家に提供できる基盤的技術開発、それによる新製品の開発が必要となってきた。

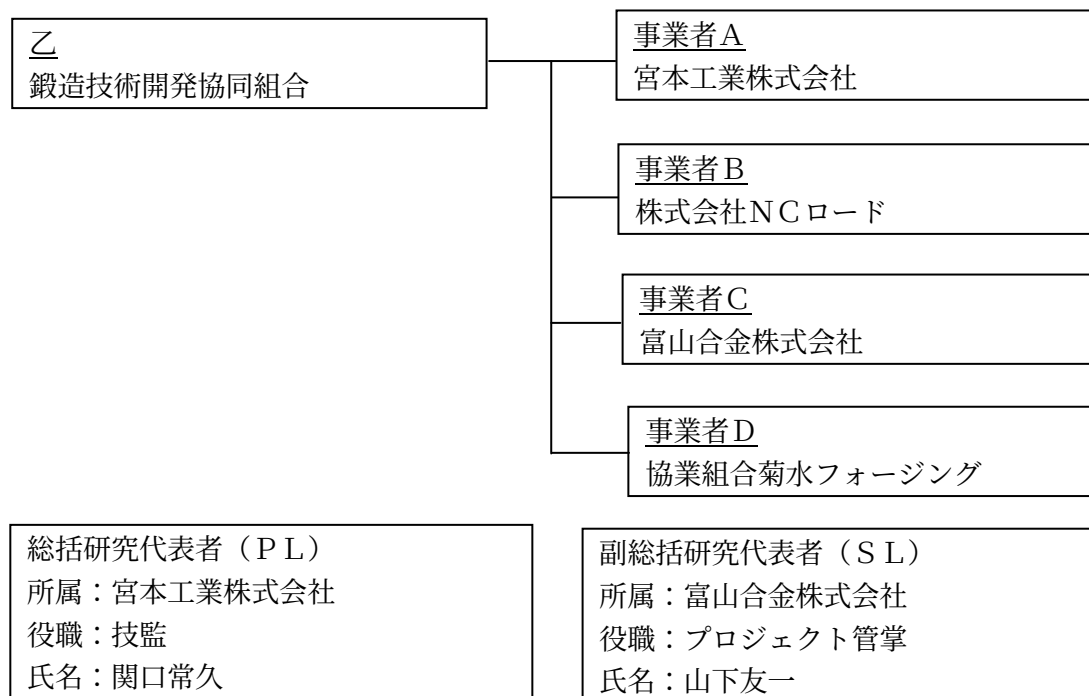
さらに、自動車業界は省燃費、排気ガス規制への対応から、車体の軽量化、低燃費を可能にするエンジン開発が求められており、鍛造品には素材や形状等での高強度化と小型・軽量化、高機能化、さらにコスト低減が求められている。本技術開発は低燃費を可能にする新エンジンに対応する新素材新鍛造技術の開発で、特に鍛造化が求められるピストンに的を絞って開発する。ピストンは耐熱性、高温疲労強度、耐摩耗性、コールドスタート時の耐スカuffing性の向上が求められている。自動車メーカーの新エンジン開発のニーズを満足するにはピストン特性の高機能化と高精度化要求を満たすと共に全般的なニーズとして、鍛造品に対するコスト低減が必要であり、本開発では材料と鍛造加工の連携・融合化によって、新たな材料創製と高精度化鍛造工法の開発を行い、ワンランク上の機能と低価格化を目指すものである。また、本技術の成果を他産業分野の鍛造品に広く展開して鍛造業界の競争力アップと新製品の創出を図ることも研究開発の目的である。

18年度から、本開発の目的である高機能アルミ鍛造品の一貫製造システムにおける技術課題を解決するため、1)新鑄造法の開発 2)高機能アルミ合金の開発 3)複雑・精密鍛造品の開発研究 4)精密鍛造金型製造法の開発研究を実施し、実用化の見通しを得た。さらに平行して一貫製造システムの製造技術としての評価およびその経済性の検討を行い、量産化における技術、コストの見通しが得られ、その量産体制の準備を進めている。

1-2 研究体制

1) 研究組織

本開発研究の研究体制は事業管理者として鍛造技術開発協同組合、研究実施体として開発研究において中核となる宮本工業株式会社および協力者である株式会社NCロード、富山合金株式会社、協業組合菊水フォーミングと総括研究代表者：関口常久、副総括研究代表者：山下友一から構成される。



2) 管理者・研究者

本開発の業務管理者、研究実施者における管理員、研究者は次の通り。

【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

【再委託先】

宮本工業株式会社

氏 名	所属・役職
宮本尚明	取締役社長
関口常久	技監
内城昭治	取締役工場長
神原和夫	取締役技術部長
石下幸一	研究開発部長
蘇武剛雄	研究開発課長
伏見明生	研究開発課員

株式会社NCロード

氏 名	所属・役職
山口正人	代表取締役
猪俣秀則	技術部研究員

富山合金株式会社

氏 名	所属・役職
山下友一	プロジェクト管掌部長
高木英俊	技術課長
渡辺 亨	技術課員
土肥正芳	技術課員

協業組合菊水フォーミング

氏 名	所属・役職
森脇 孝	理事長
中津玄弘	製造部長
本田幸男	製造企画課長
野川雅弘	工務造形課長
福井 毅	理事技監
細谷康德	鍛造課長代理
木村裕行	鍛造課員

1－3 成果概要

第2章に記述する開発研究について、研究実施項目・内容とその成果を次の通り要約する。

①新鑄造法の開発

①－1 水平式連続鑄造法の開発・・・・・・・・・・宮本工業株式会社

内容：

18年度導入した横型連続鑄造装置（19年度一部改造）を用い、薄板素材の鑄造試作を行い、その材料特性の検証を行う。

成果：

水平式連続鑄造法による高Siアルミ合金鍛造素材の試作を行い、平滑な材料表面、微細な組織、良好な材料特性を確認できた。

①－2 垂直断熱急冷式連続鑄造法の開発・・・・・・・・・・富山合金株式会社

内容：

精密鍛造用AL-Si合金ビレットの品質向上、低コスト化、省資源化を図るために断熱急冷凝固手法適用の堅型連続鑄造法を確立する。

成果：

断熱急冷式堅型連続鑄造法のA4032合金ビレットは、既存のフロート式DC鑄造、断熱鑄型式鑄造で得られたビレットと比較して、成分偏析なく、微細、均一な組織と平滑な鑄塊表面正常が得られた。これにより、大型ビレットへの適用の可能性を確認し、新たな縦型連続鑄造法の実用化の見通しが得られた。

②特徴ある新合金創出に関する技術開発

②－1 鍛造ピストン高機能適用合金の開発・・・・・・・・・・宮本工業株式会社

内容：

18年度から継続してエンジン部品を対象として高温強度、耐摩耗性の向上を目標とした新合金の鍛造素材としての評価を行った。

成果：

18年度、新合金TMHV601への絞り込みができた。①の水平式連続鑄造法、垂直式連続鑄造法で鍛造素材を試作し、その素材特性を評価検証した。開発材TMHV601はエンジン部品としての必要特性である常温および高温強度を満足し、かつ良好な鍛造性が得られた。新合金の鍛造用材料として実用化の見通しが得られた。

②－2 高機能鍛造適用合金開発・・・・・・・・・・富山合金株式会社

内容：

鍛造ピストン等の精密鍛造品の高機能化、高強度化を図るため、遷移金属などを添加した新合金の検証・成分仕様の絞込み選定を行う。

成果：

AL-Si合金に対して各種添加元素による材料組織形成、晶出挙動への影響を把握した。Fe、Mn元素の適量添加において断熱急冷式堅型連続鑄造法による過共晶AL-Si合金ビレットは平滑な鑄塊表面と微細な鑄造組織が得られることが確認された。

③複雑・高精度鍛造品の開発研究

③－1 高機能新合金の鍛造試作（鍛造ピストン）・・・・・・・・宮本工業株式会社

内容：水平式連続鑄造法および垂直式連続鑄造法で得られた開発新合金鍛造素材によりピストンによる鍛造試作を行う。その評価・検証によって鍛造素材、鍛造工法の適性を判断する。

成果：

精密鍛造ピストン（2種）を試作し、1工程成形により無欠陥で良好な寸法精度を確保した鍛造品が得られた。新素材の本鍛造加工への適合性、鍛造工法の適合性を確認できた。同時に潤滑剤、恒温鍛造の効果も確認した。

③－2 高機能新合金の鍛造試作（一般鍛造品）・・・・・・・・協業組合菊水フォーGING

内容：

水平式連続鑄造法および垂直式連続鑄造法で得られた開発新合金鍛造素材によりピストン以外の対象品の鍛造試作を実施した。

成果：

新合金の鍛造素材としての検証を行い、技術課題を把握した。鍛造条件の絞込みと最適化により良品を確保する技術的見通しが得られた。

④精密鍛造用金型製造法の開発

④－1 流動制御鍛造の開発研究・・・・・・・・宮本工業株式会社

内容：

複雑形状・精密鍛造、1工程成型をするための流動制御鍛造技術の試行を行った。ここでは金型の部分的摩擦係数を制御し、シミュレーションの解析結果と Pb を用いた実鍛造とその相関を調査した。

成果：

複雑形状精密鍛造には金型表面の摩擦係数のコントロールが必要であり、流動制御鍛造技術の有効性が確認できた。そのための金型加工法としてマイクロショット加工の有効性も確認した。

④－2 精密鍛造金型加工法の開発研究・・・・・・・・株式会社NCロード

内容：

ピストン等の複雑形状の精密鍛造では高精度の金型加工が必要であり、これを実現する技術として、リニアモータ駆動放電加工と放電ラップ法の開発研究・試行を行った。

成果：

ピストン鍛造金型を対象として金型表面の鏡面仕上げ加工を実施した。リニアモータ駆動 EDM と放電ラップによる平滑化により、短時間で良好な加工精度が得られことを確認した。

これにより生産技術としての見通しが得られた。

1－4 当該プロジェクト連絡窓口

鍛造技術開発協同組合 岩田健二

TEL:042-384-3540 FAX:042-385-3520 Email:k_iwata@tanzo-kumiai.or.jp

第2章 本論

本「高機能アルミ材の材料創製から鍛造までの一貫製造システムの開発」では、難加工材・性能向上・低コスト化・高性能化・環境適応をキーワードに実用化、製品化を第一優先して開発に取り組む。本研究開発の技術的な課題としては二面あり、一つは素材に係るコスト高、強度・性能面の向上に関する課題であり、もう一つは鍛造品の寸法・形状面の課題である。この課題を解決するため1)新鑄造法の開発、2)特徴ある新合金創出に関する技術開発、3)複雑・高精度鍛造品の開発研究、4)精密鍛造用金型製造法の開発の4テーマに取り組んだ。平成20年度に実施した内容と成果について報告する。

① 新鑄造法の開発

実施計画書に記載した目的と内容を記すと下記のようなになる。本項目で記載したように目的は達成出来た。

委託実施計画書の内容：

垂直式断熱鑄型鑄造法のコンパクト化、急冷凝固化研究を実施し、システムの確立を行う。
さらに18年度作製し、19年に改良を加えた開発研究用水平式連続鑄造装置により連鑄薄板素材の試作・評価を行う。両製造法による材料特性の検証を行い、鍛造素材の製造法を確立する。

①-1 水平式連続鑄造法の開発

1. 目的

ピストンに使用される過共晶 Al-Si 合金の鑄造では、凝固潜熱が大きいと、凝固時の熱バランスがとりにくく通常の鑄造法では鑄造することが出来ない。これを解決し、鍛造と一貫生産が可能な横型連続鑄造装置により薄板素材の試作・評価を実施する。また、材料特性の検証を行い、素材の製造法を確立する。

2. 実施項目

上記の目的を達成するため、下記3項目を実施した

- 2. 1 水平連続鑄造法の優位性の確認と組織微細化の見極め
- 2. 2 水平（横型）連続鑄造機での素材鑄造
- 2. 3 改造水平鑄造機の素材評価

3. 平成20年度研究内容

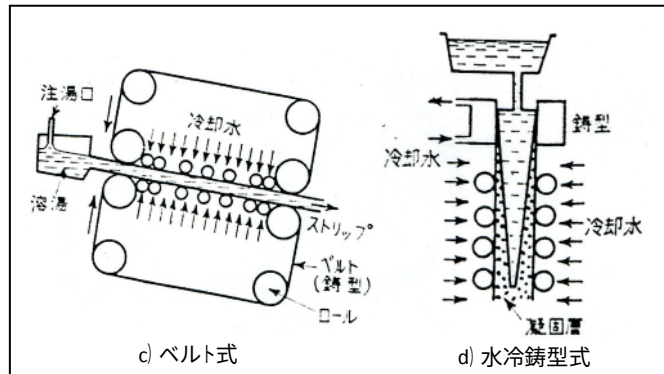
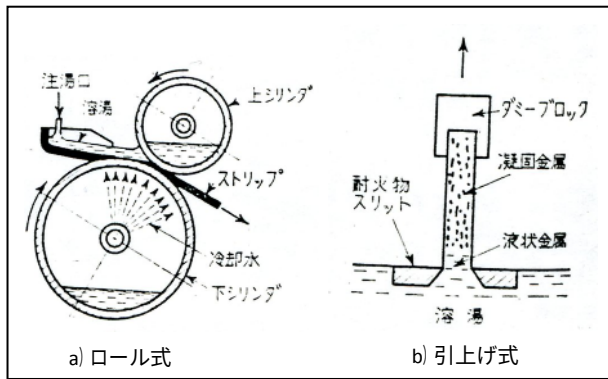
3. 1 研究の方法

先ず、開発した水平連続鑄造法の優位性の確認と組織微細化の見極めを実施した。次に、水平（横型）連続鑄造機での素材鑄造を行い金属組織がどの程度微細化しているかを調査した。その後、改造した水平連続鑄造機で開発材の鑄造を行い、垂直式鑄造法によって製造した素材と比較して、鑄造素材の特性を評価した。

3. 2 研究の結果

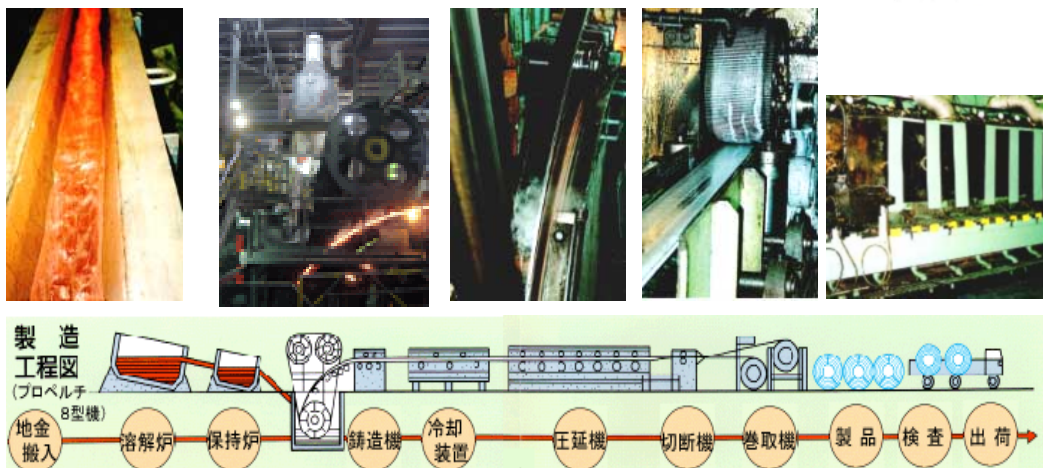
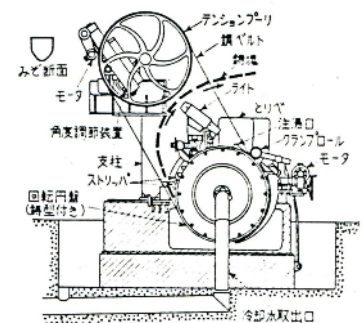
（1）水平連続鑄造法の優位性の確認と組織微細化の見極め

先ず、開発した水平鑄造法の特徴を現在用いられている連続鑄造法と比較して、その優位性を確認したい。連続鑄造法は溶融金属を鑄型の中に注湯し、凝固した金属を鑄型から連続的に引出し、長い鑄塊を作る方法である。連続鑄造としては図①-1-1に示すように、a) ロール式、b) 引上げ式、c) ベルト式、d) 水冷鑄型式の四つの形に分類することができる。これを図①-1-1に示した。この中で、現在、塑性加工用素材製造で実用化されているのはベルト式と水冷鑄型式のタイプである。



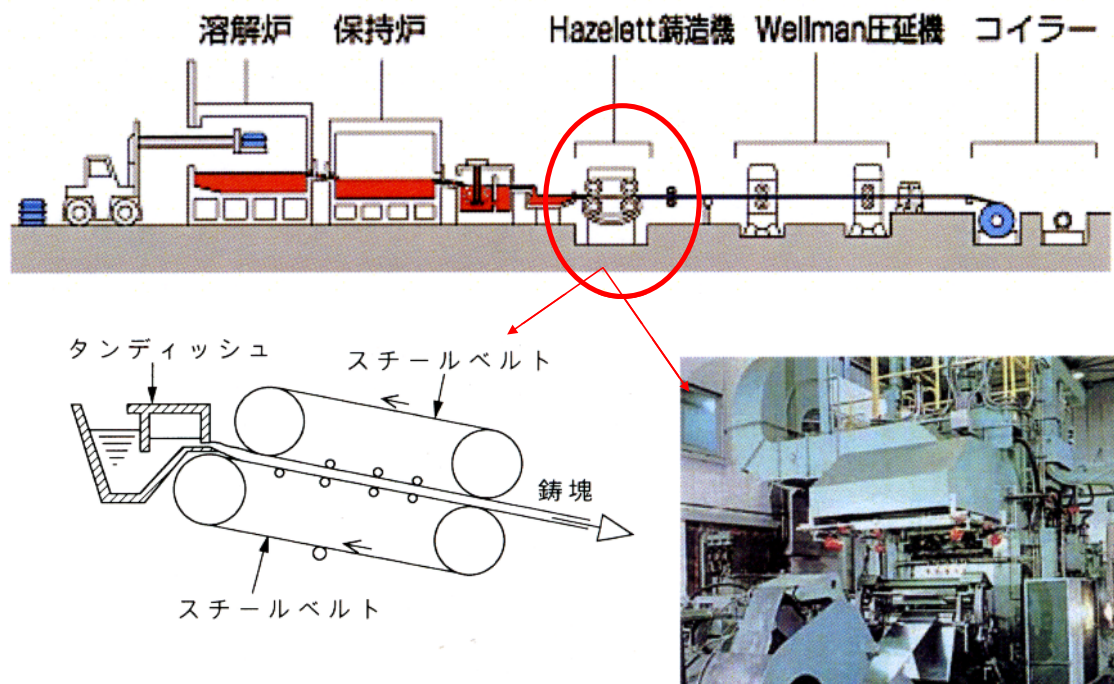
図①-1-1 連続鋳造機の種類

プロペルチ鋳造法は図①-1-2 に示す様に U 字溝のホイールとベルトの間に溶湯を流し込んで鋳造する方法である。この方法は U 字に鋳造したワイヤーバーを曲げ加工を加えた後に三方圧延機で多段に圧延して丸型形状に圧延される。このため延性のある合金しか鋳造できず専ら電線用の純アルミの鋳造に用いられている。



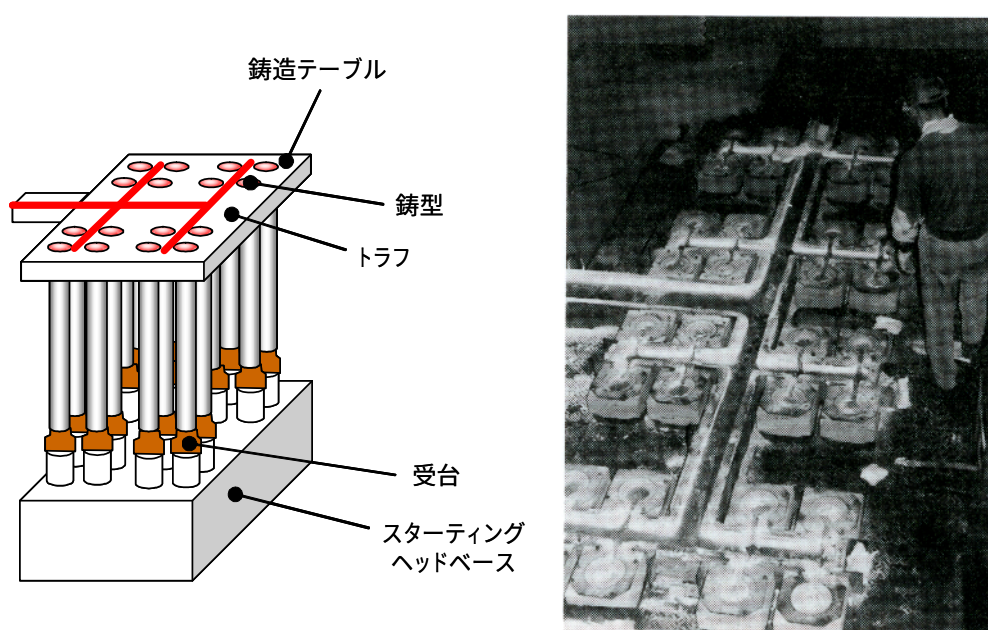
図①-1-2 プロペルチ(Properzi)鋳造法

ハズレー式は図①-1-3 に示す様に2個の薄鋼板の間、又はロールと薄鋼板の間に金属を注ぎ、その間で凝固・冷却させる方法である。この方法では Zn、Al、銅の鑄造に利用されている。



図①-1-3 ハズレー（Hazelett）鑄造法

水冷鑄型式は図①-1-4 に示す様に水冷の鑄型に金属を注ぎ、反対側から引出して長い鑄塊を作るもので、現在最も広く用いられている方法である。引出された鑄塊は外部で水冷されることで冷却を早めることになる。この方法は Junghans、Rossi、Olsson その他多くの人々の研究開発により銅や銅の連続鑄造に利用されるようになった。主として下方に引下げていくものであるが、鑄鉄や銅合金では横方向に引張る方法もあり、今回開発したものはこの分類に入り、小型化と設置面積を少なくできる利点の他に鑄造の難しい合金が比較的容易に鑄造可能であり、急凝固されるため微細組織が得られる。

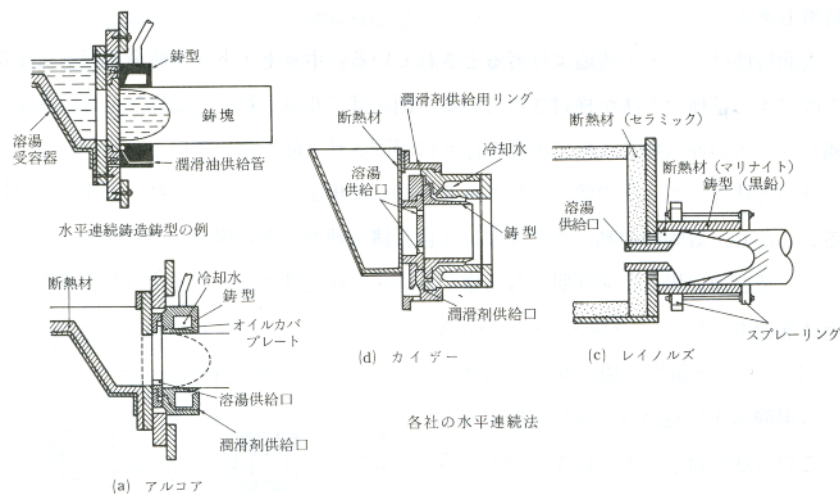


図①-1-4 代表的な水冷鑄型鑄造法

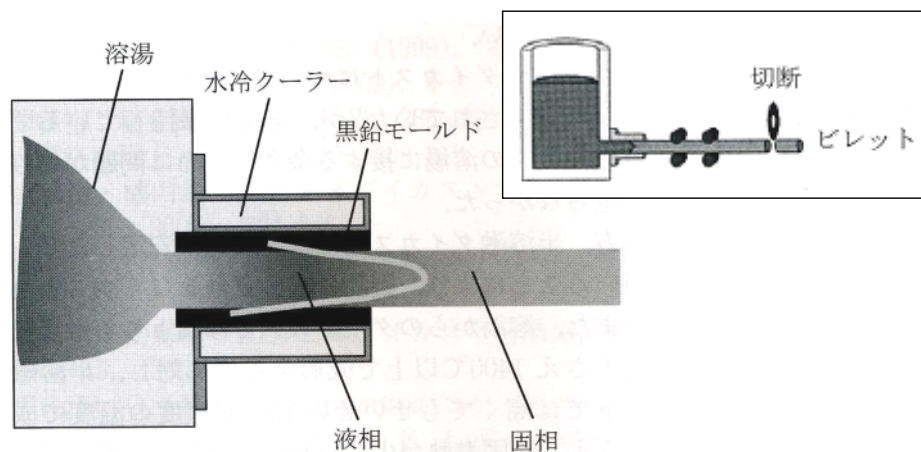
アルミニウムの連続鋳造は垂直式の半連続鋳造が主体であり、鉄鋼で行われている完全連続鋳造は普及していない。これは次の理由により、垂直式半連続鋳造は、1) 多連鋳造が簡単にでき、出湯量を増加しやすい。2) 材質の切り替えが容易である。3) 設備が比較的簡単で柔軟性がある。等の特徴がある。これに比し水平式の完全連続鋳造は多品種・少量生産に適さない、合金によって高度の鋳造技術を要する等の欠点を持っている等の理由による。このため、素材専門メーカーでは良いが鍛造メーカーが鍛造機と直結させて一貫生産するには装置が大型になり適さない。

このため、完全連続鋳造する水平式の鋳造方法が適している。図①-1-5 に世界で提案されている水平連続鋳造法を示した。しかし、大量生産には向かないため利用されていない現状にあるが、完全連続鋳造の場合その利点も多く、例えば、次に示す様な利点を有している。(1) 連鋳材端部の切断回数が減少することにより歩留まりが向上する。(2) 稼働率が向上する。(3) 設備投資が少なくて済む(深いピットが不要、鋳塊を吊り出すためのクレーンが不要)。(4) 溶湯の乱れがほとんどないことから酸化物の巻き込みが低減し鋳塊品質が向上する。

我々は、この水平連続鋳造法の特徴を生かして欠点を補うことを考えた。すなわち、小型・コンパクトな設備を開発して現在工業生産に利用している鋳造法が有する(1) 多品種・少量生産に適さない、(2) 合金によって高度の鋳造技術を要する等の欠点を克服した。このように今回開発した水平連続鋳造設備を図①-1-6 に示すが、この鋳造法は上記したような大きな特徴を有している。



図①-1-5 各社の水平連続鋳造法

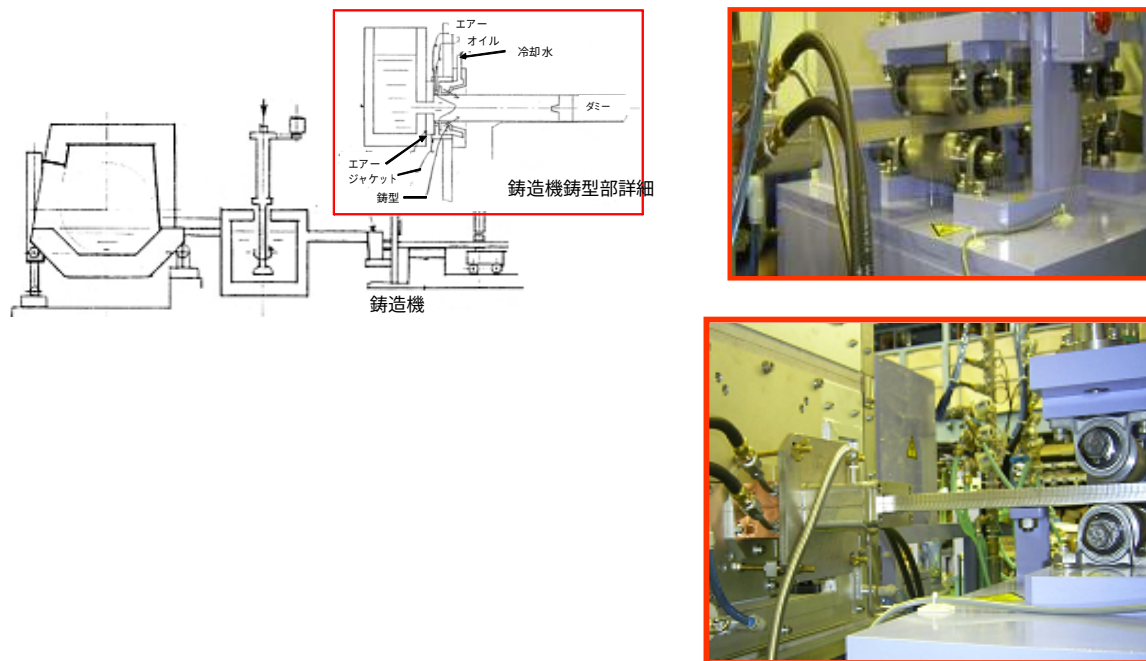


図①-1-6 開発した水平連続鋳造法の概要

（２）水平（横型）連続鋳造機の改良と素材鋳造

水平連続鋳造法のメリットを確認し、更なる急冷凝固をすれば特性が向上することが予想される。この方法は炉に直接取付けられた鋳型を通して、金属を水平方向に引出す方法である。鋳造に際しては溶解炉と鋳造機が直結しており、溶解時の油漏れを防ぐために初めダミーバーで栓をしておき、作業開始とともに低速で引く方法である。炉内金属の保持温度はアルミ合金では 680～720℃とし、高温になりすぎると凝固に時間がかかり、また溶湯が漏れることがある。

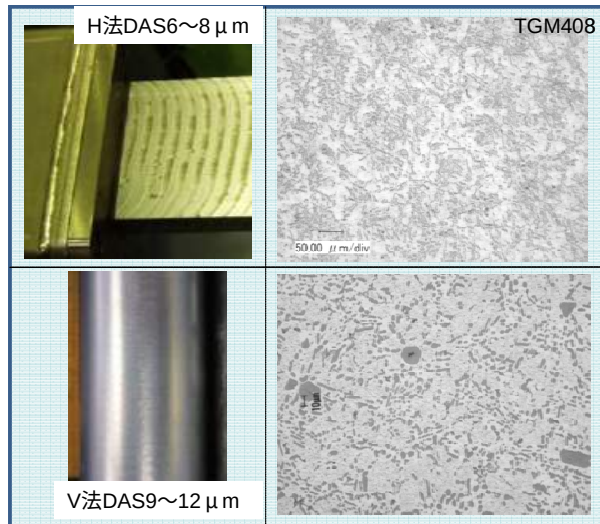
鋳型内に入った溶湯は鋳型で急冷され凝固層を生ずるが、これが引出されると中心部の未凝固の溶湯のため再加熱され、ゆるやかに冷却する。そのため自己焼なましされ組織は緻密な組織となり、美しい鋳肌ができる。図①-1-7 に開発した鋳造機の概要と鋳型から素材が出てくる様子を示した。この鋳造機で製造する素材の更なる特性の向上のため鋳造機の改造を実施した。改良工事は溶解量アップ、溶湯処理の実施、鋳造速度の高速化、凝固速度測定装置の設定、打抜き鍛造機とのドッキングなど9項目を実施した。この改良・改修工事で特に注意を払ったのは、a) 鋳造速度の高速化と b) 溶湯の清浄化である。溶湯の清浄化はアルゴン（Ar）ガスのバブリング方式を採用した。



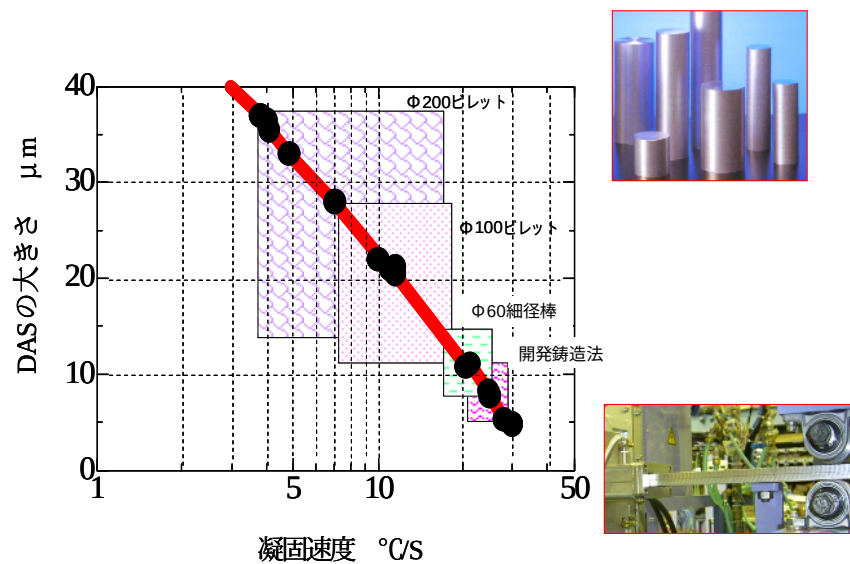
図①-1-7 開発した水平連続鋳造機と素材が鋳型部から出てくる様子

（３）改造した水平鋳造機での試験鋳造と素材の評価

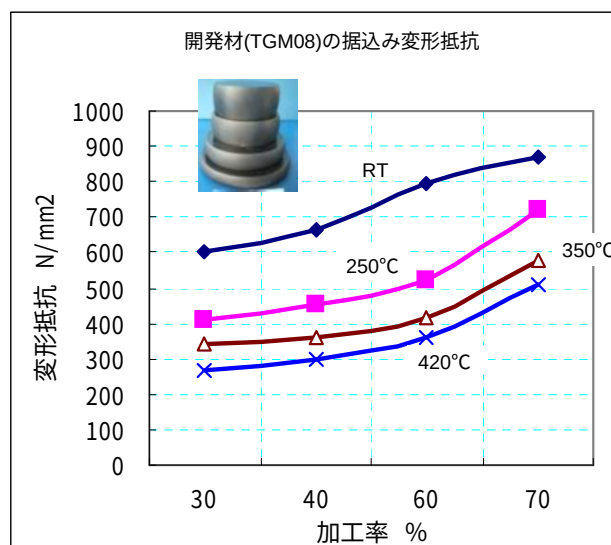
改造した水平連続鋳造試験機(H 法連続鋳造機)で鋳造した素材の外観とマイクロ組織を図①-1-8 に示した。ここでは垂直連続鋳造機と比較してマイクロ組織を示したが、H 法が DAS 6～8 μm に対して、V 法は 9～12 μm であり、初期目的通り急冷凝固され微細な組織になっていることが確認された。水平鋳造と垂直鋳造の組織の大きさから凝固速度を求めたのが図①-1-9 である。水平鋳造では板厚 20 mm と薄板であるため凝固速度は 20℃/S と速く、縦型はφ76 のため 15℃/S と若干遅くなっている。垂直鋳造の場合はφ50 以下の細径は鋳造できず、そのため、これ以上凝固速度を上げることが出来ない。組織微細化には H 法の方が有利である。この水平連続鋳造機で製造した素材の特性を確認するため、据込み鍛造で試験した。その結果を図①-1-10 に示すが、開発材の組成は JIS に定められた低熱膨張合金の A4032 材より鍛造し難い組成であるが、各加工率で変形抵抗が小さく鍛造性が良いことが確認できた。



図①-1-8 改造後の水平連続鑄造機で鑄造した素材のマイクロ組織



図①-1-9 H 法と V 法続鑄造材の凝固速度と DAS の大きさ

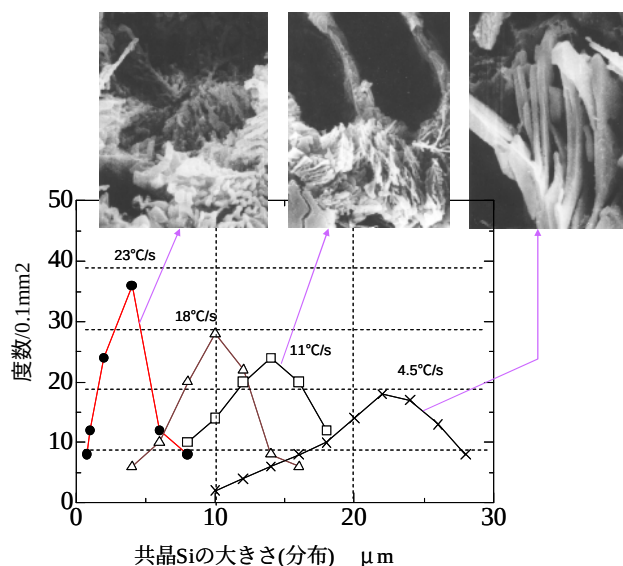


図①-1-10 H 法水平連続鑄造材の鍛造性の比較

4. 考察とまとめ

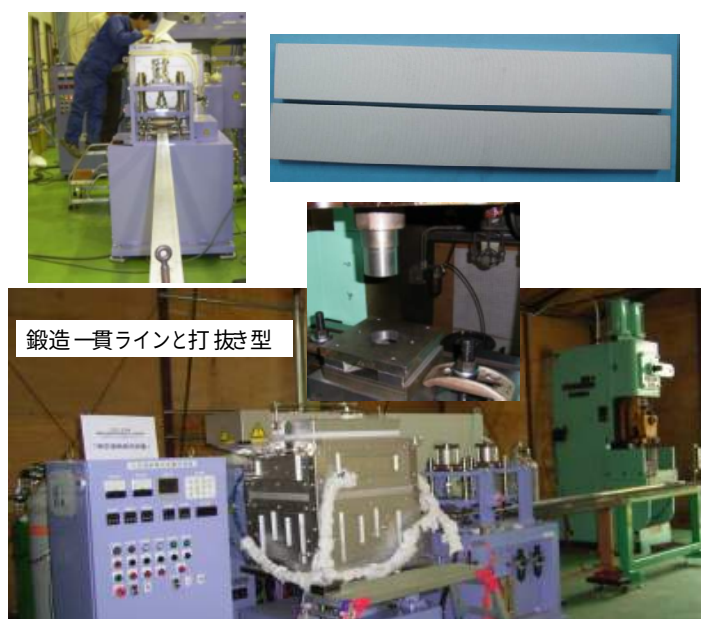
開発した水平連続鑄造機で得られる素材の組織レベルを客観的に調査した。その後、鑄造機の改修工事を行い、各種の改良を行った結果次のようなことが判明した。

- a) 改造後の水平鑄造機で製造した素材は DAS 6～8 μm と微細・均一組織が得られた。
- b) この組織を得るには 20°C/S 以上の凝固速度で得られるもので、従来報告されている鑄造法より急冷凝固で製造されていることが確認できた。
- c) 得られた素材の鍛造性を据込み鍛造法で加工率を変化して調査した。この結果市販 A4032 材に比べ 20% 以上の変形抵抗の減少を見ることができた。これは水平鑄造で急冷凝固した素材の晶出物の大きさが微細になっているものとする。図①-1-11 は凝固速度の違いによる共晶 Si の大きさの関係であるが凝固速度が速いほど共晶 Si が小さくなっていることが判る。この様に晶出物全体が微細になるため鍛造性が向上するものとする。



図①-1-11 凝固組織と共晶 Si の大きさの関係

量産前提の試験は矩形 20×17 mm材を溶解量相当分の 14m 鑄造できた。また、鑄造機と鍛造機の複合化試験も実施した。この試験ライン構成を図①-1-12 に示した。



図①-1-12 H 法、水平連続鑄造素材製造試験機での量産前提試験装置構成

①-2 垂直断熱急冷式連続鋳造法の開発

1. 目的

これまでに、精密鍛造用素材として供される Al-Si 合金ビレットの品質向上と低コスト化、省資源化を図るため、急凝固手法を適用した「断熱急冷」式堅型半連続鋳造法を開発し、本鋳造法で得られる鋳塊特性の優位性を明らかにするとともに、鍛造用素材としての妥当性評価を進めてきた。

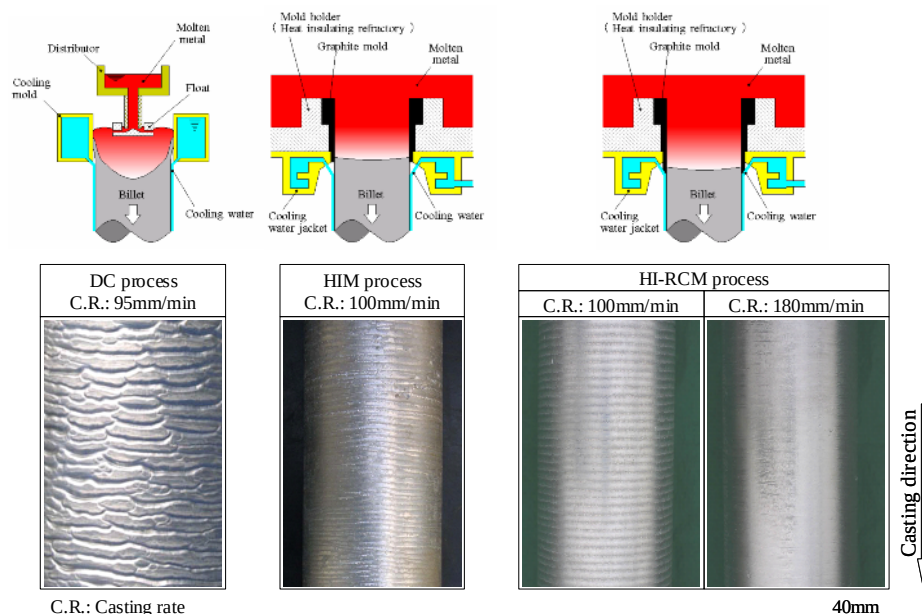
今年度は、量産規模を想定した鋳造試験を実施し、本製造プロセスの実用化を実証する。

2. 20年度研究内容

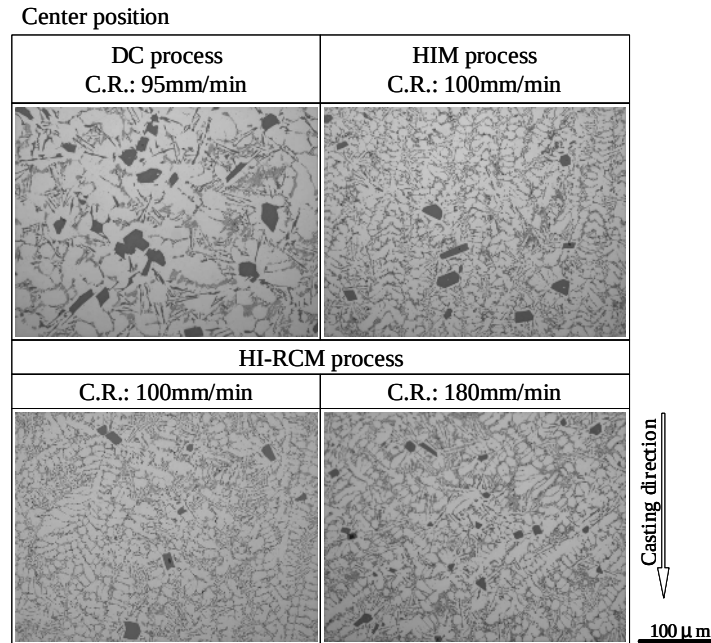
(1) 研究の背景と経緯

昨今、地球環境保護、エネルギー問題の観点から、輸送市場を中心にアルミニウム材料の使用比率が年々増加してきている。その原動力は、従来の鉄系材料からアルミニウム材料への材料置換を推し進めてきた自動車業界の牽引効果が大きく、省燃費化や排出ガス規制へ対応するため、車体の軽量化ならびにエンジンの高性能化に向けた技術革新が求められている。そのような状況下、アルミニウム材料においても高強度化、高靱性化、高温疲労強度の付与など、さらなる高機能化や高性能化への要求が高まっている。

製品に要求される多様な高機能特性を実現するためには、アルミニウムに様々な元素を添加するが、一般的には加工性が犠牲にされるケースが多い。特に、耐摩耗性に富み、熱膨張性が低く、耐熱性に優れる Al-Si 系合金はその代表例として挙げられ、潜在する材料特性が最大限に活かされる反面、典型的な難加工材料として知られている。本合金系は溶湯の状態では湯流れ性が良いなど、型鋳造には適した性質を有するため、これまでは生産性や製造コストを重視した鋳物工法による製品化が先行してきた。ただし、用途の多様化や高品質化に対して従来の鋳物やダイカスト工法では特性が不足し、使用に供せない場合もある。このような背景の中、軽量化効果が高く、材料特性や信頼性に優れた鍛造製品が脚光を浴び、過酷な使用環境下で多くの機能特性が要求される精密ピストン部品や各種の摺動部品に使用されている。しかしながら、既存の材料では特性を十分満足できないケースもあり、加工性と材料特性、さらにはコストパフォーマンスを両立できる新たな素材開発が急務とされている。



図①-2-1 既存の連続鋳造法と新鋳造法で作製されたビレットの鋳塊外観



図①-2-2 既存の連続鋳造法と新鋳造法で作製されたビレットの鋳塊マイクロ組織

Al-Si 系合金の精密鍛造製品が抱えるこれらの課題を解決するためには、鍛造用素材となる連続鋳造ビレットの品質改善と低コスト化が必須であると考え。凝固潜熱が大きいと、連続鋳造時の熱バランスが取りにくく、抜熱時に凝固の停滞と進行が断続的に起きやすくとされる Al-Si 系合金は鋳塊表面の平滑性が損なわれることが多く、従来から表層のピーリング加工が必要であった。本研究では、ピストン材をはじめとする精密鍛造製品に供される Al-Si 系合金を対象を絞り、コスト低減に寄与できる鋳塊表面の平滑性と鍛造時の加工性を左右する主要な晶出相が微細に分散した鋳造組織を兼ね備えた新たな小径連続鋳造ビレットとその製造技術の開発を目的とした。

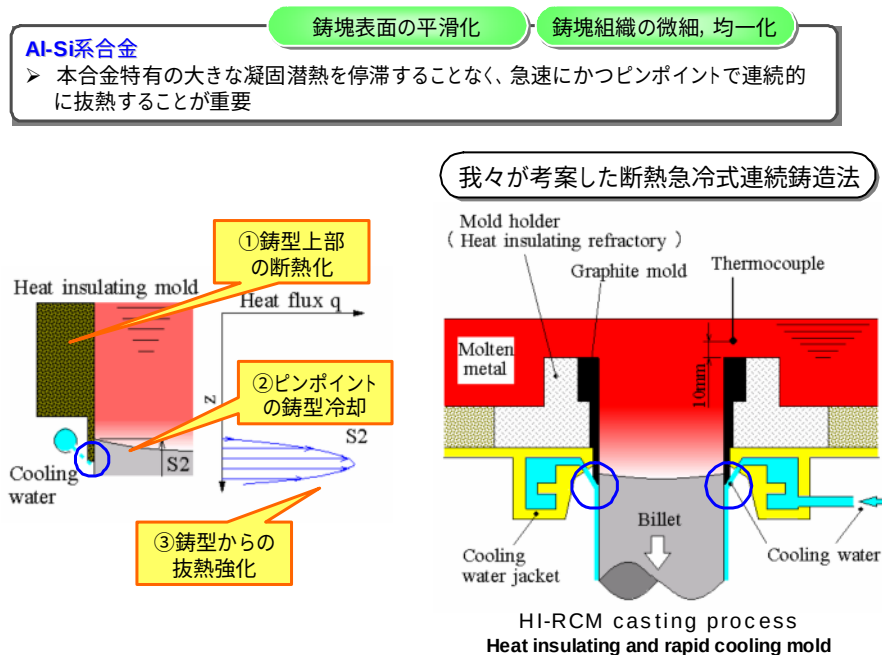
そこで、Al-Si 系合金に適した新たな堅型半連続鋳造法を考案するにあたり、「断熱鋳型」＋「急速急冷」構造を適用し、鋳型上部の断熱性を維持しつつ、鋳型下端の先端部のみを直接冷却する断熱急冷式連続鋳造法〔Heat Insulating and Rapid Cooling Mold（以下、HI-RCM）〕を開発した。断熱急冷鋳型方式の小型試験鋳造装置を用いて各種の鋳造実験を実施した結果、図①-2-1 および図①-2-2 に示すように、平滑な鋳塊表面と微細な鋳造組織を具備した Al-Si 系合金ビレットが製造できる基本条件を確立し、その鋳塊特性について明らかにすることができた。

今年度は、本鋳造法における量産化への技術的な見通しを検証するため、量産規模を想定した鋳造試験を実施し、得られた鋳塊の品質特性を把握するとともに、製造プロセスとして工業生産が成立する妥当性について評価した。以下に、その研究成果を報告する。

（２）実験方法

図①-2-3 に新鋳造法の概略図を示す。Al-Si 系合金において鋳塊表面の平滑化と鋳塊組織の微細、均一化を図るには、本合金特有の大きな凝固潜熱量を停滞することなく、急速にかつピンポイントで連続的に抜熱することが重要であると考え、新鋳造法では①鋳型上部の断熱化、②ピンポイントの鋳型冷却、③鋳型からの抜熱強化の３点を具現化した。このコンセプトは、従来の断熱鋳型式鋳造法の断熱技術と DC 鋳造法の鋳型冷却技術を融合させた独自の発想に基づいており、全く新しいビレット製造技術が創製されたと考えている。鋳型には黒鉛を採用し、耐火物製のホルダー内に挿入することで鋳型上部の断熱性を高め、さらに、鋳型下端を下方に延長し、冷却水ジャケットから噴出する冷却水にて鋳型の下端

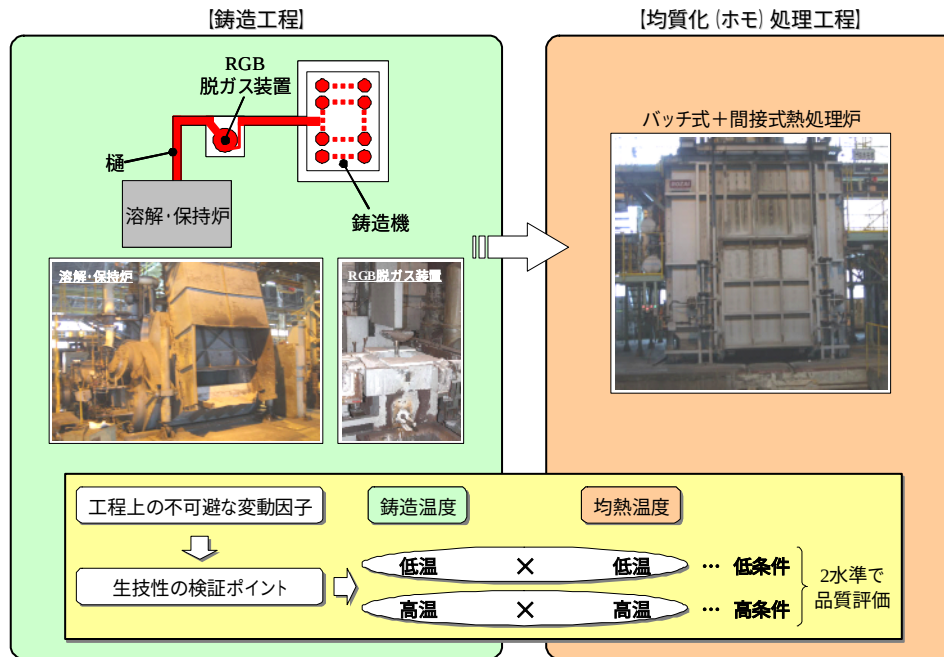
先端部のみをピンポイントで直接急冷する構造を有している。



図①-2-3 新鋳造法の開発コンセプトと鋳造部の概略

図①-2-4 にビレット製造工程の概要を示す。一般に、連続鋳造ビレットは、溶解・保持工程、鋳造工程、均質化処理と呼ばれる熱処理工程、切断・梱包工程を経て製造、出荷される。溶解・保持工程では、アルミニウム地金やスクラップなどを再溶解し、所定の合金組成に成分調整するとともに、溶湯中に含まれる水素、非金属介在物、Na や K などのアルカリ金属といった有害不純物の除去を目的とした適切な溶湯処理が施される。この工程で要求品質に見合う溶湯の清浄度が得られるが、鋳塊品質に対するより高度な要求に対応して、処理効果の安定性や信頼性を高める目的で、図①-2-4 に示すようなインライン脱ガス装置が採用されている。また、鋳造工程では、生産効率の観点から、数十本のビレットを6 m 前後まで同時に製造できる垂直式の生産設備を整え、多連長尺鋳造の方式で量産化が図られている。さらに、鋳造されたビレットは、押出や鍛造などの塑性加工に先立ち、高温での均質化処理が施される。この熱処理は、連続鋳造時に蓄積された凝固歪の解消、成分偏析の均質化、過飽和固溶元素の析出、凝固によって形成された準安定相の平衡相への変化を促し、これらの変化は最終製品の諸性質に影響を及ぼすとされるため、連続鋳造の業界では製造上の必須工程として組み込まれている。多くの場合は、図①-2-4 に示すように、間接焚きの熱処理炉を用いてバッチ式で処理されている。

そこで、本製造プロセスにおける量産時の生技性を検証するにあたり、鋳塊組織の状態を大きく左右する鋳造工程と熱処理工程に着目した。鋳造工程では、鋳造速度、冷却水量、鋳造温度が主な製造条件となるが、多本数のビレットを同時鋳造する連続鋳造法の場合、ビレット本数の増加とともに必然的に鋳造テーブルが大きくなり、溶湯が供給されるトラフ内の中央と端部では溶湯温度に差が生じてしまうため、工程上、鋳造温度が不可避な変動因子となる。一方、熱処理工程では、ラジアントチューブで間接焚きされた高温雰囲気を炉内で強制的に循環させるため、ビレットの積み込み位置によって均熱される温度が異なってしまう。一般的には高温処理ほど鋳塊の均質化が進行することから、このように不可避的に生じる炉内の温度差をいかに縮小させるかが設備上の管理ポイントとなる。以上の観点から、図①-2-4 に示すように、鋳造条件と均質化処理条件を掛け合わせた2水準のビレットに関して鋳塊品質を比較評価した。



図①-2-4 ビレット製造工程の概要

(3) 研究の結果および考察

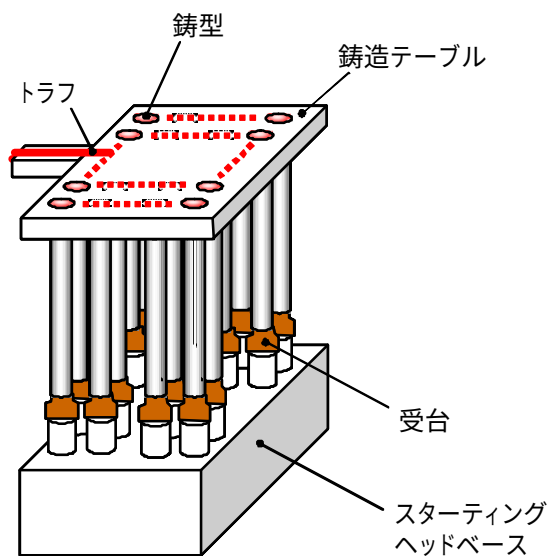
図①-2-5 および図①-2-6 に量産規模を想定した試験結果の概要を示す。連続 casting 設備は、断熱急冷方式の鑄型を規則的に配置した大型 casting テーブルと鑄型と同数の受台を常備したスターティングヘッドベースから構成されている。鑄型は上下面とも開口したドーナツ状を呈しているため、 casting スタート時は、スターティングヘッドベースを上昇し、受台と呼ばれる底板で鑄型下方の開口部を全て塞いでしまう。溶湯は、溶解・保持炉と連結した casting テーブル上の分配トラフを介して各鑄型へ供給され、鑄型と受台である程度凝固殻を形成させた後、ゆっくりとスターティングヘッドベースを降下させることで、多本数のビレットが同時に連続 casting される。その様子を表した模式図を図①-2-5 に併記する。

試験では、開発した共晶組成の Al-Si 系合金に成分調整した約 5 トンの溶湯を準備し、新 casting 法でラッピング状の鑄塊表面が得られる条件域において 2 回の casting を連続して試みた。当初、長尺 casting による溶湯洩れや鑄塊の表面割れなどが懸念されたものの、設備的なトラブルもなく、予め設定した casting 条件で 6 m の長尺ビレットを安定的に造塊することができた。なお、トラフの中央部と端部に位置する鑄型間で測定した casting 温度は、約 20℃ の温度差が生じていた。

一方、 casting したビレットは専用のラックに積み込み、図①-2-6 に示すように、バッチ式の均質化処理を行った。前述のように、間接焚きされた高温雰囲気を炉内で強制的に循環させるため、風上の最上段位置がもっとも高温となり、風下の最下段位置がもっとも低温となる。そこで、 casting 時にトラフの端部に位置した低温 casting ビレットを風下の最下段位置（以下、低条件）に、また、トラフの中央部に位置した高温 casting ビレットを風上の最上段位置（以下、高条件）に積み込み、均質化処理時における各々の実体温度を測定した。その結果、何れの積み込み位置に対しても、所定の均熱条件を満足し、規定の温度幅で管理できることが確認された。

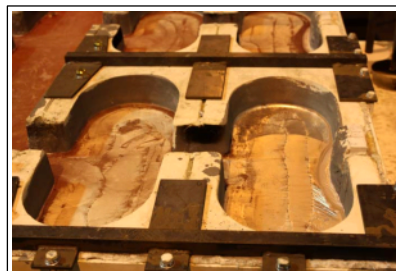
図①-2-7に量産試験で得られたビレットの鋳塊外観と鋳塊の中心部で観察されたマイクロ組織を示す。何れの鋳造温度においても横割れや縦キズなどの表面欠陥が認められず、一定間隔で周期的に連なるラッピング状の鋳塊表面を呈した健全な長尺ビレットが得られている。また、凝固時に晶出した初晶 Si や共晶 Si、その他の金属間化合物相は α -Al 相を取り巻くように微細に分散しており、均質化処理によって共晶組織が球状化している様子が確認される。なお、図中には両水準で得られたブリネル硬さの値を併記したが、その差は1 HBS 未満と非常に小さいものであった。

【鋳造工程】



連続鋳造の概要図

【鋳造風景】



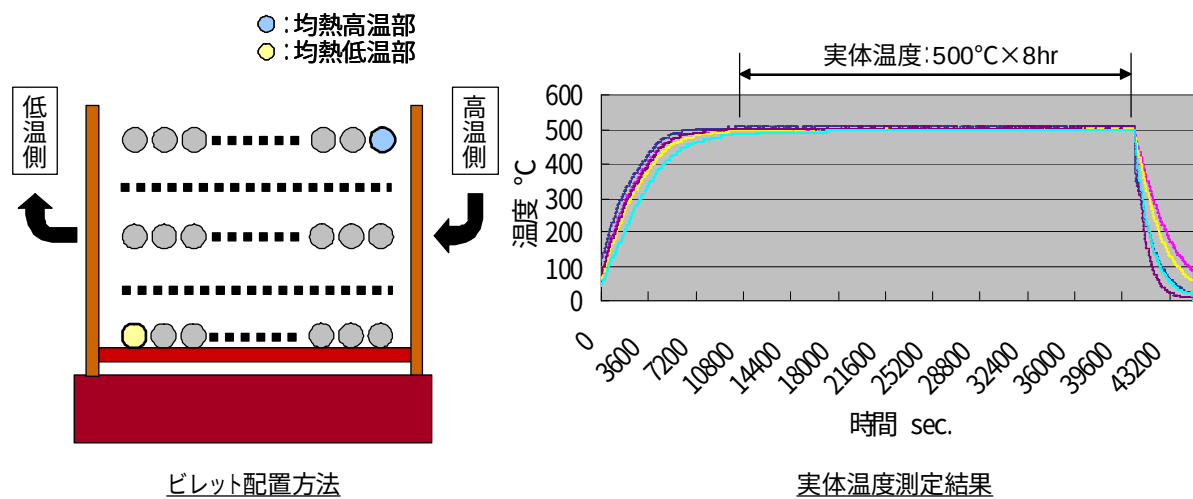
【鋳造後のビレット】



図①-2-5 量産規模を想定した鋳造試験の概要

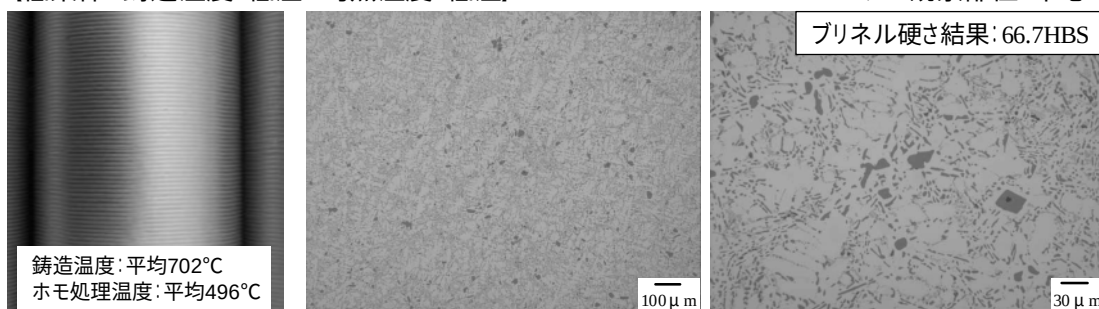
[均質化 (ホモ) 処理工程]

[均質化処理条件] 500°C×8hr (実体) 以上 → 急冷

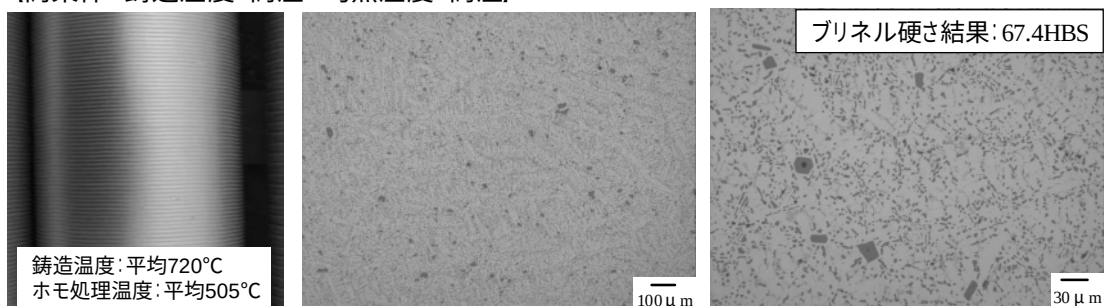


図①-2-6 量産規模を想定した均質化処理試験の概要

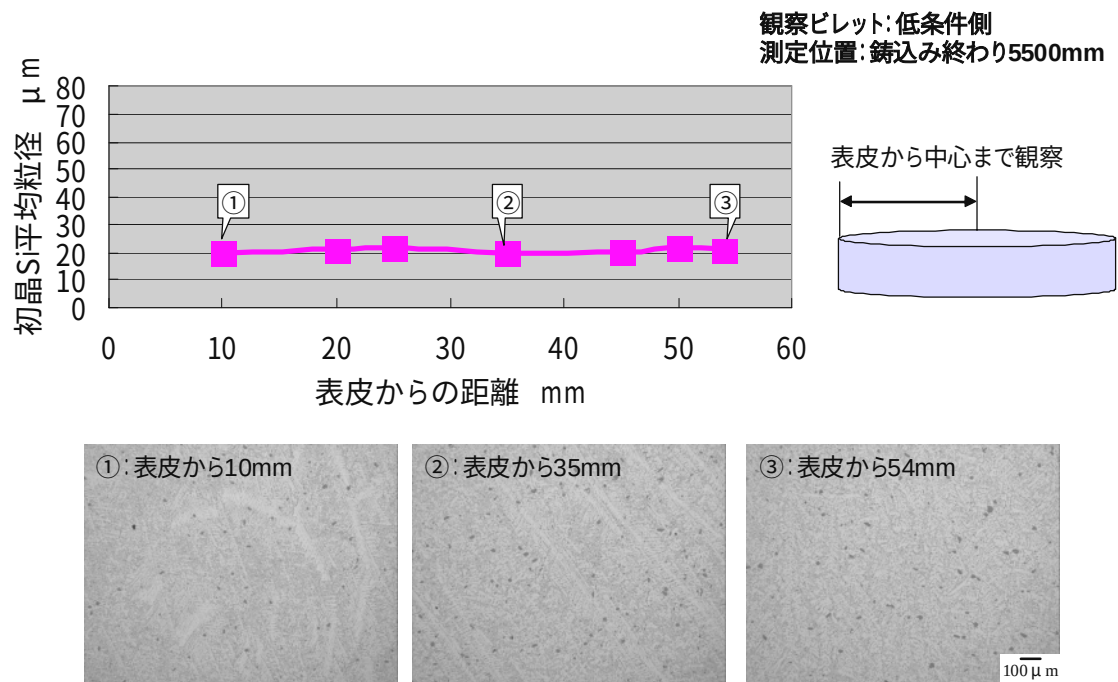
[低条件 鋳造温度:低温 均熱温度:低温]



[高条件 鋳造温度:高温 均熱温度:高温]

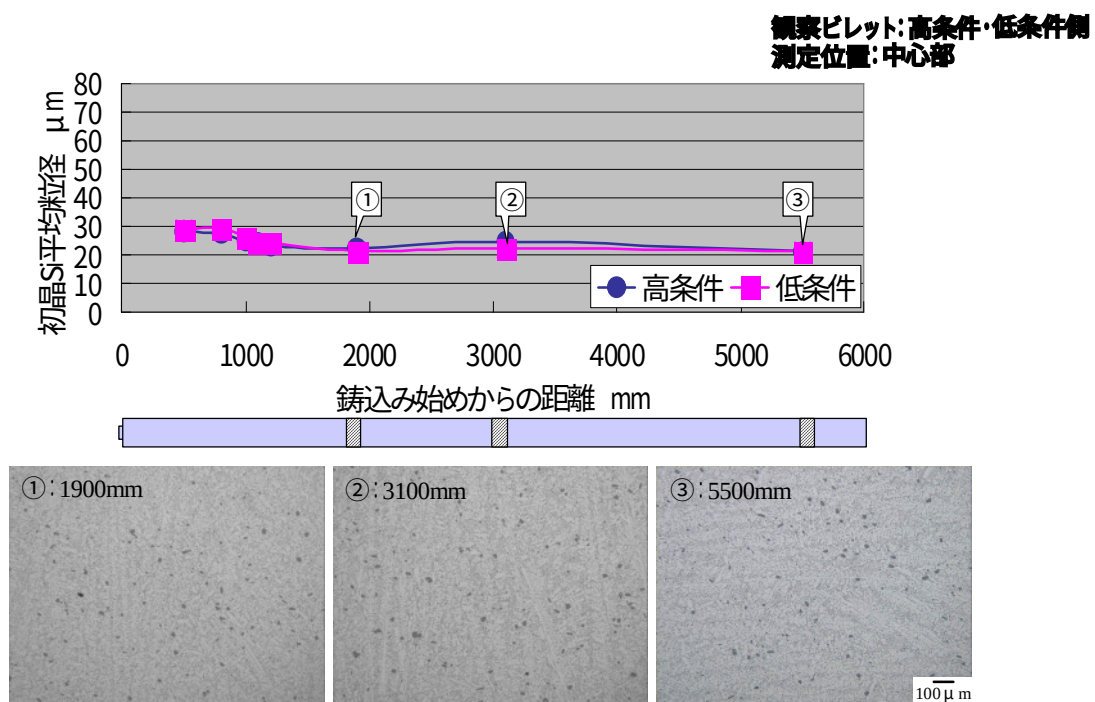


図①-2-7 量産試験で得られたビレットの鋳塊外観と鋳塊中心部のマイクロ組織



図①-2-8 低条件ピレットにおける直径方向のマイクロ組織と初晶 Si の分散状況

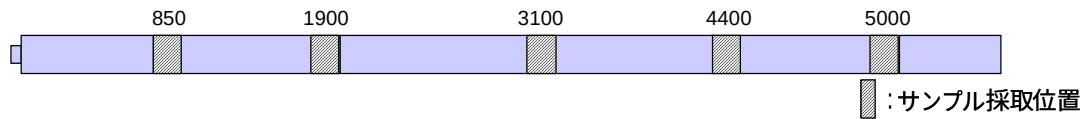
図①-2-8 に低条件（低温鋳造×低温均熱）ピレットの鋳込み終わり部位における鋳塊の直径方向で得られたマイクロ組織と初晶 Si の平均粒子径を示す。ピレットの表皮部から中心部に至るまで、初晶 Si 粒子が均一に分散している様子が確認され、その平均粒径は $20\mu\text{m}$ 前後で推移していた。なお、高条件（高温鋳造×高温均熱）ピレットにおいても内部組織の状況は同じであり、直径方向において顕著な差異は認められなかった。



図①-2-9 量産試験ピレットにおける長さ方向のマイクロ組織と初晶 Si の分散状況

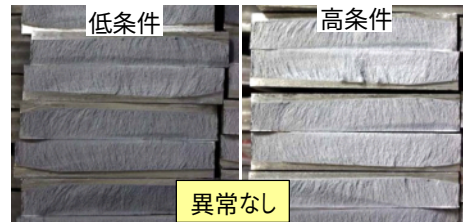
【破壊試験】

ピレットより採取したスライスを破断させ、酸化物・介在物の有無を判断する



【破壊試験結果】

観察位置 (mm)	低条件	高条件
850	酸化物・介在物無し	酸化物・介在物無し
1900	↑	↑
3100	↑	↑
4400	↑	↑
5500	↑	↑



破壊試験の一例

図①-2-10 破壊検査による量産試験ピレットの清浄度評価

図①-2-9 に低条件と高条件ピレットの長さ方向で得られた鑄塊中心部のミクロ組織と初晶 Si の平均粒子径を示す。図①-2-8 と同様、鑄込み始め部位から終わり部位に至るまで、約 $20\sim 30\mu\text{m}$ の平均粒径を有する初晶 Si 粒子が分散しており、両水準間の顕著な差異は認められない。ただし、鑄込み始め部位においては、初晶 Si 粒子が若干粗大に晶出する傾向が確認され、鍛造加工時の成形性や後の製品特性を踏まえて、不良部位としての廃却代を判断する必要がある。

さらに、ピレット内部の清浄度を評価するために、K モールド法を応用した破壊検査を実施した。その結果を図①-2-10 に示す。この K モールド法は、通常、鑄物を製造する溶解工程で実施される検査であり、溶湯を所定形状の鑄型で鑄込んだ薄型鑄片をハンマで強制破壊して、破面上における酸化物や介在物の有無を目視で観察するものである。今回はこの試験法を応用し、ピレットから採取した所定厚さのスライス片を強制的に破断させ、破面観察を実施した。K モールド法に準拠した判定基準で評価した結果、低条件と高条件にあたる何れの評価水準においても酸化物や介在物は確認されず、溶解から鑄造、熱処理に至る全ての製造工程が妥当であることが実証された。

3. まとめ

- 1) 精密鍛造に供する Al-Si 系合金ピレットの品質向上と低コスト化、省資源化を達成するため、垂直型の断熱急冷式連続鑄造法を開発し、装置のコンパクト化を図った。
- 2) 新鑄造法で得られる鑄塊特性の把握、大径化への検証を継続し、製造プロセスの実用化に向けた技術基盤を確立した。
- 3) 量産規模を想定した鑄造および熱処理試験を実施し、工業生産が成立する妥当性を実証するとともに、量産体制に向けての確固たる見通しが得られた。

② 特徴ある新合金創出に関する技術開発
②-1 鍛造ピストン高機能適用合金の開発

1. 目的

委託実施計画書の内容：

新鑄造法の開発と平行して、鍛造ピストンの高機能・高強度に適合した新材料を完成し、汎用部品適用のNiレス合金の開発を行う。また、その材料特性を鍛造素材としての評価試験により新合金仕様の確立を行う。

本開発のターゲットはオートバイ及び自動車のエンジン部品であり、耐熱性、高温疲労強度、耐摩耗性などの特性が要求される。強度・性能面では高温強度と耐摩耗性の向上にあたり、Al-Si+遷移金属系過共晶合金を開発する必要がある。開発する合金は耐摩耗性、高温疲労強度に優れているが、難加工性であるため、鑄造素材の微細・均一化、加工熱処理による更なる組織微細化と加工性の向上を行う必要がある。このため、Al-Si系合金に的を絞って上記特性を満足する合金開発を実施する。本年度は開発したTGM408合金を2種類の新鑄造法で鑄造し、その特性を客観的に把握してピストン用合金として仕立て上げる。また、Niレス合金の検討を行う。

2. 実施項目

上記の目的を達成するため下記の項目を検討した。

- (1) 開発合金の市販材との強度特性と鍛造性の比較
- (2) ピストン材としての検討
- (3) 鍛造性改良の可塑化処理技術の確立

3. 平成20年度検討項目

3.1 研究の方法

本開発の合金開発の経過を図②-1-1に示した。Siの添加量を3～30%まで変化し、ピストン用合金として最適なSi添加量を求めた。

予備試験

試験NO	Si	Fe	Cu	Mg	Ni	Mn	AL
1	3.0	0.15	1.0	0.6	1.0	0.03	BAL
2	6.0	0.15	1.0	0.6	1.0	0.03	BAL
3	11.7	0.15	1.0	0.6	1.0	0.03	BAL
4	17.0	0.15	1.0	0.6	1.0	0.03	BAL
5	22.0	0.15	1.0	0.6	1.0	0.03	BAL
6	30.0	0.15	1.0	0.6	1.0	0.03	BAL

基礎試験

元素名	Si	Fe	Cu	Ti	Mn	Mg	Cr	Zr	Ni
中心値	12.0	添加量を変化して試験を実施							
成分範囲	11~13								
添加元素の検討				試験項目		試験片履歴			
Si	12%Fix	Mg	0.2~1%で変化	合金組織		凝固速度、組織形態			
Fe	0.1~1.0%で変化	Ca	0, 120ppm	強度試験		高温強度、高温疲労 at300℃			
Cu	1~5%で変化	Ni	1~7%で変化	鍛造性試験		据込み鍛造			
Ti	有り、なし	Zr	0.1~0.2%で変化			前・後方押出鍛造			
Mn	0.05%Fix	P	0, 80ppm			製品鍛造試験			

開発合金仕様

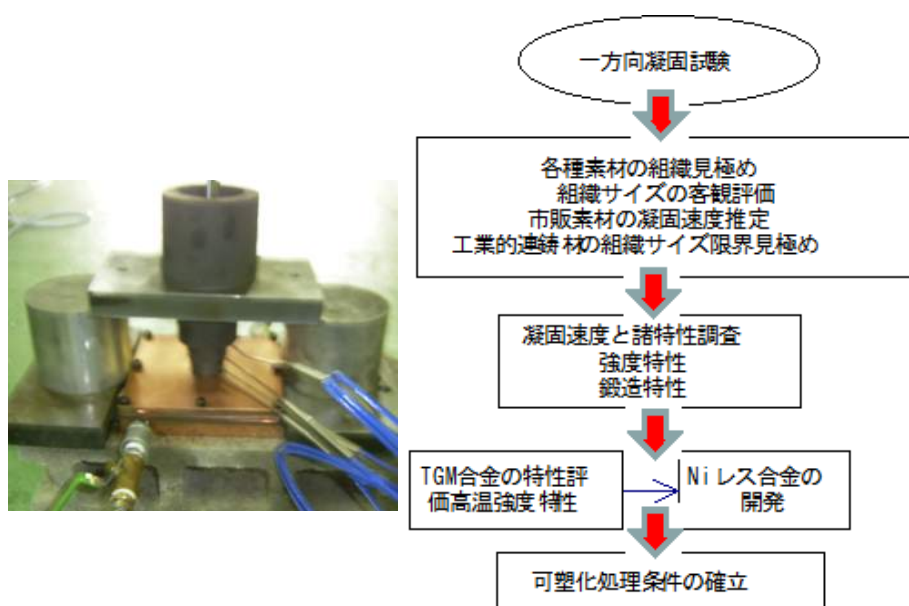
合金名	Si	Fe	Cu	Ti	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Zr	P	Sb	その他	備考	トータル添加量
TGM408	12.0	0.5	2.0	0.01	-	1.0	-	-	2.0	0.1	-	-	-	Pなし	17.6
409, Niレス	10.5	-	3.0	0.0	0.2	0.5	-	-	-	-	120	0.2	-	P添加	14.5

図②-1-1 鍛造ピストン用合金の開発経過

次に高温強度特性、鍛造性を考慮して遷移元素の有効性と添加量を求めた。さらに、TGM408 の本命合金と低価格な Ni レス合金 409 を開発したことになる。これと同時に、組織の大きさが機能性に及ぼす影響を調査することにした。

まず、水平連続鋳造で得られた鋳造素材組織の微細化レベルがどの程度であるか客観的に評価するために図②-1-2 に示した一方向凝固試験を実施して組織の大きさを検証した。次に凝固速度と種々異なった素材の特性を調べるため、鋳造径と強度特性を調査する。具体的には強度特性と鍛造性を試験する。これらの結果を得た後に本命である開発材の諸特性を調べた。その後、低価格化を考えて Ni レス合金の開発を行った。

これらの試験を実施した後に、さらに鍛造性を向上するための可塑化処理条件の検討を行う。一連の試験工程を図示すると図②-1-2 右図のようになる。



図②-1-2 鍛造ピストン高機能適用合金開発フローチャート

3. 2 研究の結果

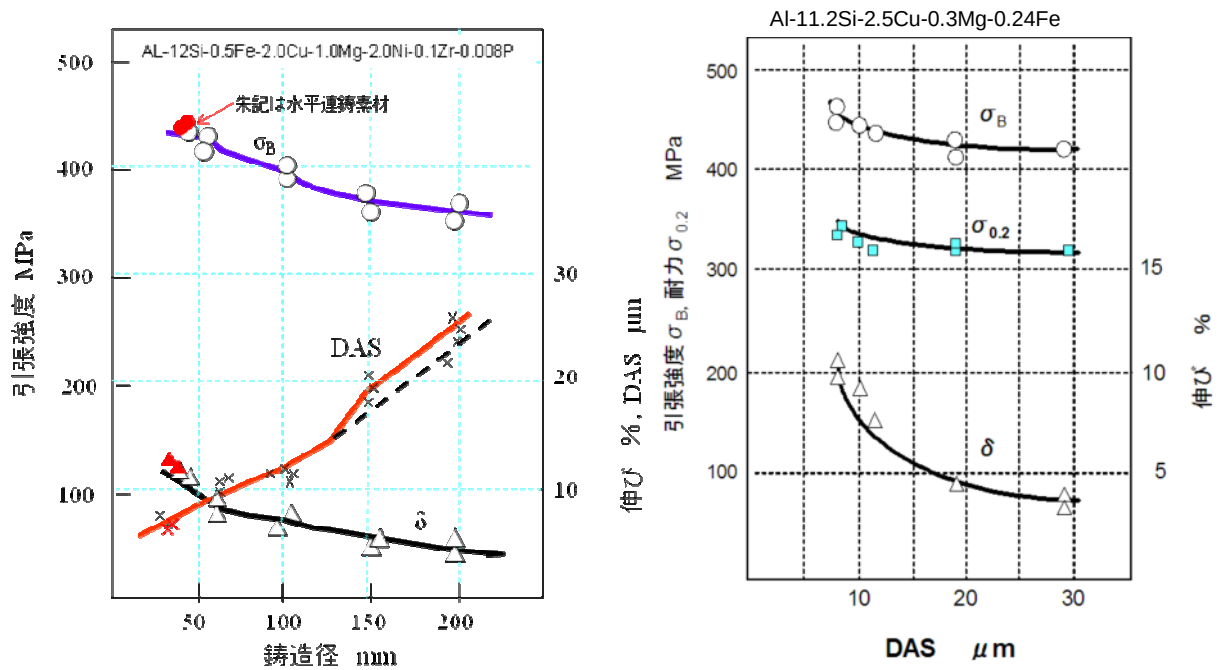
(1) 開発合金の市販材との強度特性と鍛造性の比較

開発合金の一方向凝固試験で、水平連続鋳造で製造した素材は急冷凝固で今まで得られなかった均一微細組織であることが確認できた。この素材の持つ特性を市販材と比較して強度特性、鍛造性の確認を実施した。

(1.1) 組織の大きさと強度特性

組織の大きさを種々変化した素材から R3 号小型引張試験を採取して強度特性を試験した。試験片の製造は鋳造径を種々変化することで凝固速度の異なる素材を鋳造した。まず、組織の大きさと鋳造径の関係であるが図②-1-3 の左側に示すように鋳造径が小さくなるに従って DAS が微細になり、組織が微細化しているのが判る。

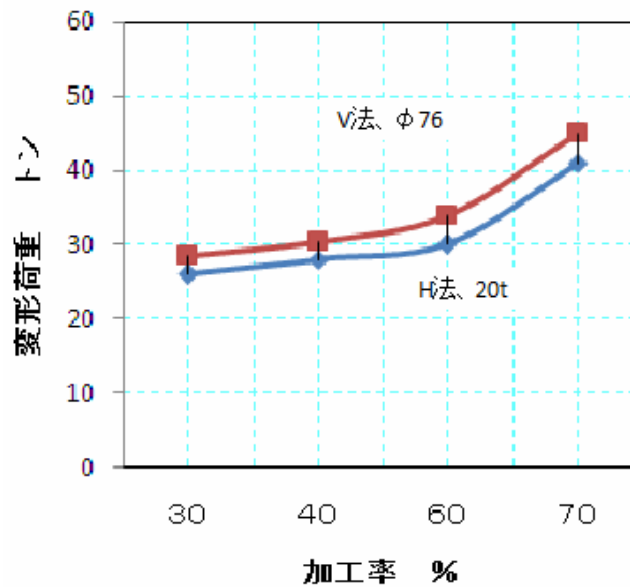
強度特性と組織の大きさとの関係を見ると鋳造径が小さくなり組織が微細化されると引張強度、伸び共に向上している。また、鋳造径が $\phi 100$ 以下になると特性は飛躍的に向上しているのが判る。これを、DAS の大きさを整理したものを図②-1-3 の右側に示したが、DAS の大きさが変化すると強度特性が大きく変化しているのが判る。この様に鋳造材の強度特性は DAS の大きさに関係し、DAS が $15\mu\text{m}$ 以下になると急激に強度特性が向上することが判る。今回開発した水平連鋳材は組織も微細であり、強度特性も今までの中で最高の特性を示していることが判る。



図②-1-3 铸造径と強度特性

(1.2) 組織の大きさと鍛造性

図②-1-4 は開発材 TGM408 の水平連铸材(70W×20t)と垂直連铸材($\phi 76$)の据込み鍛造試験を行ったものである。両素材共に鍛造性は良好であり 70%の据込鍛造でも割れは発生せず優劣は付けられなかった。変形荷重は水平連铸材の方が低く容易に変形が可能で変形能はよいことが確認できた。



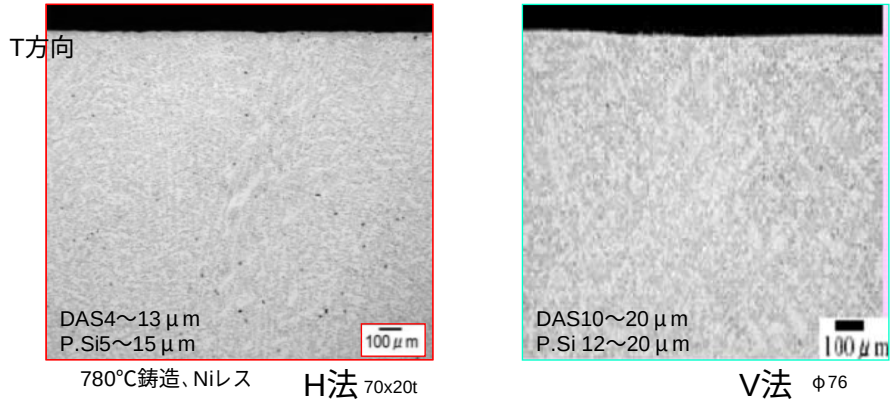
図②-1-4 水平連铸材(70W×20t)、垂直連铸材($\phi 76$)材の据込限界鍛造試験

(1.3) Ni レス合金の検討

強度特性が良好なことが確認できたので、補足として低価格化の検討の Ni を添加しない Ni レス合金の検討を実施した。表②-1-1 は開発した Ni レス合金の塑性であり、水平铸造法(H 法)と垂直铸造法(V 法)で試験铸造した。この素材のミクロ組織を図②-1-5 に示した。V 法では急冷凝固されているため組織が微細均一に制御されていることが判る。

表①-1-1 Ni レス合金(409 合金)の組成

合金名	Si	Fe	Cu	Ti	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Zr	P	Sb	その他	備考	トータル 添加量
TGM408	12.0	0.5	2.0	0.01	-	1.0	-	-	2.0	0.1	-			Pなし	17.6
409, Niレス	10.5	—	3.0	0.0	0.2	0.5	—	—	—		120	0.2		P添加	14.5



図②-1-5 Ni レス開発合金 409 材のミクロ組織

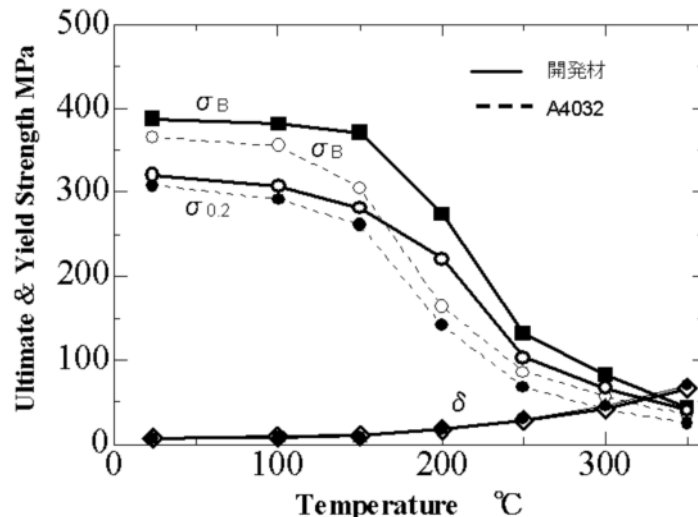
(2) ピストン材としての検討

開発合金をピストン材として使用する場合、使用に耐える高温特性と精密な鍛造品を製造するための鍛造特性が必要である。そこで高温強度と鍛造性(据込鍛造)を試験した。使用素材は H 法（水平連続）鋳造した 70W×20t mm素材から R 3 号小型試験片を採取して実施した。

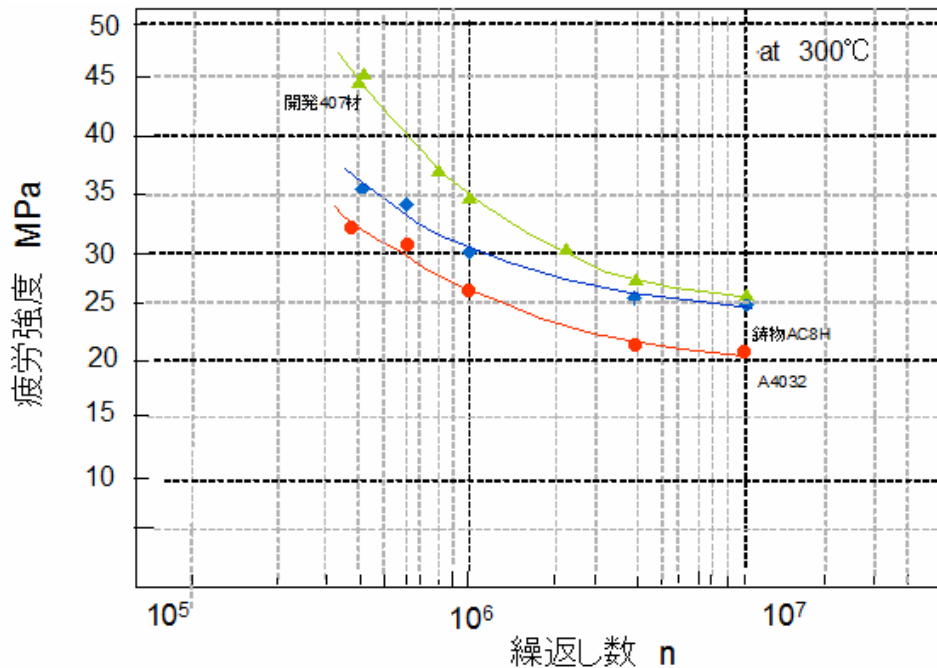
図②-1-6 は高温強度特性なのであるが、開発材は明らかに現状使用されている市販 A4032 材に比べて各温度で引張強度、耐力値共に優れていることが確認できた。これは組織微細化の効果と Ni、Fe、Zr 等の遷移元素添加の効果と考えられる。これはマトリックス中の FeNiAl₂、Cu₂(FeNi)Al₂、FeNiAl₃、FeSiAl₆ 等の再結晶温度を向上する晶出物の効果と考えられる。この様に高温強度試験で良好な結果が得られたので、高温疲労試験を実施した。

高温疲労試験はピストンへの適用を考えて 300℃で実施した。一般にピストンは過酷な走行でも 250℃以上にならないが、まれなケースとしてピストン頭部の中心部が 270℃位に上がると予想されているため、安全を考えて 300℃とした。また、比較材として現状ピストンに使用されている鋳物材の AC8A 及び鍛造用の A4032 を用いた。

試験結果を図②-1-7 に示すが、開発材は 10⁷ 疲労限で 27MPa の疲労強度があり、現状鍛造材の A4032 材に比べて 3 割弱の強度アップがあることが確認された。



図②-1-6 開発材と市販 A4032 材の高温強度特性



図②-1-7 開発材の高温(300℃)疲労試験結果

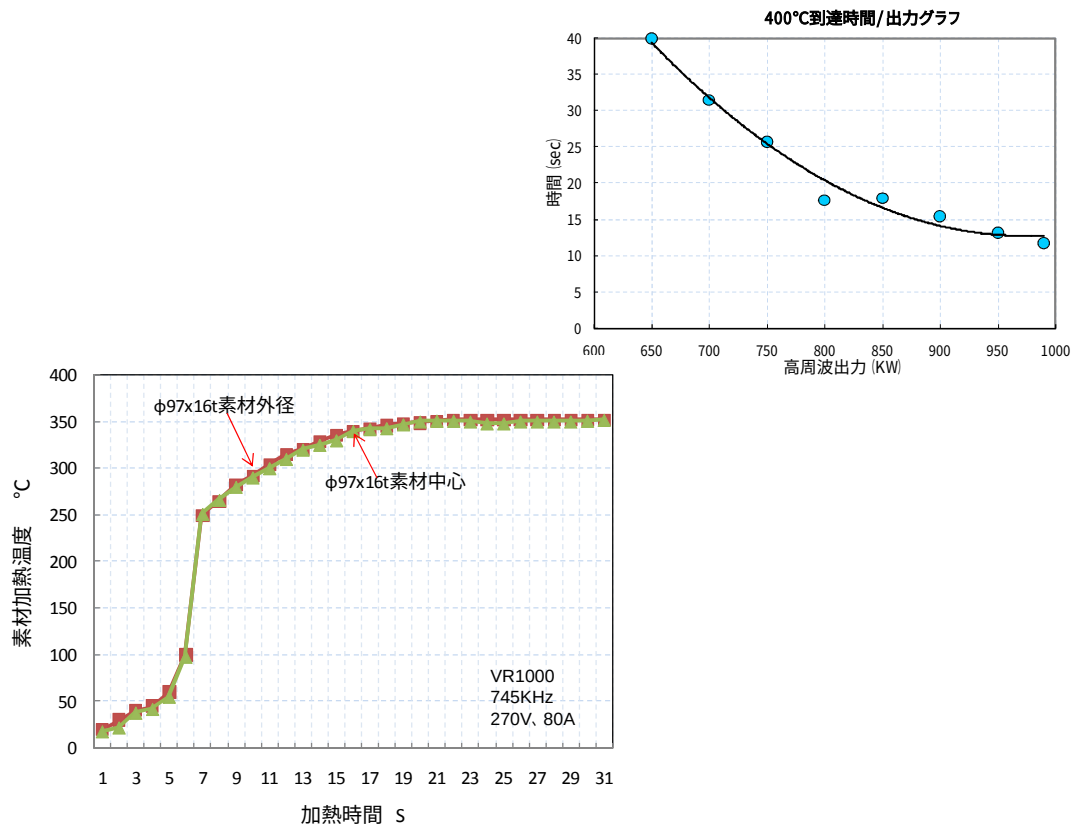
(3) 可塑化処理技術の検討

今回の一連の試験で、水平連続鑄造材では鍛造性が良好であり、複雑形状のピストン材も鍛造可能であると考えられる。しかし、前項で示したように高温強度特性と疲労強度が良好なことは変形しがたく、転位が生じにくいことになる。本処理は昨年度に基礎的な検討を行っているが、本年度は可塑化処理時の昇温速度を速めて可塑化の効果を増大することを主眼にして追試験した。

使用した試験装置を図②-1-8 に示すが、鍛造機の横に高周波加熱装置を設置して、鍛造と可塑化処理をドッキングした。この高周波急速加熱装置を用いると図②-1-9 に示す様に約 20 秒で 400℃の鍛造温度まで昇温可能である。

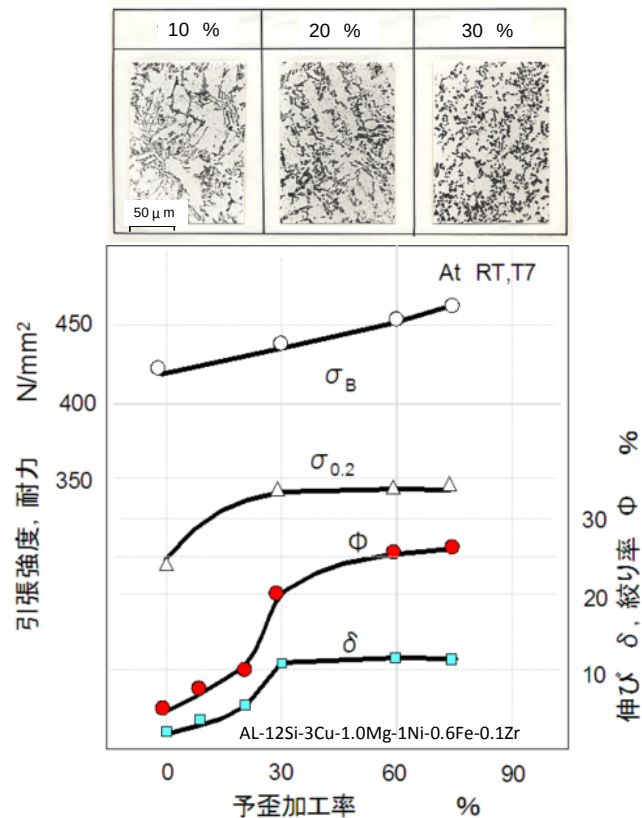


図②-1-8 可塑化処理の効果増強と作業効率化のため導入した高周波加熱装置



図②-1-9 高周波出力と温度上昇及びφ76×16 mm素材の昇温時間

図②-1-10 はこの装置を用いて加工率を変化して試験したもので、加工率を 25%以上で実施すれば十分な結晶粒微細化が出来て可塑化(良好な塑性加工性)が得られることが確認できた。昨年の試験では 30%以上の加工が必要であったが、これより低加工率で効果が得られることが判った。



図②-1-10 高周波電源による可塑化処理効果

4. 結果のまとめと考察

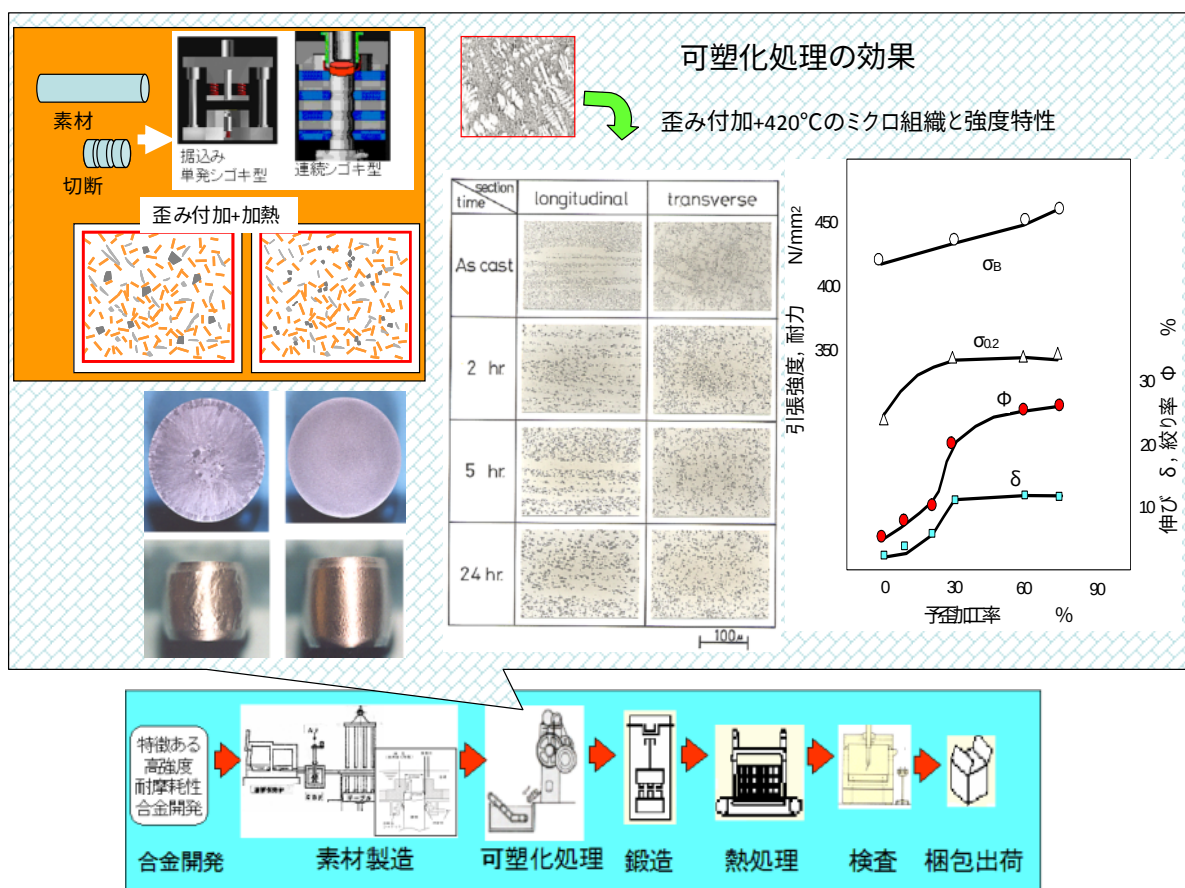
開発合金を主体に鍛造ピストン高機能適用の合金開発を実施した結果、次のようなことが確認できた。この結果を基にピストン及び一般鍛造品の開発を実施することにした。また、可塑化処理の強度及び鍛造性向上の効果を集約したのが図②-1-11である。

ここに示したように、先ず素材を急凝固して微細な組織を得ることが重要であり、次にその素材を鍛造前に“可塑化処理”することで結晶粒の微細化と晶出物の破碎及び固溶することで、強度と鍛造性を両立しながら鍛造可能な工法の開発が出来たことになる。

- ・一方向凝固試験で DAS と素材製造時の凝固速度を求める基礎試験を実施した。その結果、水平連続铸造材は 24°C/S で铸造されており、従来にない微細組織が得られるものと考えられる。
- ・今回得られた DAS と凝固速度の関係を定量的に把握した。DAS の大きさ (d) と冷却速度 (C) との間には一般的に次式が成立する。 $d = A C^n$ (A, n: 定数) 関係式から、開発合金の A, n 値を求めると、 $A = 32$, $n = -0.38$ となる。すなわち DAS と凝固速度の関係は次式となる。

$$D \text{ (DAS の大きさ)} = 32C^{-0.38} \quad (C \text{ は凝固速度 } ^\circ\text{C/s})$$

- ・素材系を種々変化した素材で凝固速度と組織の大きさを試験したが、今回開発した水平連続铸造材は凝固速度が 24°C/S と急凝固で現在の工業的铸造法の最高部類に成ることが確認できた。
- ・水平連続铸造材で製造した開発材 TGM408 材は市販材に比べ常温及び高温強度特性が良好なことが確認でき、また鍛造性も良好であった。
- ・今回の試験から、水平連続铸造で製造した素材は可塑化処理を施さなくてもピストン鍛造が可能なことが予測できた。
- ・昨年度開発した可塑化処理の効果を追試験で確認した結果を図②-1-11 右図に示す。予歪み 25% 以上を加えれば、組織がさらに微細になることが確認できた。このため鍛造性が向上すると考えられる。



図②-1-11 組織微細化材の可塑化処理効果のまとめ

②－２ 高機能鍛造適用合金開発

１．目的

これまでに、エンジンピストンなどに代表される精密鍛造製品の高機能化や高強度化を図るため、各種の遷移元素を高濃度に添加した新たな Al-Si 系合金を開発し、鍛造用素材としての妥当性を検証してきた。

今年度は、市販材の鑄塊特性を調査し、鍛造用素材における組織制御の観点から創出した開発材の優位性を検証するとともに、過共晶組成への製品展開について検討する。

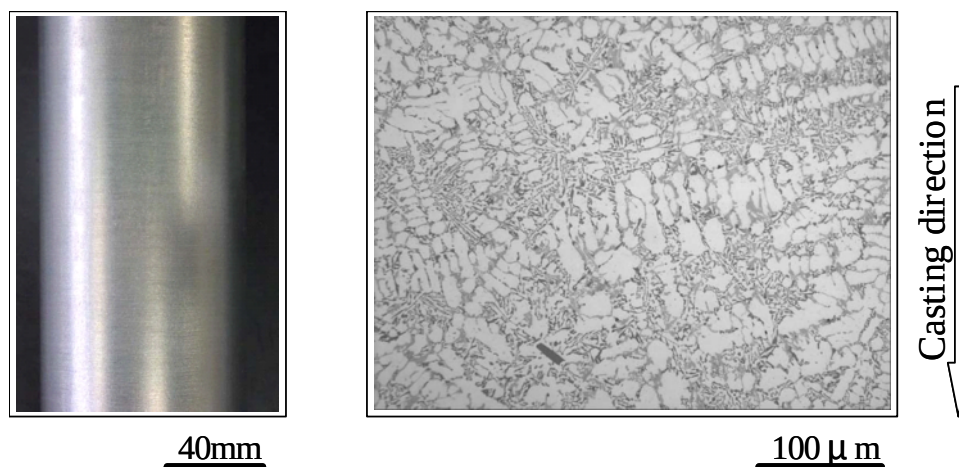
２．２０年度研究内容

（１）研究の背景と経緯

高温疲労強度や耐摩耗性、耐熱性、低熱膨張性など最も多様な機能特性が要求される鍛造ピストン製品に対しては、Si と遷移元素を高濃度に含有した Al-Si 系の合金素材が必要とされるが、典型的な難加工材料として知られている。一方、昨今の高機能化や軽量化ニーズの加速を受けて、過酷な加工条件や高負荷化に対応できる合金開発や用途開発が指向されており、これらの現状を打破するためにも、鍛造製品の品質向上と省エネルギー化、省資源化によるコスト低減に寄与できる新たな素材製造技術が強く求められている。

そこで、鍛造時の加工性と優れた製品特性を具備する上で必須となる主要な晶出相の微細、分散化を素材段階で達成するため、急凝固手法を適用した断熱急冷式連続鑄造法 [Heat Insulating and Rapid Cooling Mold (以下、HI-RCM)] を開発し、Fe、Mn、Cr、Ni、Zr などの遷移元素を高濃度に添加した Al-Si 系合金ビレットの製造を試みてきた。

一般に、遷移元素を高濃度に含有する Al-Si 系合金においては、各々の元素が複雑に絡み合い、多種多様な金属間化合物相を晶出する。特に、Ni 元素は Fe や Cu 元素と親和性が高く、凝固時の冷却速度が遅い場合、あるいは必要以上に過剰に添加した場合、晶出物が粗大化して致命的な材料欠陥を引き起こす。鍛造製品における機能特性を左右する主要晶出相の粗大化現象を抑止するためには、これらの晶出挙動を理解し、各々の元素について添加量を制御する必要がある。このような観点に基づき、12%Si と 14%Si 組成の Al-Si 合金をベースに新合金の成分組成を絞り込んできた。



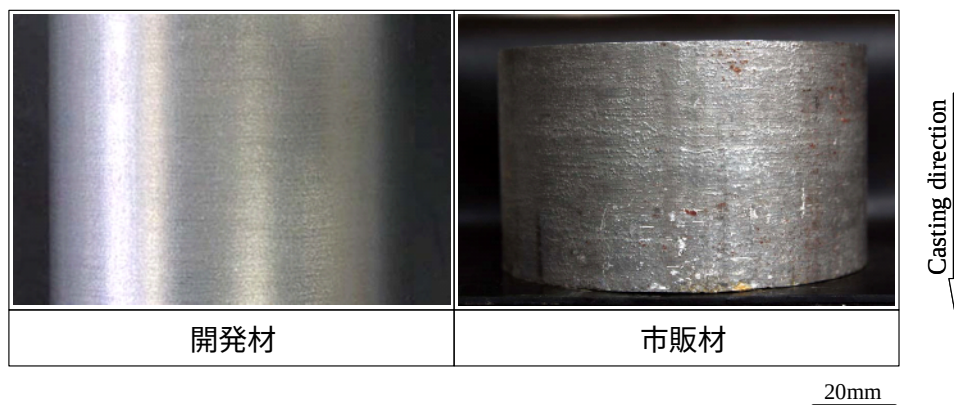
図②-2-1 開発合金で得られた断熱急冷式連続鑄造ビレットの鑄塊外観とミクロ組織

図②-2-1 に開発合金で得られた断熱急冷式連続鋳造ビレットの鋳塊外観とミクロ組織を示す。この開発合金は、Si を 12%含有する共晶合金に遷移元素を適宜添加した Ni 添加型の材料として設計したものである。より実用的な合金組成においても、従来の連続鋳造ビレットを凌駕する非常に平滑な鋳塊表面が得られており、微細な針状およびラメラ状晶出物が共晶組織内に分散した鋳造組織となっている。また、本合金は P 元素を添加していないため、初晶 Si は積極的に晶出していないが、微細な針状晶出物が α -Al 相を取り巻くように存在しており、これらの金属間化合物が交錯することで高温環境下における α -Al 相の軟化を抑止できるものと考えられる。このように、優れた機能特性を生み出すことが期待される各種の遷移元素に着目し、その添加量と晶出形態を制御することで、素材の製造段階において緻密なネットワーク組織を有する新合金を創出することができた。

今年度は、鍛造加工に供する Ni レス型の市販材を調査し、断熱急冷式連続鋳造法によって製造された開発材の優位性を明らかにするとともに、さらなる製品展開を狙い、過共晶組成の Al-Si 系合金で得られた鋳塊特性を評価した。以下に、その研究成果を報告する。

(2) 研究の結果および考察

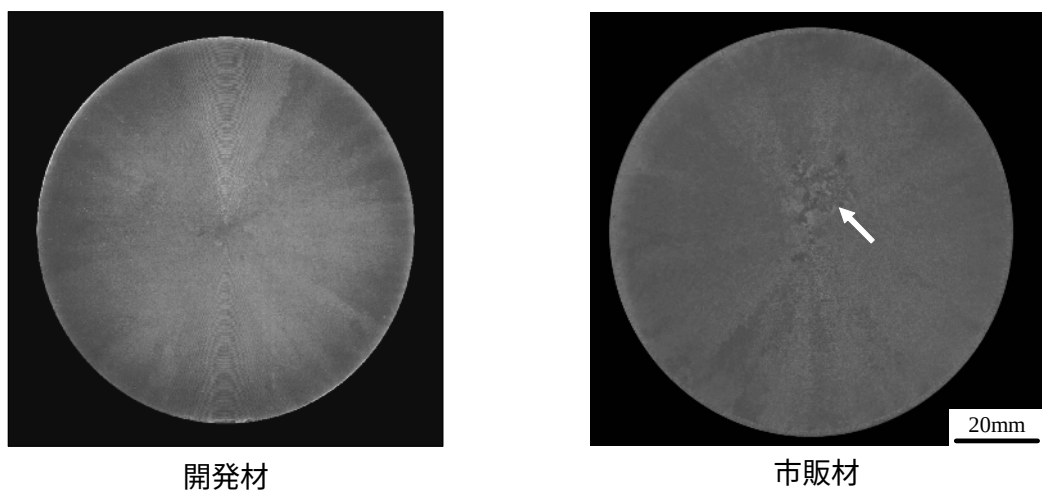
図②-2-2 に現在市販されている Ni レス型の Al-Si 系合金ビレットにおける鋳塊外観を示す。製造の詳細は明らかではないが、リップル状を呈した特有の鋳塊表面が確認されることから、小径サイズのホットトップ式連続鋳造法で製造されているものと推測される。より高度な品質と精度が要求される精密鍛造の場合には、鋳塊表面の不均一層を取り除くピーリング加工が必須となっており、図②-2-2 は鋳造のままの外観状態を示した貴重な資料である。既存の市販材と比較しても、新鋳造法で得られた開発合金ビレットの鋳塊表面は非常に優れた平滑性を具備していることが分かる。



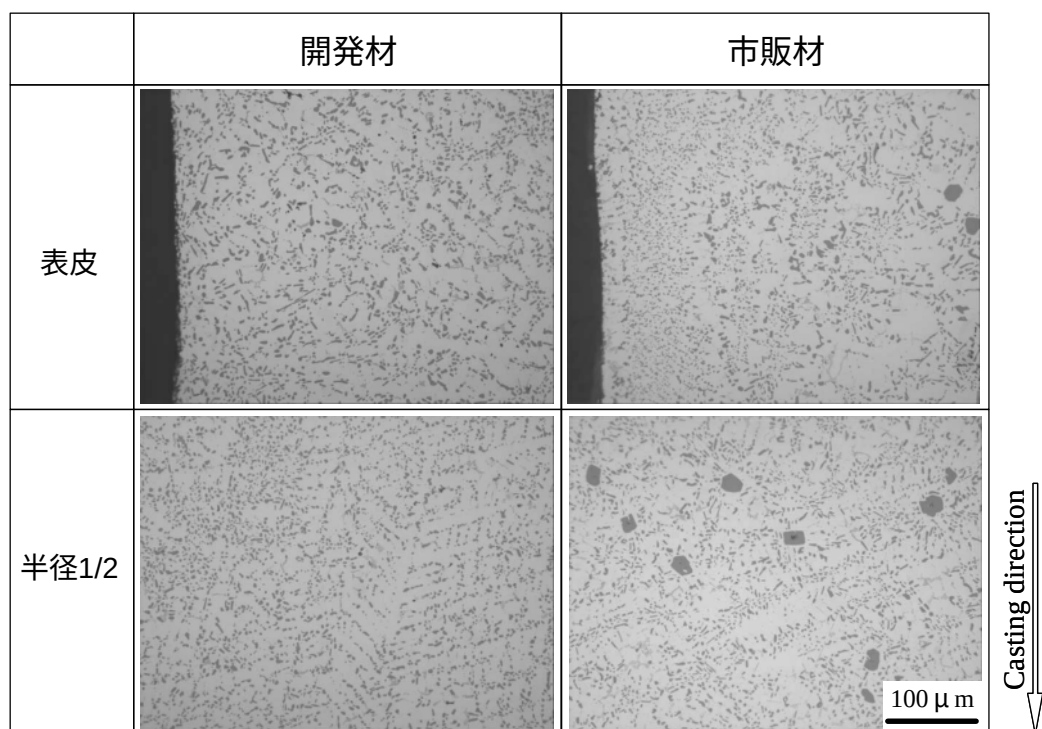
図②-2-2 市販ビレットの鋳塊外観

図②-2-3 に市販ビレットにおける横断面のマクロ組織を示す。開発材、市販材ともに鋳塊の表層から内部に至るまで微細な鋳造組織を呈しているが、特に、市販材では鋳塊の中心部に粗大組織が共存していた。一方、市販材については、鋳塊の表層部に約 2 mm 前後の厚さを呈したチル組織が形成されているものの、平滑な鋳塊表面を有する開発合金ビレットにはこのような明瞭なチル組織が確認されない。

図②-2-4 に開発材と市販材の表皮および半径 1/2 部位における縦断面のミクロ組織を示す。何れの鋳塊においても、均質化処理によって共晶 Si 相が球状化している様子が確認される。特に、開発材においては共晶組織や α -Al 相がより微細であり、鋳塊全体にわたり緻密な鋳造組織が形成されている。なお、市販材には 30 μ m 前後の初晶 Si 相が認められるが、これは 12%Si 組成に対して P 元素を添加することで、初晶 Si の晶出を促しているためと考えられる。



図②-2-3 市販ビレットのマクロ組織

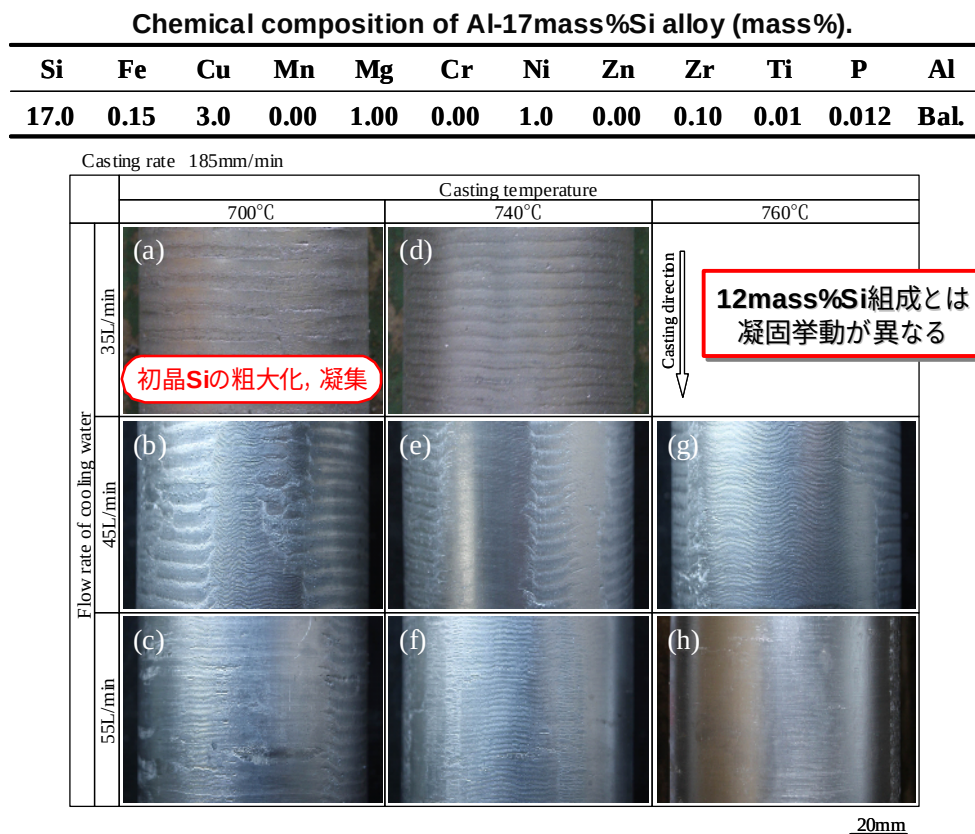


図②-2-4 市販ビレットのミクロ組織

以上の結果からも、断熱急冷式連続鋳造法で製造された Ni 添加型の Al-12%Si 合金ビレットは、既存の市販材と比較しても優れた鋳塊特性を有しているものと考えられる。

一般に、Al-Si 系合金は Si 量によって亜共晶、共晶、過共晶に大別されるが、Si 量の増加とともに様々な機能特性が付与される反面、加工性は著しく低下する。特に、シリンダライナやコンプレッサの斜板部品に用いられる過共晶合金は共晶合金にましてさらに加工性が悪く、良好な加工性と製造コストの低廉化を図るために鋳塊組織の微細化が望まれている。このような観点からも、鍛造加工に供する連続鋳造ビレットの鋳塊品質を改善することは工業的な意義が非常に大きいと考えられる。

そこで、図②-2-5 に示す Al-17%Si 合金において、過共晶組成に至る断熱急冷式連続鋳造ビレットの製造を試みた。まずは、共晶組成の 4032 合金で平滑な鋳塊表面と微細な鋳造組織が得られた条件域においてビレットを製造した。しかしながら、鋳造温度が低く、冷却水量が少ない条件(a)や条件(d)では、幅広のラッピング状を呈した鋳塊表面が得られ、初晶 Si も粗大に凝集している様子が確認された。この結果を受け、鋳造速度を一定とし、鋳造温度と冷却水量を変化させた結果、鋳造温度が 760℃、冷却水量が 55L/min の条件(h)において、これまでと同様に平滑な表面状態を得ることができた。なお、鋳造温度と冷却水量をともに上げていく過程において、ラッピング肌と平滑肌が共存する鋳塊表面が得られており、このような遷移条件が存在する点は共晶組成近傍の Al-Si 合金と同じ挙動を示したものの、Si 組成によって凝固機構が異なることが示唆された。

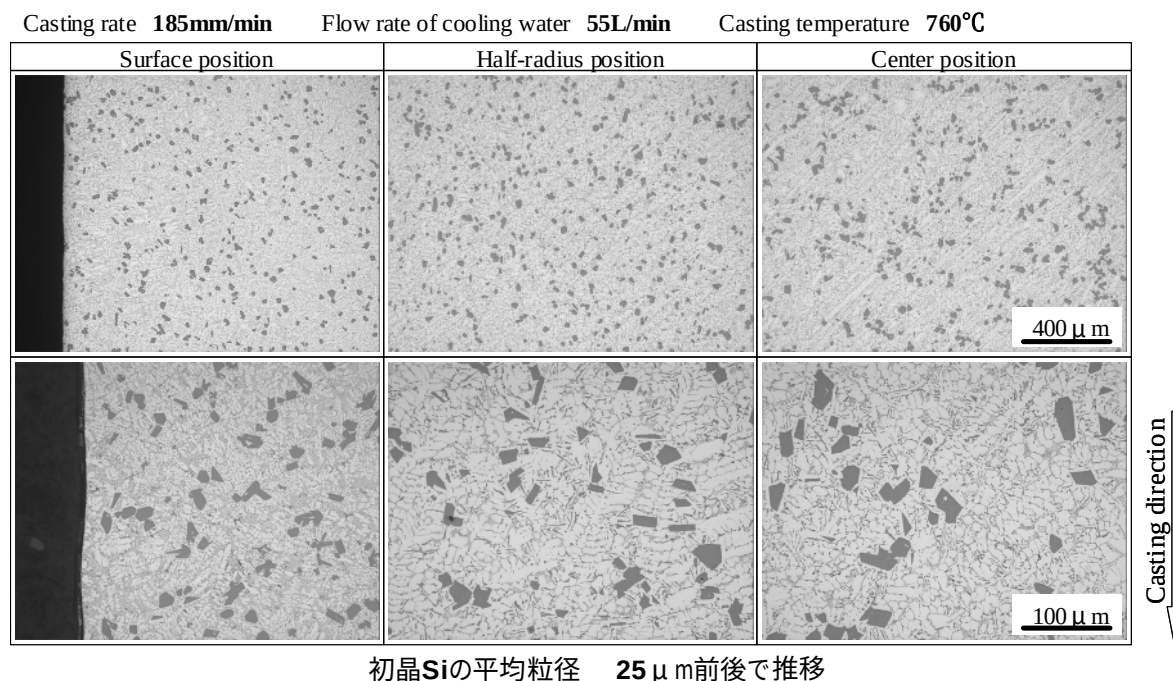


図②-2-5 Al-17%Si 合金ビレットで得られた鋳塊外観

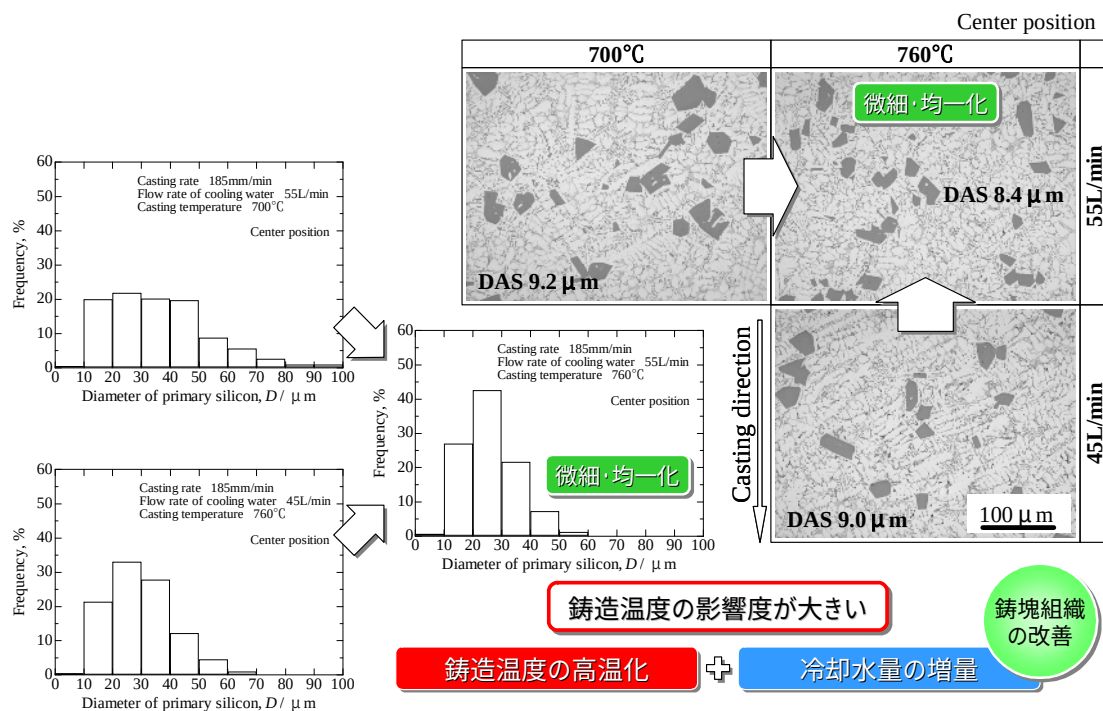
図②-2-6 に平滑表面が得られた条件(h)のミクロ組織を示す。本条件で得られた平滑表面ビレットにおいては、表層部から中心部に至るまで、初晶 Si 粒子が均一に分散した晶出状態が確認され、その平均粒径は総じて 25 μm 前後で推移していた。このような鋳塊組織の状態は、従来の連続鋳造ビレットと比較しても高い優位性を示していると考えられる。

図②-2-7 に鋳塊組織に及ぼす鋳造温度と冷却水量の影響を示す。冷却水量が少ない場合や鋳造温度が低い場合には、最大で 60 μm を上回る粗大な初晶 Si 粒子の存在が確認されるのに対し、冷却水量の増量と鋳造温度の高温化を組み合わせた場合では、 α -Al 相や初晶 Si 相、共晶 Si 相に至るまで微細化が図られている。また、写真中には鋳塊の中心部で測定した DAS の値を併記したが、これらの値からも、鋳塊全体にわたり、連続鋳造時の冷却速度が向上していることが推測される。

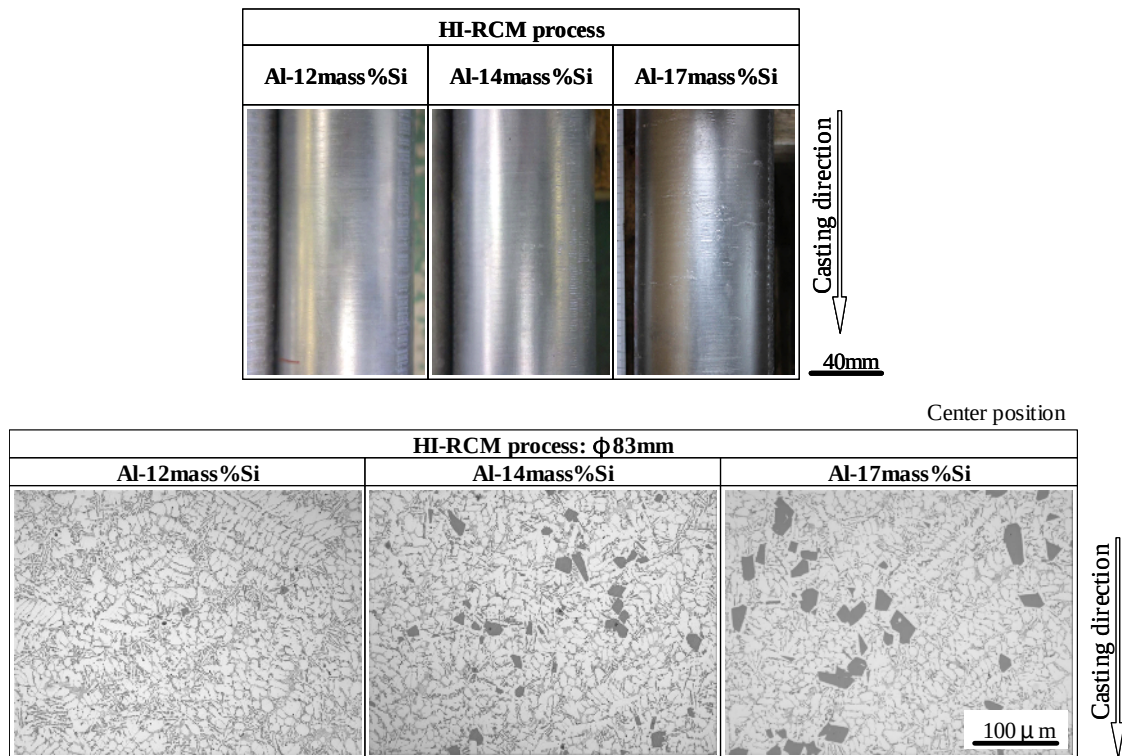
図②-2-8 に新鑄造法で作製された Al-12%Si、14%Si、17%Si 合金ビレットの鑄塊表面性状と内部組織を示す。このように、断熱急冷式連続鑄造法においては Si 組成にしたがい、鑄造速度、冷却水量、鑄造温度を適宜組み合わせることで、平滑な鑄塊表面と微細な鑄造組織を兼ね備えた小径連続鑄造ビレットの製造が可能であることを確認した。



図②-2-6 Al-17%Si 合金で得られた平滑表面ビレットの鑄塊マイクロ組織



図②-2-7 Al-17%Si 合金の鑄塊組織に及ぼす鑄造温度と冷却水量の影響



図②-2-8 断熱急冷式連続鋳造法で得られた Al-Si 系合金ビレットの外観とマイクロ組織

3. まとめ

- 1) 鍛造ピストン製品に要求される様々な機能特性に寄与するとされる Fe、Mn、Cr、Ni、Zr などの遷移元素に着目し、各々の添加量と晶出形態を制御することで、素材の製造段階において緻密なネットワーク組織を形成する新合金を創出することができた。
- 2) 断熱急冷式連続鋳造法で製造された開発合金は、内燃機関用材料として従来素材を凌駕する優れた鋳塊特性を示した。
- 3) 断熱急冷式連続鋳造法は、Si 組成にしたがって鋳造速度、冷却水量、鋳造温度を適宜組み合わせることで、過共晶組成の Al-Si 系合金に対しても適用が可能であることが確認された。

③複雑・高精度鍛造品の開発研究

③-1 高性能新合金の鍛造試作（鍛造ピストン）

20年度は一工程で高精度鍛造品を実現する技術開発を目的とし、開発材で複雑・高精度鍛造品製造の開発研究を行う。また、量産化を念頭に置き昨年度までに開発したピストンの鍛造条件で“イジワル試験”及び“工程能力試験”を実施する。さらに、得られたデータをベースにして、量産のためのQCを主体とした帳票類を作成する。

1. 目的

V法：細径連続铸造棒とH法：水平連続铸造材で製造した開発材を用いて複雑形状のピストンの精密鍛造を行う。ピストン実体の強度試験を行い、併せて量産前提の“イジワル試験”“工程能力試験”を実施する。

2. 実施項目

イジワル試験：

イジワル試験とは、量産時に予め製造現場でばらつきを生じる製造条件範囲を想定して鍛造して問題が発生しないかを確認するものである。このときの試験条件は現場ばらつき以上の条件範囲で行うため“イジワル”の名をつけた。この試験で不都合が生じなければ、現場での不良発生の余地はない。イジワル試験の目的と試験条件を図③-1-1に示した。

目的：708ピストンの量産にあたり鍛造条件確立を行う。
内容：試作鍛造実施時の最悪条件を組合して「イジワル試験」を実施する。

1. 試験条件と合金

- ・使用プレス 630tプレス
- ・使用金型 708(#1)
- ・材質：開発材新合金
- ・潤滑剤
素材：ハイブリッド潤滑
下型：油性グラファイト
- ・金型温度 320℃
- ・スラグ(素材)形状：
φ97×15.75±0.15mm

合金名	Si	Fe	Cu	Ti	Mn	Mg	Cr	Ca	Ni	Zr	P
TGM408	11~13	0.5	1.5~2.5	0.1	0.1	0.6~1.3	-	-	0.5~1.0	0.08~0.12	80

- ・素材温度の上限は、465℃(+15℃)で設定
- ・素材温度の下限は、435℃(-15℃)で設定
- ・型潤滑噴霧量の上限は、15cc(+5cc)で設定
- ・型潤滑噴霧量の下限は、7cc(-3cc)で設定
- ・素材潤滑の上限は希釈を1:8で設定
- ・素材潤滑の下限は希釈を1:12で設定
- ・STDは20個 各条件のスラグは15個準備し、try前に(5)個捨て打ち、その間にスラグ測湿

STD条件は、450℃±10℃

STD条件は、10cc±2cc

STD条件は、1(ハイブリッド):10

表 イジワル試験条件表

項目	STD	条件 №	1	2	3	4	5	6	7	8
加熱炉温度(℃) (スラグ実体温度)	470 (450±10)	485(465)	○	○	○	○				
		455(435)					○	○	○	○
型潤滑噴霧量 (cc)	10±2	15		○		○		○		○
		7	○		○		○		○	
素材潤滑希釈 (ハイブリッド:水)	比重:3.5±0.2	4.0			○	○			○	○
		3.0	○	○			○	○		

図③-1-1 鍛造品の試作手順

図③-1-1 の中の表に示す様に量産標準条件に対して、故意に条件を降って試験をするものである。例えば鍛造温度は量産では $450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ で実施するが、これを $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 条件変化して $435 \sim 465^{\circ}\text{C}$ で鍛造を実施して、鍛造欠陥が出ないかを検証する。

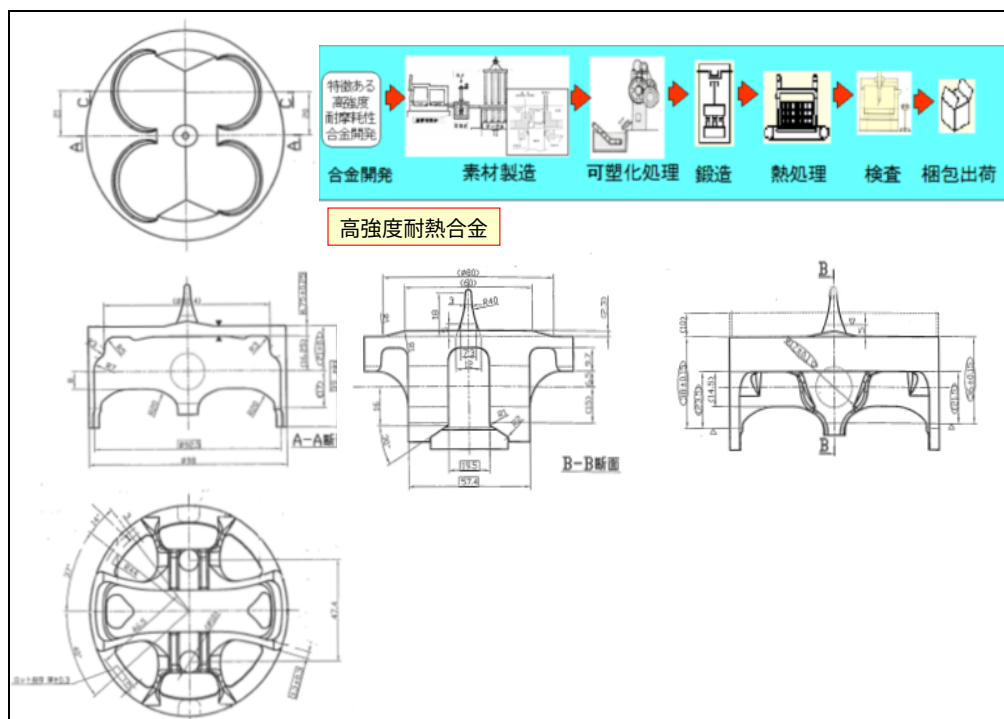
工程能力試験：

鍛造を標準設定した鍛造条件で 30 個鍛造して、工程能力を寸法ばらつき、鍛造欠陥で検証して工程能力指数を求める。

試験は図③-1-2 に示す鍛造機を用いて 708 型ピストン(外径 $\phi 90$)で実施した。ピストンの形状と鍛造工程を図③-1-3 に示した。

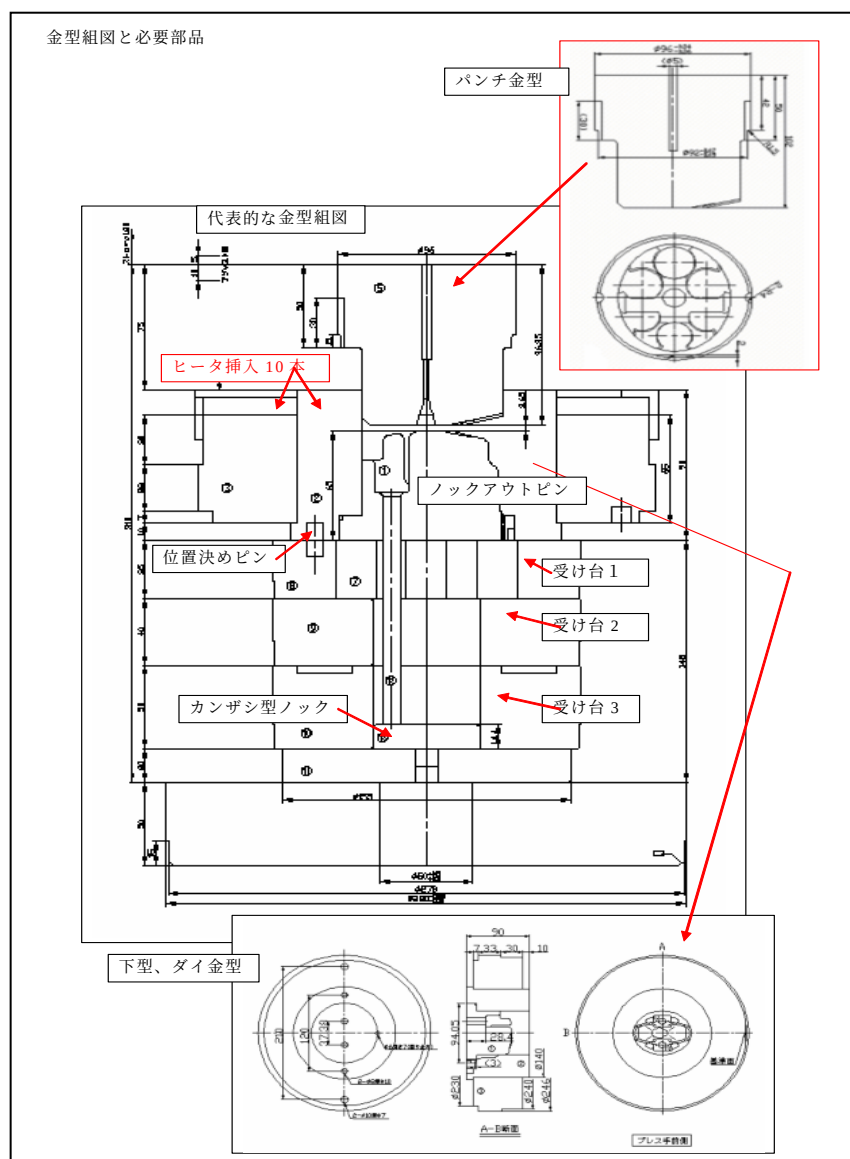


図③-1-2 ピストン鍛造に使用した金型



図③-1-3 試作 708 ピストン製品形状

鍛造に当たっては、昨年度までの蓄積技術を生かして実施した。まず、鍛造方案及び金型の概略設計を行い図③-1-4 に示す鍛造組図のようにして鍛造するようにした。型製作は図③-1-5 に示す電極を用いて難易度の異なる2つの金型を製作して鍛造試作を行った。この他、一般鍛造品の防振ゴム部品も鍛造件した。



図③-1-4 鍛造方案と金型組図



図③-1-5 試作に使用した 708 ピストンとロアーブラケット金型

3. 試験結果

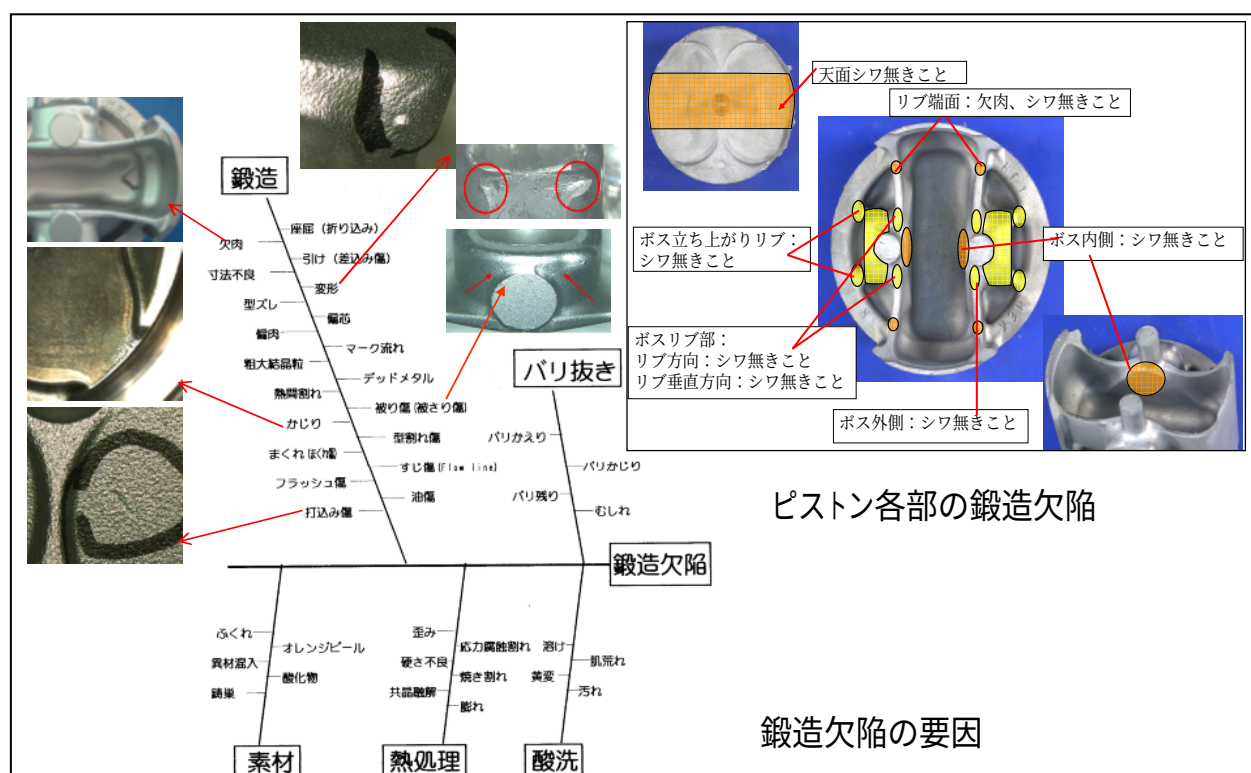
3. 1 イジワル試験結果

イジワル試験は図③-1-1 に示した鍛造条件で、量産時にばらつきが予想される素材重量、鍛造温度、潤滑条件を振って試験した。図③-1-6 は 708 ピストンの外観形状である。左図は段打ち鍛造をしたもので、流動制御がきちんとなされていることが判る。

イジワル条件を変化して鍛造したものを、図③-1-7 に示す検査条件で外観検査をした。その結果を表③-1-1 及び図③-1-8 に示した。鍛造試作は一工程恒温流動制御鍛造で行った。今回実施した 708 ピストンは天面部の肉厚が極端に薄く、変形荷重も高くなり、素材の肉流れ時の流速が肉厚部、肉薄部と極端に差があり、欠陥が発生しやすく精密鍛造が難しい形状である。試験結果を見るとどの様なイジワル条件でも欠陥は認められず、カラーチェック試験でも有害な欠陥は認められず鍛造工法として確立したものであることが確認できた。(図③-1-9)



図③-1-6 イジワル試験を実施した 708 ピストンの外観と段打ち結果



図③-1-7 ピストンの外観試験内容と欠陥の要因分析

表③-1-1 イジワル試験結果

試験条件

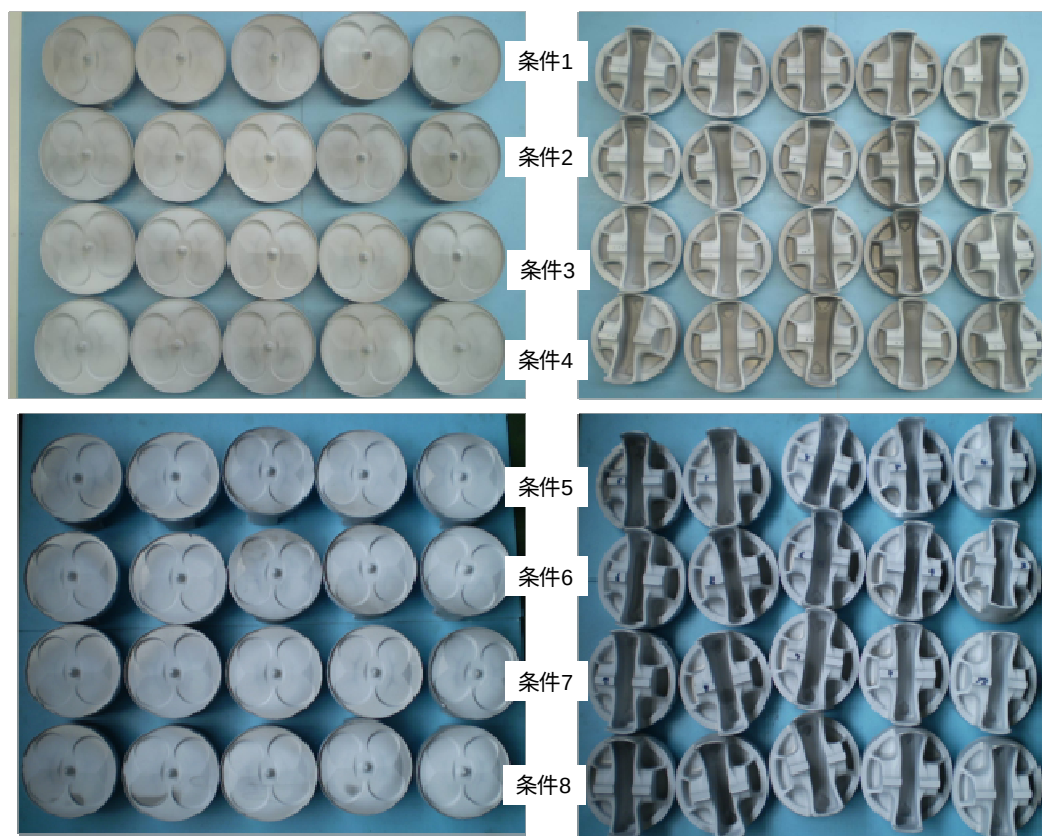
項目	STD	条件 №	1	2	3	4	5	6	7	8
加熱炉温度 (°C) (スラグ実体温度)	470 (450±10)	485 (465)	○	○	○	○				
		455 (435)					○	○	○	○
型潤滑噴霧量 (cc)	10±2	15		○		○		○		○
		7	○		○		○		○	
素材潤滑希釈 (ハイブリッド:水)	比重:3.5±0.2	4.0			○	○			○	○
		3.0	○	○			○	○		

表 TRY結果

プレス実施 2008/7/16

項目 TRY条件	成形荷重 Max~Min	鍛造品寸法 (各条件5個測定)					鍛造品目視検査			カラーチェック後 目視検査		断面 70-	欠陥数	評価
		平均頭部厚 4.75±0.25	外径98± 0.39	内径 92.5± 0.39	ボス幅 57.4± 0.35	平坦度 0.3以下	スカート伸び	窓欠肉	リング 溝下欠	頭部 シワ	ボス シワ	欠陥		
STD	385 ~ 390	4.77	○	○	○	○	○	なし	なし	なし	なし	0	◎	
1	387 ~ 394	4.79	○	○	○	○	○	↑	↑	↑	↑	0	◎	
2	387 ~ 395	4.78	○	○	○	○	○	↑	↑	↑	↑	0	◎	
3	386 ~ 396	4.77	○	○	○	○	○	↑	↑	↑	↑	0	◎	
4	386 ~ 391	4.72	○	○	○	○	○	↑	↑	↑	↑	なし	0	◎
5	389 ~ 392	4.83	○	○	○	○	○	↑	↑	↑	↑	なし	0	◎
6	390 ~ 397	4.78	○	○	○	○	○	↑	↑	↑	↑	0	◎	
7	389 ~ 395	4.82	○	○	○	○	○	↑	↑	↑	↑	0	◎	
8	393 ~ 401	4.80	○	○	○	○	○	↑	↑	↑	↑	0	◎	

図③-1-8 鍛造ピストンの寸法精度



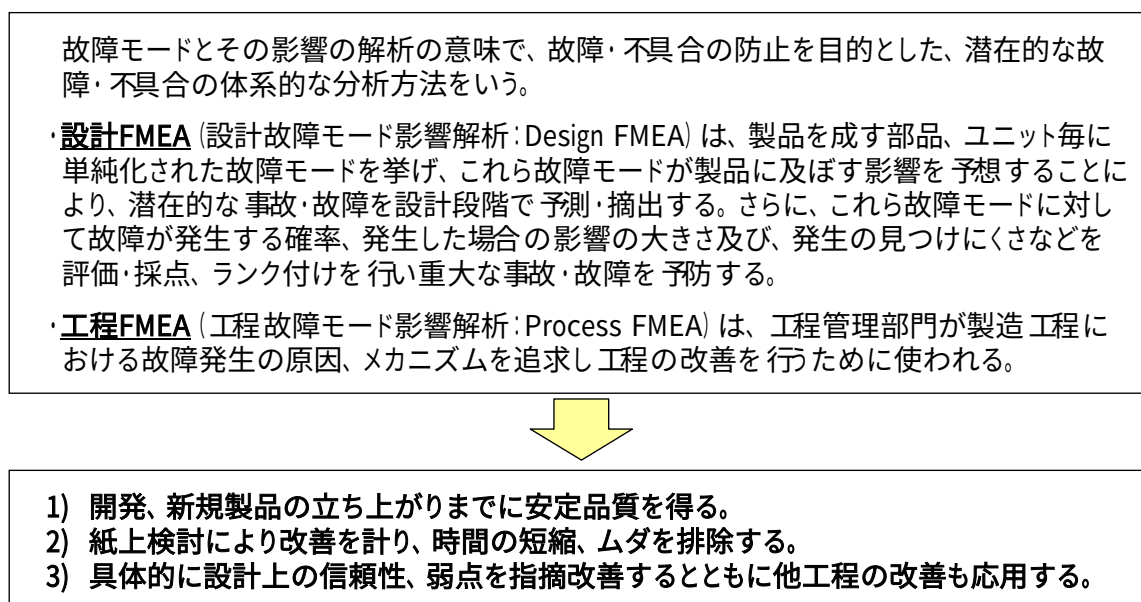
試験結果:各条件鍛造品をN=5検査した。カラーチェックの反応なし(シワ、かぶりなし)

図③-1-9 イジワル試験ピストンのカラーチェック試験結果

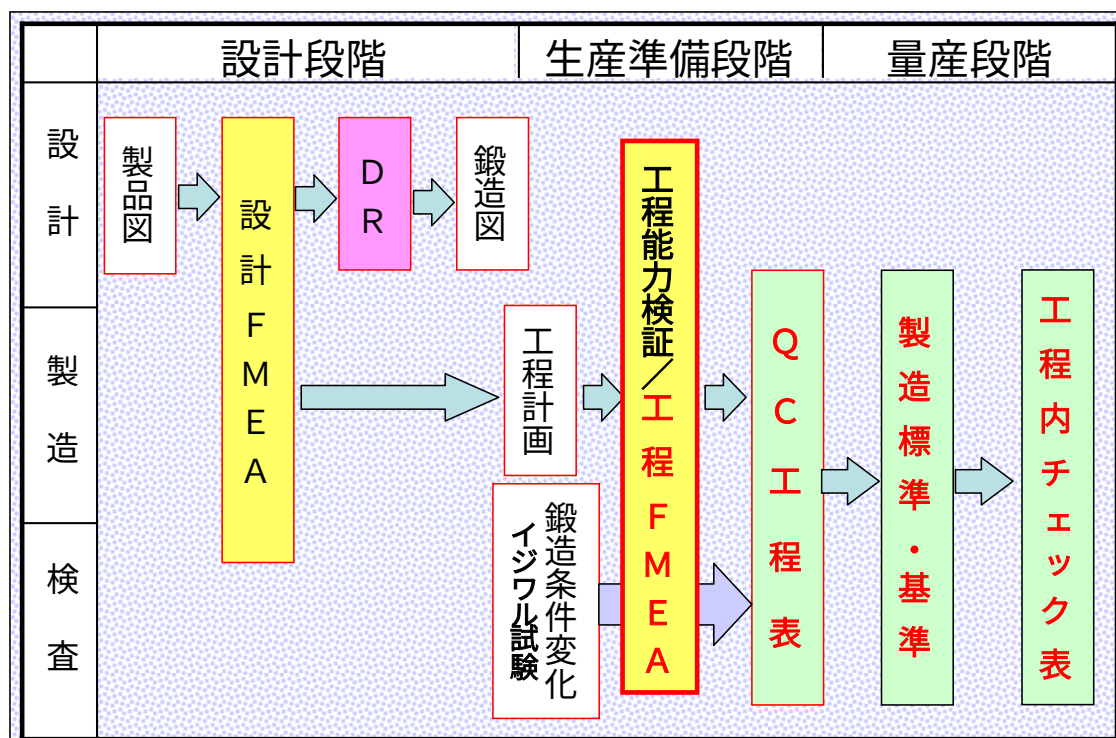
3. 2 ピストン鍛造の工程能力試験

ピストン鍛造の量産を考えると、納入メーカの品質基準に合致しなければならない。このため FMEA 検証のポイントとなる鍛造工程能力試験を実施した。FMEA とは Failure Mode and Effect Analysis の頭文字を取ったもので故障モード影響解析を意味する。これは設計段階、製造段階で分かれ、予め現場作業で起こる故障(不都合)を予測してその影響度を調査するものである。FMWA の考え方を図③-1-10 に示した。また、鍛造メーカが実施する FMEA 対応試験を設計段階、生産準備段階、量産段階で示したのが図③-1-11 である。

工程能力試験は重要な位置づけにあり、この試験で所定の工程能力が得られないと QC 工程表などの品質帳票類の作成に入れないことになる。また前項に記述した“イジワル試験”の結果が良好であったので「工程能力試験」に移行できるとも言える。



図③-1-10 FMEA による品質管理の徹底内容



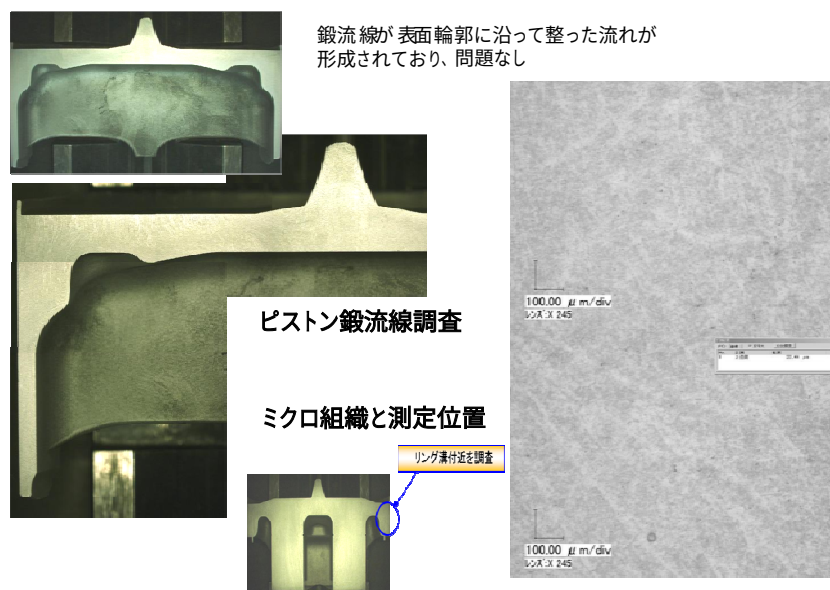
図③-1-11 設計、生産準備、量産時に実施する FMEA を考慮した試験内容

工程能力試験結果を表③-1-2 に示した。鍛造を標準条件(鍛造温度 450±10℃、潤滑噴霧量 10±10cc、素材潤滑希釈液比重 3.5±0.2)で 25 個の鍛造を連続してピストンの内部組織、鍛造フロー及び各部の寸法検査をして工程能力指数を求めた。

この結果、工程能力は 1.5～4.7 を得られ、一般に認められている 1.33 以上あるので安心して量産工程にシフトできることが確認できた。

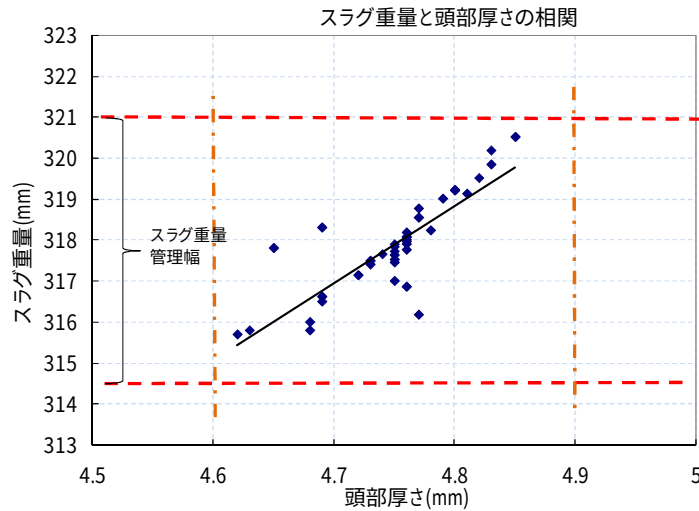
表③-1-2 工程能力試験結果

検査項目	1 外径	2 スカート内径	3 ボス幅	4 コンロット幅	5 スカート高さ	6 ピンボス高さ	7 頭部肉厚	8 センタボス高さ	9 窓厚さ (IN)	10 偏芯	11 硬度	12 重量
規格	98 +0.39 -0.39	92.5 +0.39 -0.39	57.4 +0.35 -0.35	19.5 +0.29 -0.29	38 +0.15 -0.15	36 +0.15 -0.15	4.75 +0.15 -0.15	5 +0.26 -0.26	3.3 +0.3 -0.3	0.1以下	58 +5 -5	317.5 +3g -3g
測定方法	デジタルノギス	デジタルノギス	デジタルノギス	デジタルノギス	ダイヤルゲージ	ダイヤルゲージ	ダイヤルゲージ	ダイヤルゲージ	マイクロメータ	マイクロメータ	ロックウェル硬度計	電子天秤
1	97.95	92.55	57.35	19.47	37.99	35.94	4.76	5.07	3.28	0.02	57.3	320.17
2	97.91	92.45	57.37	19.54	37.96	35.92	4.73	5.06	3.29	0.02	57.5	319
3	97.98	92.55	57.38	19.53	38.00	35.94	4.75	5.08	3.29	0.02	57.4	319.21
4	97.94	92.49	57.31	19.50	37.99	36.03	4.69	5.06	3.28	0.03	57.4	317.89
5	97.92	92.48	57.33	19.49	37.98	35.96	4.76	5.06	3.28	0.01	58.2	317.65
6	98.03	92.57	57.42	19.45	37.98	35.96	4.74	5.09	3.29	0.01	56.2	317.89
7	97.96	92.48	57.39	19.53	37.99	35.98	4.79	5.06	3.29	0.02	56.2	317.89
8	97.94	92.49	57.38	19.53	38.00	35.97	4.73	5.07	3.30	0.02	56.9	317.72
9	97.91	92.56	57.36	19.47	38.00	36.03	4.77	5.06	3.28	0.03	57.2	317.9
10	97.95	92.50	57.33	19.51	38.00	36.00	4.67	5.06	3.29	0.02	57.1	317.72
11	97.99	92.49	57.41	19.47	37.99	35.99	4.76	5.07	3.29	0.03	57.4	317.65
12	97.92	92.48	57.39	19.49	37.95	35.98	4.73	5.10	3.28	0.02	58.2	318.18
13	97.94	92.51	57.36	19.49	37.99	36.02	4.79	5.08	3.30	0.02	56.2	317.72
14	97.94	92.54	57.36	19.47	38.00	36.00	4.76	5.08	3.29	0.02	56.9	317.4
15	97.96	92.55	57.38	19.46	38.01	35.99	4.72	5.05	3.30	0.02	56.2	317.89
16	97.93	92.52	57.40	19.46	38.00	35.98	4.79	5.07	3.27	0.02	57.5	317.72
17	97.95	92.53	57.39	19.53	37.99	36.01	4.73	5.07	3.30	0.02	56.9	317.45
18	97.95	92.45	57.38	19.49	37.99	35.99	4.77	5.07	3.28	0.02	57.2	317.4
19	97.94	92.51	57.37	19.50	37.97	36.01	4.67	5.08	3.28	0.02	57.8	317.65
20	97.92	92.52	57.39	19.51	37.99	36.03	4.77	5.06	3.29	0.03	57.4	317.9
21	97.93	92.98	57.33	19.49	38.00	35.99	4.76	5.06	3.29	0.02	58.2	317.72
22	97.92	92.52	57.34	19.54	38.00	36.01	4.78	5.06	3.28	0.02	56.2	317.76
23	97.92	92.55	57.41	19.43	38.00	35.94	4.76	5.07	3.29	0.02	57.1	317.14
24	97.93	92.47	57.40	19.46	37.99	35.96	4.75	5.07	3.28	0.03	57.2	317.49
25	97.97	92.59	57.36	19.43	38.03	36.00	4.73	5.06	3.28	0.01	57.4	317.65
最大値	98.03	92.59	57.42	19.54	38.03	36.03	4.79	5.10	3.30	0.03	58.2	320.17
最小値	97.91	92.45	57.31	19.43	37.95	35.92	4.67	5.05	3.27	0.01	56.2	317.14
差	0.12	0.14	0.11	0.11	0.08	0.11	0.12	0.05	0.03	0.02	2.0	3.03
平均値	97.944	92.516	57.369	19.490	37.992	35.985	4.746	5.068	3.287	0.021	57.168	317.910
標準偏差	0.027	0.038	0.028	0.033	0.016	0.031	0.033	0.012	0.008	0.006	0.613	0.647
工程能力	4.747	3.400	4.189	2.966	3.179	1.636	1.503	7.270	12.400	4.619	2.719	1.546
CPK	4.065	3.257	3.815	2.859	3.001	1.474	1.466	5.375	11.866		2.267	1.335



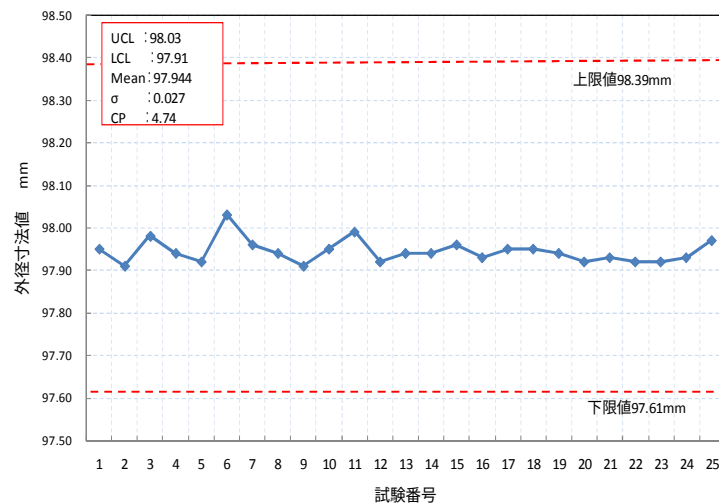
図③-1-12 工程能力試験ピストンの代表的な鍛造フローとミクロ組織

図③-1-12 は鍛流線とマイクロ組織を観察した結果であるが、鍛流線は金型に沿って整流が形成されているのが確認できる。また、マイクロ組織も微細均一であり、異常な晶出物、析出物は検出されなかった。各部寸法のばらつきと工程能力値を図③-1-13～図③-1-17 に示した。ここに示す様に工程能力は 1.5 以上であり、充分量産移行可能なレベルにあると判断できる。この結果を生かして金型寸法の管理基準を決定した。その結果を図③-1-18 に示した

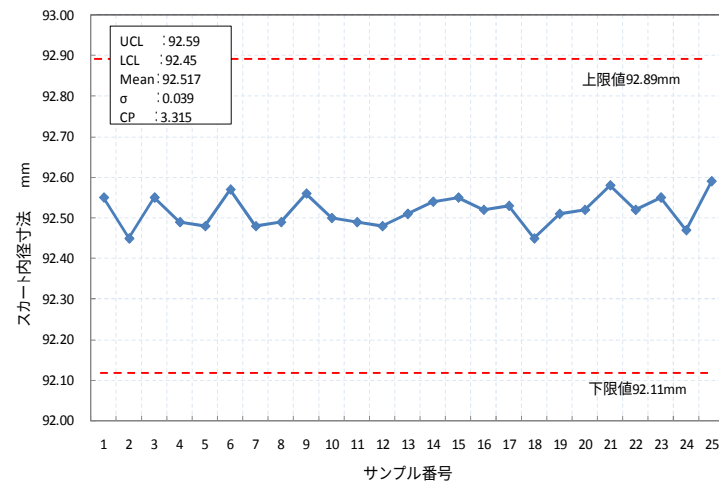


頭部厚を $4.75 \pm 0.15\text{mm}$ で管理するにはスラグ重量を $314.5 \sim 320.5\text{gr}$ で管理必要

図③-1-13 工程能力試験でのスラグ重量と頭部厚さの関係

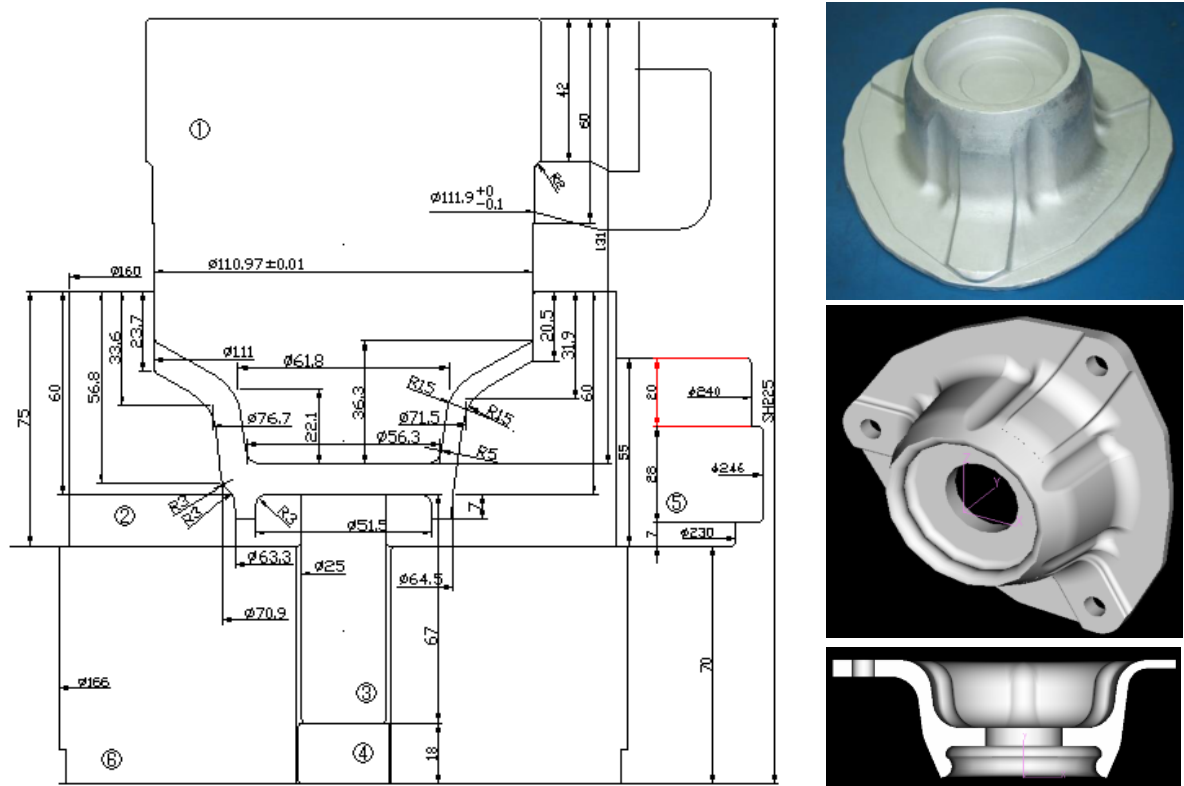


図③-1-14 工程能力試験での外径寸法ばらつき



図③-1-15 工程能力試験でのスカート内径ばらつき

この結果を踏まえ一般鍛造品の防振ゴムブラケットの鍛造を実施した、その結果を図③-1-19 に示した。本製品は難易度の高いものであるが、ここ3年間で開発した、流動制御恒温鍛造法の成果が遺憾なく発揮され鍛造可能となった。



図③-1-19 今迄の結果を生かし難易度の高いブラケット鍛造の試作

3. 3 考察とまとめ

開発した合金素材を可塑化処理して、ピストンの中でも複雑形状で天面厚さが薄く極限に近い軽量化された 708 ピストンで“イジワル試験”“鍛造工程能力試験”を実施した。

量産試験共に問題なく通過し、量産レベルの鍛造実力があることが実証された。鍛造品は細部まで鮮明にアルミニウムが充満された精密ピストンを鍛造することが出来た。開発材は高温特性に優れているが鍛造成形性が悪い合金である。精密鍛造できたのは次ぎの理由による。

1) 可塑化処理の実施、2) 最適なハイブリッド潤滑剤の開発、3) 精密鍛造金型の製作、4) 鍛造方案が優れ、流動制御鍛造を行った、5) 恒温鍛造した。これらが複合的に作用しているものと考えられる。このことは本年度に本技術が総合的に進歩している証明とも言える。

③-2 高機能新合金の鍛造試作（一般鍛造品）

1. 目的

本研究のテーマはピストンの鍛造試作と平行して、他の鍛造品（18年度はジャイロ部品を試作している）の試作を実施し、最終的に新合金鍛造素材が鍛造品に対して適性を持つか、また製品が求める特性に対して鍛造成形上どのような技術的問題があるかを把握して、新合金、素材製造法、鍛造技術の多面からその解決を計るための研究である。

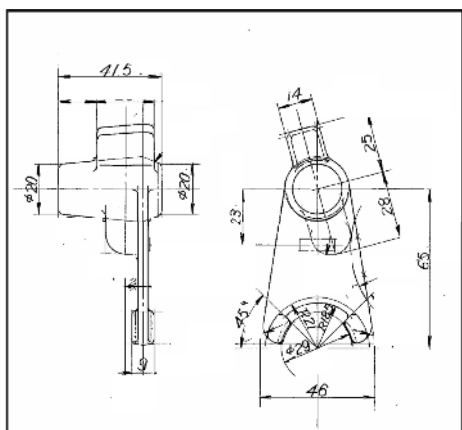
2. 20年度研究内容

18年度に小径据込み形状、19年度にフォーク形状の1工程鍛造試作を実施した。20年度は大変形横打ち鍛造品を完成させることを目的に鍛造試作研究を行った。その内容を次に記述する。

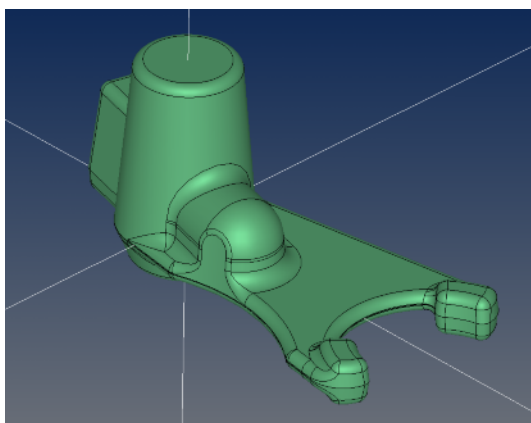
（1）試作研究の方法

新合金鍛造素材は、鍛造ピストンへの適用をベースに開発が行われているが、本研究は開発合金（水平連鑄材、垂直連鑄材）を用いて、形状、工程、成形スピードがピストンとは異なる諸条件で試作をし、新合金の鍛造特性、要求される鍛造技術について考察をする。

試作対象製品として変速フォークを選定した。図③-2-1に寸法図、図③-2-2に外形図を示す。



図③-2-1 変速フォーク



図③-2-2 変速フォーク外形図

鍛造試作計画を表③-2-1、鍛造試作条件を表③-2-2に示す。

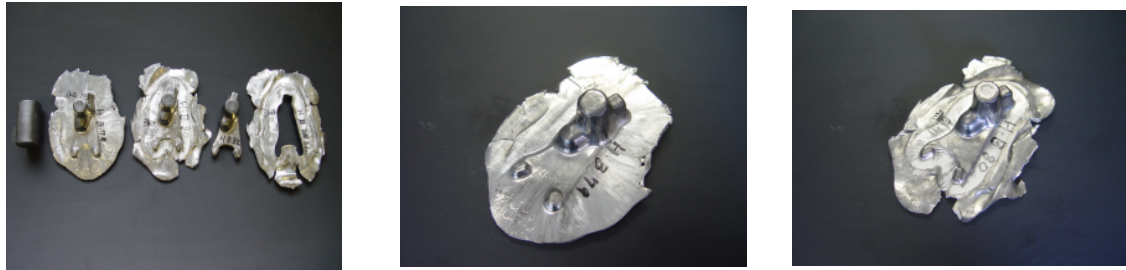
表③-2-1 鍛造試作計画

製品名称	成形形状	成形機	工程数	成形スピード
ピストン	据え込み（縦）成形	ナックルプレス	1工程成形	150mm/sec
変速フォーク	横打ち成形	ハンマ	複数工程成形	7000mm/sec

表③-2-2 鍛造試作条件

素材寸法	垂直連鑄材 $\Phi 36 \times 60$ 水平連鑄材 $60 \times 56 \times 18$ t
鍛造温度	$450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$
加熱条件	470°C 炉 $\times 1$ H r 保持
型加熱温度	320°C （上下）
材料コーティング	実施
金型潤滑剤	非黒鉛系油性、非黒鉛系水性、水溶性黒鉛

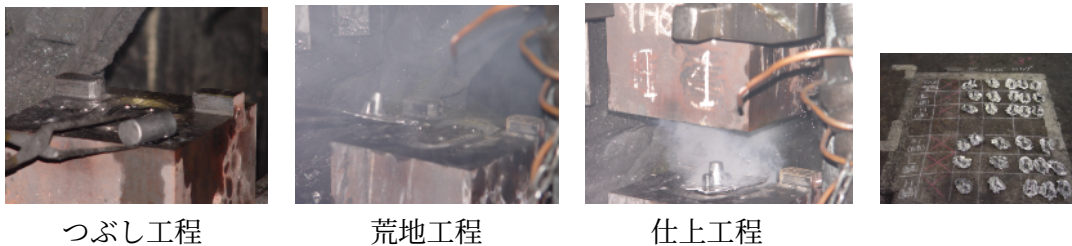
鍛造工程については、19年度の研究において垂直連鑄材、水平連鑄材とも横打ち成形、1パンチでの成形テストを行い、主として材料の鍛造性の評価を重点とした試作を行ったが、本年度は製品の評価を重点とする工程設計を行った。次の成形工程を計画し、材料（棒、板）⇒つぶし（棒20%、板10%）⇒荒⇒仕上げ⇒トリミング、実際の試作工程を試作工程図③-2-3に示す。



図③-2-3 鍛造試作工程

（２）鍛造試作結果

鍛造試作の工程写真を図③-2-4に示す。



つぶし工程

荒地工程

仕上工程

図③-2-4 鍛造試作工程写真

（２）- 1 外観検査結果

外観観察結果を表③-2-3に示す。

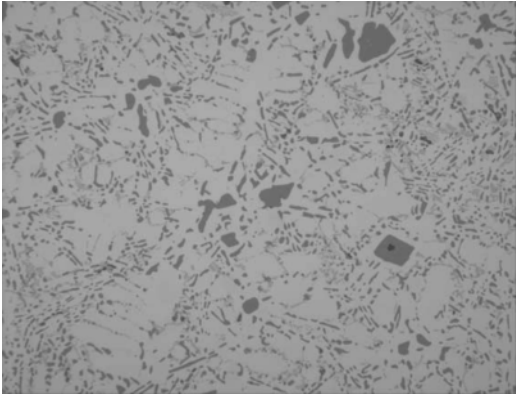
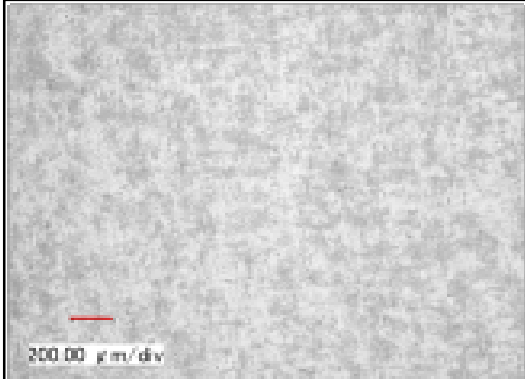
表③-2-3 試作品外観観察結果

材料分類	潤滑剤（型塗布）		
	非黒鉛系油性	非黒鉛系水性	水溶性黒
垂直連鑄	外観：○ 流動性：△	外観：○ 流動性：○	外観：○ 流動性：◎
水平連鑄： TGM408	爪部(肉の流れが速い 部分)の肌が悪い	同左	同左
水平連鑄： Niレス	荒地(ボス部) の欠肉が多い	同左	同左

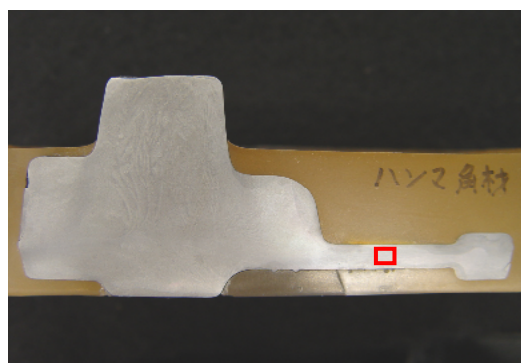
前年試作時に比べ垂直連鑄、水平連鑄材とも製造技術の熟練によるものか、つぶし段階での割れが無く、鍛造性が飛躍的に向上しており、本ワークの成形には問題が無かった。今回の試作条件では水溶性黒とのマッチングが比較的良かった。

(2) - 2 鍛造組織組織観察

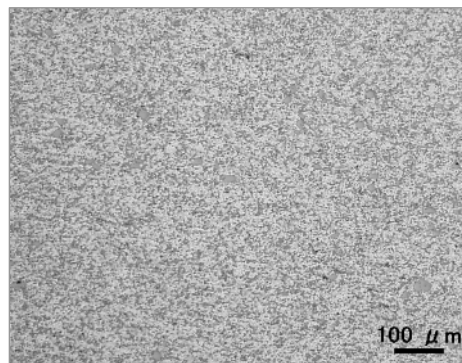
鍛造素材（铸造材）と鍛造後のミクロ組織を観察した。図③-2-5 は製造別素材のミクロ組織を示す。図③-2-6 は鍛造品の組織を示している。

	
垂直連铸材 HOMO 処理後中心部 TGM408	水平連続铸造材（板材）組織 TGM408材

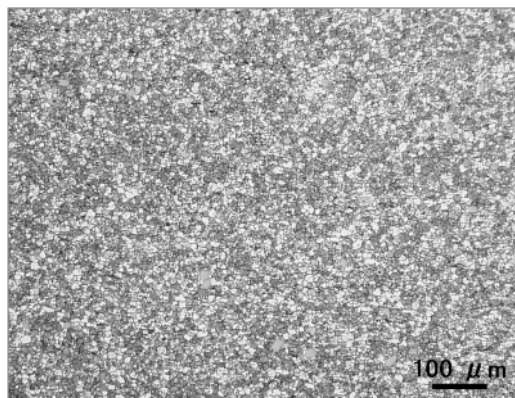
図③-2-5 鍛造用铸造素材のミクロ組織



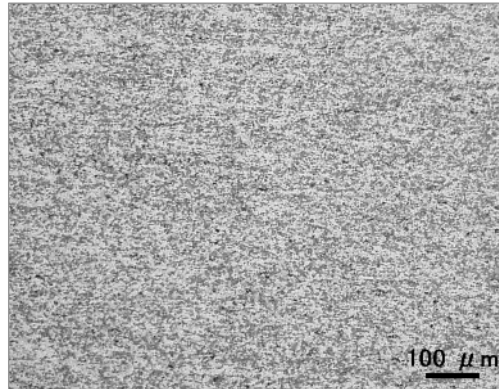
鍛造後マクロ組織



連铸材TGM408材



水平連铸材（Niなし）



水平連铸材（Niあり）

図③-2-6 鍛造品組織観察

いずれも良好なミクロ組織とである。水平連铸材のNiの有無比較ではNi添加のほうが微細であるが、Niレスでは垂直連铸材のほうがより微細である。

(2) - 3 機械的性質

表③-2-4 鍛造品の材料試験結果

製法・材質	引張強さ	耐力	伸び	絞り
垂直連鑄材	263	132	11.3	13.6
水平連鑄材 (Ni あり)	258	143	5.9	5.7
水平連鑄材 (Ni なし)	319	193	5.6	5.9

鍛造製品から採取した試験片からの材料試験結果を表③-2-4 に示す。引張り強度、耐力ともNi無しが最も高い値を示した。Ni有での比較では引張り、耐力には大差が無いが、伸び、絞りでは垂直連鑄材による鍛造材のほうが値が高い。鍛造後熱処理を施すことによりこの値は更に競争力のあるものになると考えられる。

3. 考察・まとめ

開発された垂直連続鑄造材（丸材）、水平連続鑄造材（板材）の2種類を使用して、つぶし、荒地、仕上げの3工程にて変速フォークの型打ち鍛造をハンマにて実施した。その結果から次のように考察する。

- ①垂直連鑄、水平連鑄材とも3工程鍛造により割れ、キズも無く、ハンマによる高速大変形も可能なものであることが確認できた。
- ②今回の試作条件では表面コーティング＋水溶性黒とのマッチングが比較的良好である。
- ③鍛造後最薄部のミクロ組織は、いずれも良好であった。
- ④強度はNiレス材料がより良い結果となった。
- ⑤摺動部材をはじめ大型、大変形状部材としての用途も期待できる。

4. 製品に関する考察

本研究は主にピストンをターゲットとして開発された新材料の用途例として変速フォークを試作用ワークとした。その理由は新材料の①耐摩耗性②成形性（ハンマによる高速大変形が可能）の2点に着目したものである。

- ①変速フォークのみならずカークーラー用コンプレッサ部品など摺動部材としての用途開発が有望である。現行変速フォークは炭素鋼鍛造あるいは摺動部材用アルミニウム合金鑄物によるものが大半であるが、本開発により得られた諸特性（軽量、高強度、高耐摩耗、小ロット）をユーザーへの提案に織り交ぜていくことにより置換、拡販が可能と思われる。
- ②プレス鍛造では不可能あるいはコスト高となる大型、長尺、複雑（断面変化が大きい）製品への展開も可能であることが確かめられた。

今後は鍛造品サンプル、得られたデータを利用し、更なる需要の可能性を探索し、製品化に繋がる活動を進めていく。

④ 精密鍛造用金型製造法の開発

④－１ 流動制御鍛造の開発研究

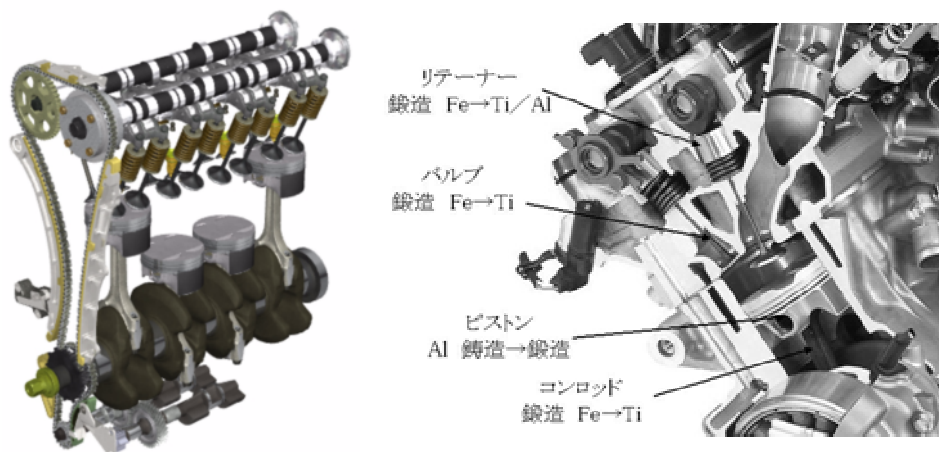
１．目的

２０年度は複雑形状・高精度な鍛造品を実現するための高精度金型加工技術と流動制御鍛造を具現化するための高精度鍛造金型技術の開発研究を実施し、工法を完成する。

ピストンをはじめとする自動車部品の精密鍛造を実現するために、精密化鍛造の阻害要因と精密化を阻む要因を解決する方策を開発する。そのため、金型の細部まで素材が充満する流動制御鍛造についての金型技術調査と開発・研究を実施する。

２．平成２０年度研究内容

現在、省燃費・環境対応から図④-1-1 に示す部品の軽量化が求められている。特にエンジン部品であるピストンは高温特性の良好な材料開発と同時にさらなる軽量化が求められている。設計要求で各部が薄肉になると鍛造時にアルミニウムが充満せず鍛造が困難な問題と金型変形、寿命問題が出てきている。この解決策として、流動制御鍛造によって製品各部に素材が充満する技術開発と金型変形の少ない精密鍛造金型の設計技術開発が求められている。この要求に応えるため鍛造品の精密化を阻害する因子を図④-1-2 のように考えた。素材、鍛造機械、金型、潤滑などが影響するがここでは金型に的を絞って検討してきた。では鍛造品の精密化を阻む原因としてどのようなものがあるのか？これを検討したのが、図④-1-3 である。金型では金型仕上げ精度と鍛造時の変形及び金型表面の平滑度が影響を及ぼすことが判る。本年度は後者の金型表面の平滑度と寸法精度を主に検討した。

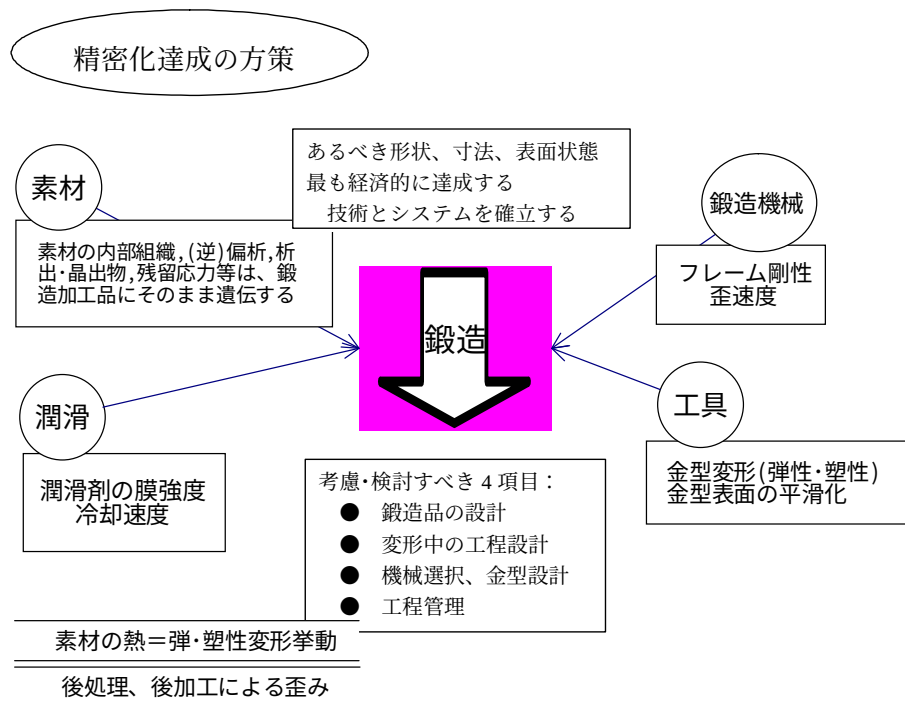


図④-1-1 動弁系及び往復運動部の軽量化例

鍛造品精密化の疎外因子と考慮項目

項目	原因	対処
素材：	素材性質の遺伝子	鍛造製品に適した素材材料メーカ？
鍛造機械：	剛性不足(鍛造荷重)	鍛造品設計 工程設計(変形) 変形抵抗を小さく、 型拘束小さく、摩擦丘小さく 摩擦係小さく、金型変形小さく 工具設計、機械選定
金型工具：	撓み、変形、熱応力	
潤滑：	膜強度、付着力	
鍛造品：	残留応力(ばらつき)	
熱処理：	残留応力	
コスト：	歩留り、固定費	

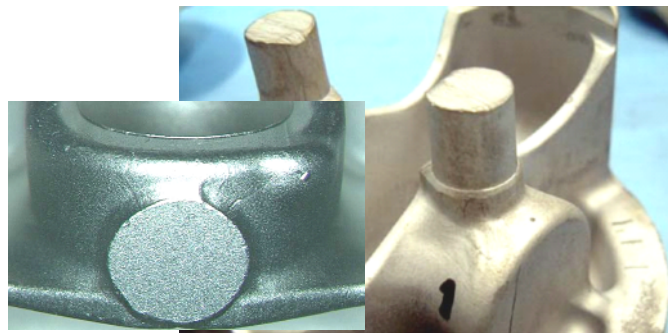
図④-1-2 鍛造品の精密化を阻害する因子



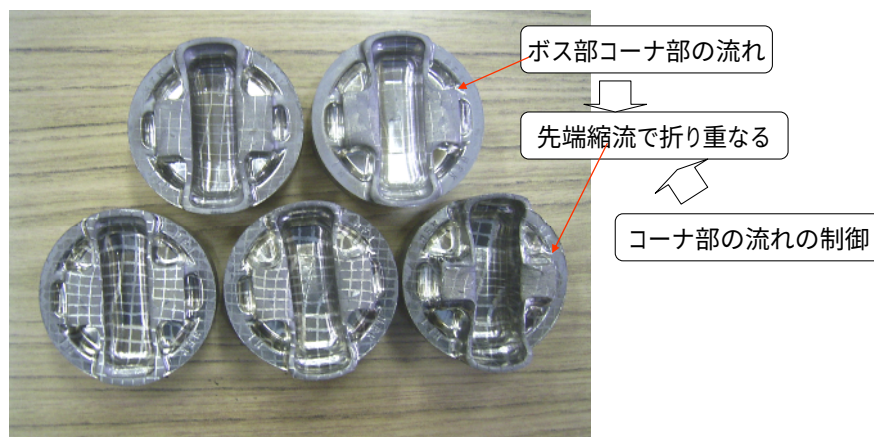
図④-1-3 鍛造の精密化に影響する要因の詳細

流動制御鍛造法

鍛造の省工程化のために一工程鍛造したり、薄肉鍛造を実施すると種々の欠陥が発生するがその代表的なものが図④-1-4に示した鍛造時の縮流による”被り“である。この現象は図④-1-5に示す様に型内で種々の方向の流れが先細り型の最終部に流れ込み、強い流れが弱い流れを飲み込むことによって発生するものと考えられる。



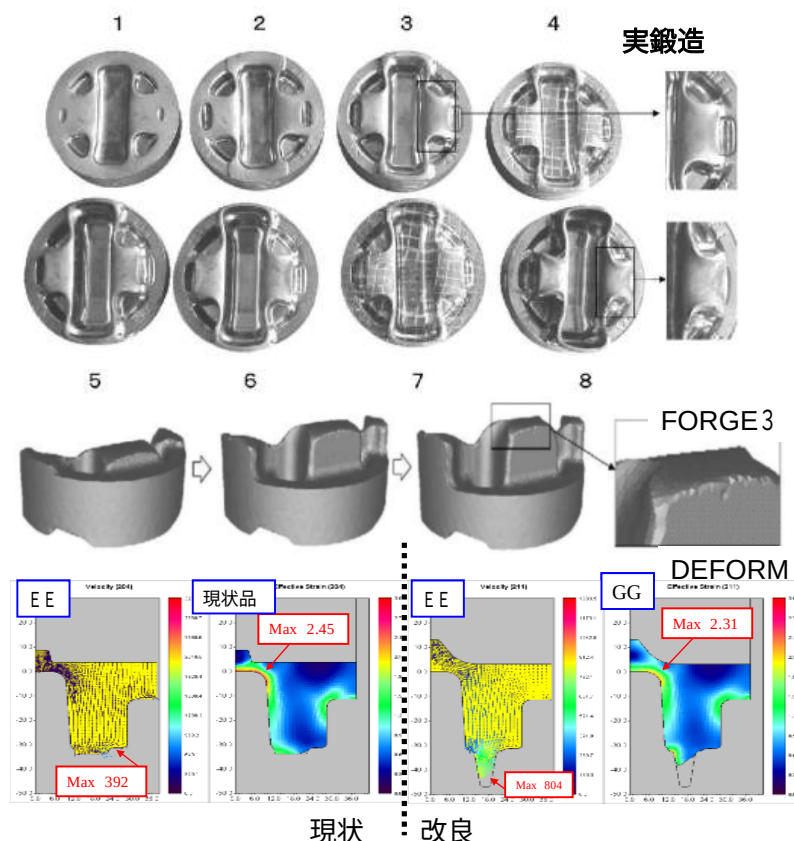
図④-1-4 省工程鍛造を実施すると発生する”被り“欠陥



図④-1-5 鉛の段打ち試験による被り欠陥調査

この問題を解決するためには型内の流れの強弱をコントロールすることが必要になる。

鍛造工程でのアルミの流れをコントロールする事が出来れば、精度が良く高品質な鍛造素材が得られ、加工代削減によるコストの低減や、機能的に最適な形状を設定する事での軽量化の達成が可能となる。流れをコントロールする為には、鍛造過程での材料流動を正確に把握する必要がある。僅かな時間で成形が完了する1ヒート1鍛造の現物の流れを確認する事は困難であるが、鍛造工程を細かく分割する事でその解析が可能となる。



図④-1-6 ピストンの一工程鍛造で発生する“被り”欠陥の検証

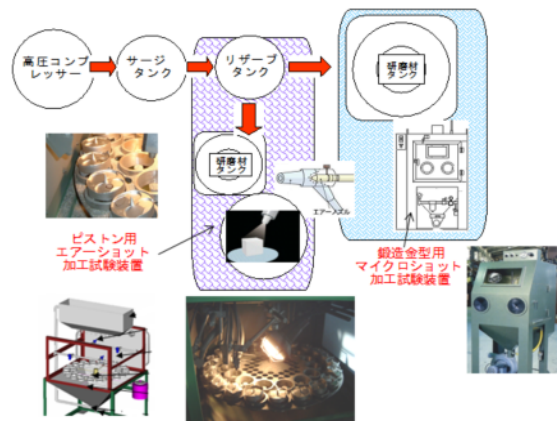
昨今はシミュレーション技術が向上し、鍛造における流動解析にも多く利用されている。そこで、昨年度に引き続き CAE での流動解析を実施した。本年度はこれに加えて Pb での鍛造段打ちを実施してシミュレーション解析結果と実際の鍛造との相関を求めた。図④-1-6 は被り欠陥の発生を解析したシミュレーション解析結果である。明らかに型内の材料流れのアンバランスが被り発生の原因であることが判る。原因は省工程化によるコストダウンを図るため、一工程で実施しているがそのため円形部で流れが縮流となり、4 コーナ流れの乱流が起こり被りとなることが判った。図中に“被り”の発生を FORGE 3 と DEFORM で解析した結果を示した。この部分の金型の摩擦係数を制御すれば“被り”欠陥は防止できることが確認できた。

鍛造欠陥の発生には素材の流動を制御することが重要なことが確認できた。本開発で流動制御鍛造法の確立ができれば、複雑形状品の一工程鍛造が可能になり画期的である。そこで、流動制御鍛造の開発を試みた。鍛造性に影響を及ぼす可能性のある因子の解析を行いデータ蓄積する事で、一工程鍛造でアルミの動きをコントロールする事が可能となる。このためには金型の部位をシミュレーションで判明する摩擦係数の変化を付けてやれば良いことになる。これは、今迄熟練作業者が金型を研磨する方法で実施してきた。しかし、熟練技術者の育成と金型研磨に長時間かかり、自動化できる方法が確立できれば大いに役立つことになる。そこで、我々は昨年度に引き続いてマイクロショット加工法を検討して、完成を目指した。

マイクロショット加工は中心粒径 $\phi 20\sim 40\ \mu\text{m}$ の球形セラミックビーズを、圧縮エアを介し秒速100m以上の高速で被加工物表面に衝突させて金型の寸法を変えることなく、金型表面を研磨する方法である。従って研磨材の材質、粒径、噴射圧力、噴射速度などが特性に影響する。

昨年度の試験で、噴射は直圧式でノズル径は $\phi 3\sim 6\text{mm}$ が適していることが判った。このようなことからマイクロショット加工試験機の仕様を決め、試験加工機を完成させて試験した。また、図④-1-7に示すピストン用エアショット加工試験装置は同じ圧力源を使用して、鍛造ピストンの表面改質を図るものである。製作したマイクロショット加工試験装置で金型の研磨試験を実施した。この時、使用した研磨剤は $\text{ZrO}_2 330\ \mu\text{m}$ であり、研磨時間と共に表面粗さは向上する。当初 $12\ \mu\text{m}$ のものが、時間と共に面粗度は良好になり $4\ \mu\text{m}$ 程度になると時間を増しても面粗度は向上しない。この限界は20分程度である。今迄は熟練技術者が150分程度かけて研磨していたものが20分程度で同じレベルに研磨できることが判明した。

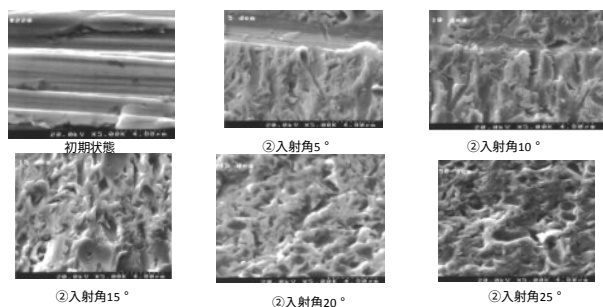
試験機	項目	主なる仕様
マイクロショット加工試験機	噴射材材質	$\text{ZrO}_2\cdot\text{Y}$ (イットリウム添加ジルコニア)を前提に設計します
	粒径	$20\sim 100\ \mu\text{m}$ と致します
	噴射圧力	$50\sim 150\text{N}/\text{cm}^2$
	噴射速度	$30\sim 100\text{m}/\text{s}$ (但しノズル径、噴射圧力により調整が必要です)
	ノズル口径	$10\sim 20\text{mm}$
	噴射材タンク	0.2m^3
	その他	事前にテストが必要です
ピストン材改質ショット加工試験機	噴射材材質	$\text{SUSorSiCorAl}_2\text{O}_3$ いずれにも対応可能です
	粒径	$\phi 0.2\sim 3\text{mm}$
	噴射圧力	$20\sim 70\text{N}/\text{cm}^2$
	噴射速度	$5\sim 20\text{m}/\text{s}$
	ノズル口径	$10\sim 30\text{mm}$
	噴射材タンク	0.6m^3
	その他	ワークは50個程度処理可能で、回転式とします。また、ノズルは最低2カ所に設置致します。



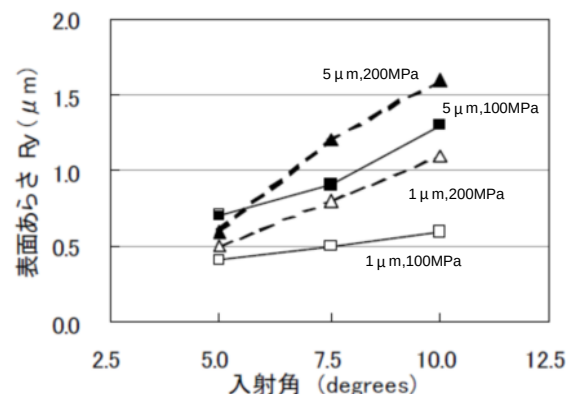
図④-1-7 金型マイクロショット加工機とピストンショット加工装置

図④-1-8 はマイクロショット加工のメディアを ZrO_2 として、粒径と噴射圧を2条件で、ノズルの入射角度を変化させ、20分間噴射したときの金型(SKD11 材)表面の面粗度結果である。この結果、入射角が小さい方が面粗度は良く、入射角 5° が最も良く $0.5\ \mu\text{m}$ の面粗度を得た。また、メディアは $5\ \mu\text{m}$ より $1\ \mu\text{m}$ の方が僅かに面粗度は良い結果を得た。

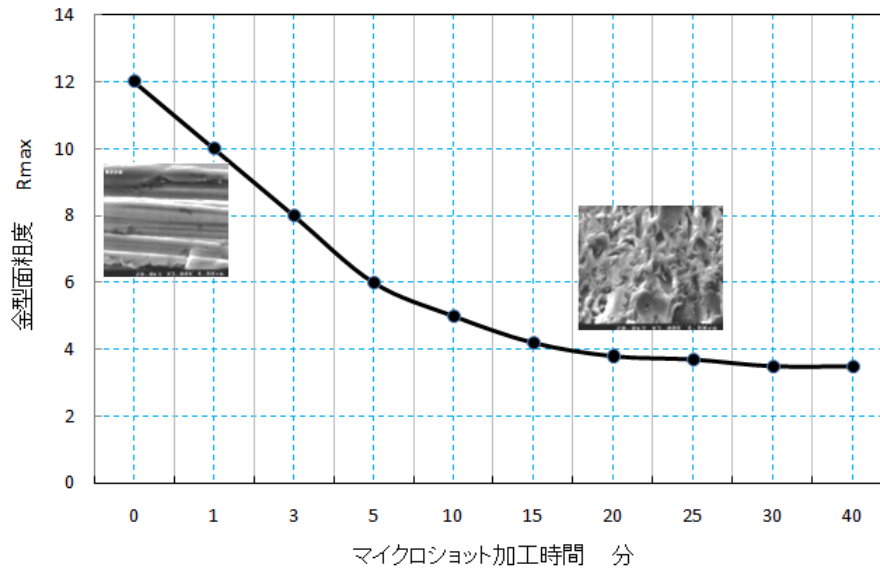
この結果を生かして加工時間と面粗度の関係を求めた。これを図④-1-9に示すが、金型機械加工上がりで $12\ \mu\text{m}$ の面粗度のものが、時間経過に伴い美麗になり、約10分で大きく向上しなくなることが判った。



入射角と面粗度状態



図④-1-8 面粗度と入射角の関係

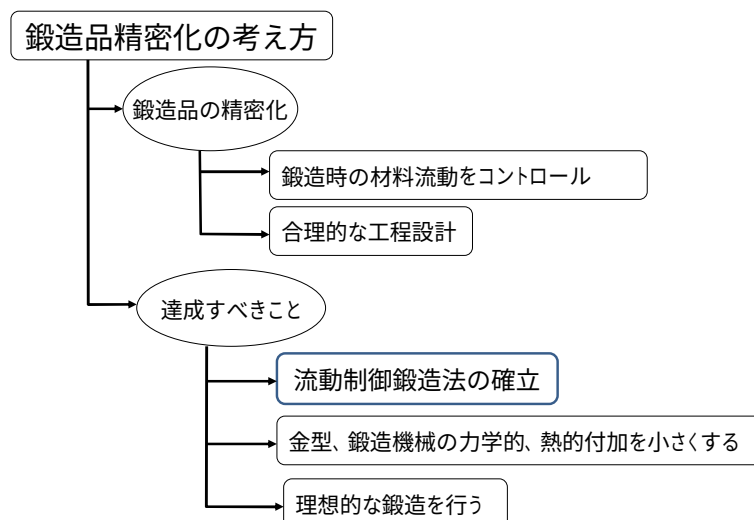


図④-1-9 マイクロショット加工での加工時間と金型面粗度の関係

3. 結果のまとめと考察

ピストンの精密鍛造の達成には流動制御鍛造法を完成することが重要との認識で種々検討を重ねてきた。また、精密鍛造加工で金型の果たす役割は大きく、特に最終の金型研磨・ラップが重要である。現状、金型研磨は高度な熟練が必要なため、ベテラン技能者がこれに当たっている。後継者問題もありこの作業が自動化できれば大きな意義がある。

当初、ショット加工で解決策を模索してきたが効果が得られなかった。そこで、昨年度後半からマイクロショット加工の検討を実施した。特に、軽量で薄肉化設計された鍛造ピストンでは種々の欠陥が発生する可能性があり、発生する欠陥を予め推測して、対策を立て流動制御鍛造を実施することを考えた。図④-1-10は鍛造品の精密化の達成に必要な考え方を記述したものである。鍛造時の変形挙動をコントロールするため流動制御技術が重要なことが判る。本開発はノウハウに関する部分が多く、鍛造製品毎に金型研磨方法を工夫する必要がある。また、報告書にも記述し難い部分がかなりあることを明記したい。流動制御鍛造法を完成することで鍛造の新しい固有技術が確立できたと考える。



図④-1-10 鍛造品精密化の方策

④－２ 精密鍛造金型加工法の開発研究

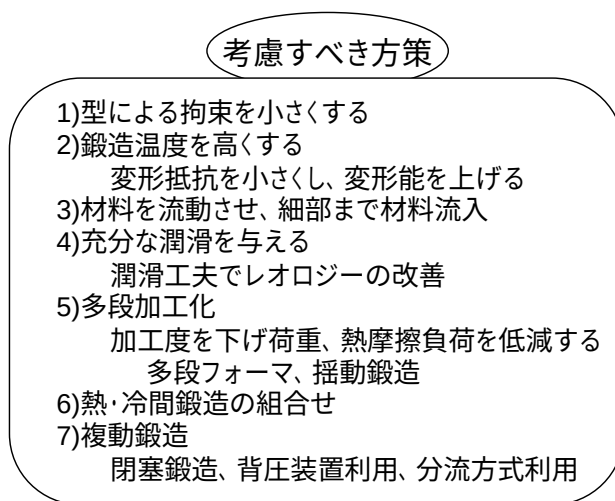
１．目的

本開発の主眼であるピストンをはじめとする自動車部品の精密鍛造を実現するために、精密化鍛造の阻害要因と精密化を阻む要因を除去して精密鍛造を達成するための金型加工法を開発する。そのため、金型の細部まで素材が充満する流動制御鍛造を実現する重要因子である精密鍛造金型加工法の開発を行い実用化する。

２．２０年度研究内容

精密鍛造を達成するには精密鍛造金型の製造が必須になる。精密鍛造達成化の方策として１）素材、２）鍛造機械、３）潤滑、４）金型工具の４項目を挙げて、それぞれの単独因子と交互作用を考えなければならない。こうなると、検討すべき因子は莫大な数になり、また個々の製品で考えなければならず、学問的な法則化はほとんど困難になる。この様な理由で体系的な取組みがなされていない現状がある。本プロジェクトでは、これを単純化して考えて精密鍛造の要は流動制御鍛造法の開発にあること。さらに、流動制御鍛造法を達成するには金型表面を平滑化し、部分的には金型表面を粗くして鍛造時の材料流動を制御することが肝要だと考えた。

この様な理由から、金型製作工程で金型を精密に加工することと金型表面を超精密に平滑化して研磨レスする研究開発に取り組んだ。具体的な解決策としては放電加工を種々改良して、駆動リニアモータの採用と放電ラップ法の開発を行った。図④-2-1 は高精密鍛造品を達成する差異に考慮すべき事項を示した。



図④-2-1 高精密鍛造時に考慮すべき事項

本プロジェクトでは、最先端の加工機械による金型加工に加え鍛造技術である流動制御技術とこれを達成するための金型表面制御技術（極限平滑化、局部粗面制御）の技術開発に取り組んできた。

これによって、鍛造の頂点化を目指せるばかりでなく、金型加工技術でも他をリードできる物と考える。本テーマの骨子である部品を本質から変えるのは材料にあるとの考えから、合金開発を行い、素材を小型連続鑄造機で製造して鍛造と一貫化する構想の中で流動制御鍛造、金型の平滑化技術の位置づけを示した。

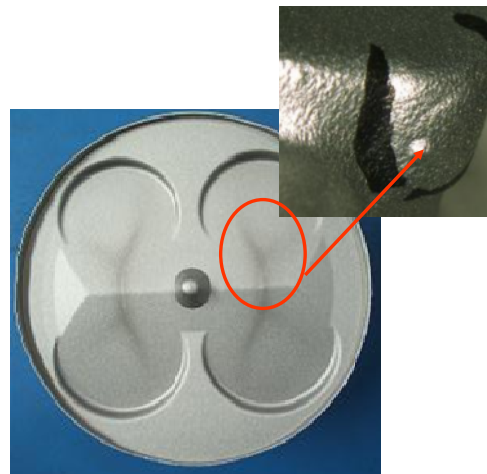
流動制御鍛造及び金型平滑化技術を開発化することで分流鍛造法、背圧成形法、捨て軸・逃がし穴鍛造工法へと発展することができ、正に本テーマの要と位置づけられる。設計自動化への取組み、CAM化はもとより、加工も高速マシニングセンターでの加工、放電加工機(EDM)へのリニアモータ採用による高精度化、更には放電加工機を利用したの金型表面の平滑化がトレンドとなっている。

本年度は、放電加工機を利用したの金型表面平滑化の研究をリニアモータ搭載の放電加工機と砥粒添

加により加工時間の短縮と表面平滑の両方を狙うものである。

金型の加工技術としての多くは設備特有の性能であり、加工技術とは言い難い。NC化が進み、諸外国でも我が国とほぼ同等の金型が加工できるようになっている。現状では海外でも、最新鋭の金型加工機械を購入すればすぐに最先端の金型加工技術が手に入るようになっており、我が国の強みが薄れつつある。これを打破して、本来の強みを増すには、加工技術+ α が必要になってきている。今回の流動制御鍛造を達成するための精密金型加工法はこの+ α に相当する。

前項で、ピストンボス部の欠陥対策、及び研磨の自動化のため「マイクロショット加工」を完成させた。ピストン鍛造でトップ面の引け(ひけ込み)欠陥が問題となる。これは図④-2-2に示す様にピストントップ部がボスの肉流れに従って引き込まれる現象である。



図④-2-2 ピストン頭部に発生する引け欠陥

これも、ひけが発生する直下に材料が急激に流れ込むことによって発生すると考えられる。このため金型(上型、パンチ側)面の面粗度を調整することが必要になる。一方、下型は極度に面粗度を上げる必要がある。すなわち、ピストン金型のパンチは面粗度を適当な粗さに加工し、下型は面粗度を極力上げる必要がある。この問題を解決する方法として、放電加工の電解液にセラミック粒子を分散させて、セラミックの材質、粒度を調整して加工すれば解決できると考え、取り組んできた。

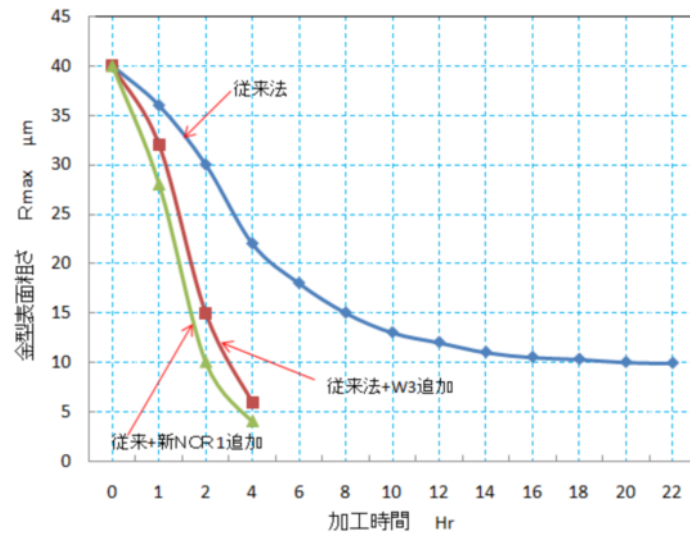
昨年度までに大きな目途付けが完了しており、本年度は更なる改良を図った。

放電加工法は工具と工作物が接触する切削や研削などの機械加工に比べて、熱的加工で工作物を溶かして除去する加工法である。従って、被削性の悪い焼入れ鋼や超合金など硬く強じんな材料でも簡単に加工することができる。また、微小な箇所にも容易に熱エネルギーを集中させることにより超微細な部品加工も精度よく行うことができる。さらに、切削加工のように工具が工作物に接触しながら加工が遂行されるのではなく、電極と工作物は常に適切な放電間隙を保ちながら加工が進行する非接触加工であるため、工具や工作物に大きな力がかかることはない。しかし、放電を利用することから基本的には電気の流れる材料が加工の対象となる。さらに、最大の欠点は加工速度が遅く、大きな除去加工ができないことである。

除去加工の1つに分類される放電加工であるが、除去加工以外の応用分野に活路が開かれている。そこで、放電ラップ加工法について検討した。この方法は電解質中にセラミック粉末を添加して、電解液が流動すると同時に容易に分散放電する方法で集中放電が生じ難くなり、加工面が均一で安定した面が得られる。さらに、クラックの発生がない、加工変質層を微小にすることができる等の特徴がある。また加工間隙距離が 0.1 mm程度と大きく設定できるために加工屑の排除が容易になり加工速度も速く平滑表面肌が得られる。

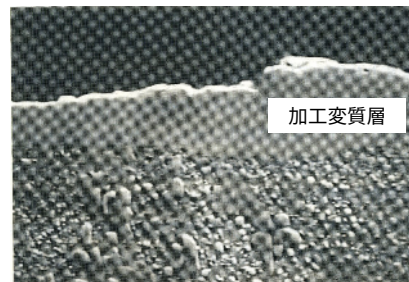
今回開発した方法は本来の放電現象に加えてセラミックスの研磨加工も負荷され、仕上がり面粗度も

抜群の平滑性を持つ。図④-2-3 は開発した放電ラップ加工法と従来法の加工時間と表面粗度を測定したものであり、新開発の放電加工+NCR 1 液は短時間で面粗度が向上している。



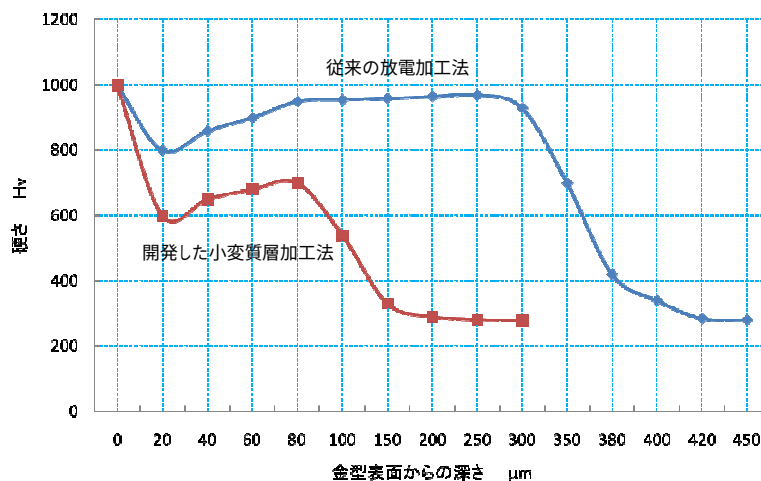
図④-2-3 開発放電ラップ法と従来法の金型仕上がり面粗度の試験結果

放電加工を実施すると加工変質層が発生する。これは、放電加工時に加工油が熱分解されて生成される炭素との反応によって加工変質層を形成するものである。図④-2-4 に加工変質層を示すがこの加工変質層は金型材質が脆く変化したものであり、金型寿命を短縮する。この加工変質層（熱変質層）の発生は現状では不可避であるが、これを小さくすることは可能であり、加工条件によって大きく変化する。



図④-2-4 放電加工で発生した加工変質層

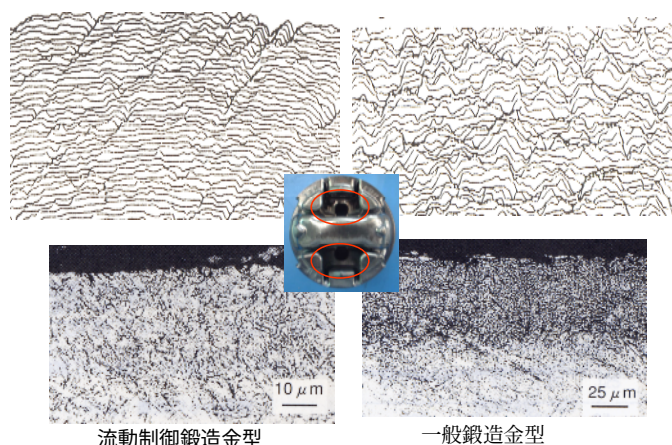
図④-2-5 は放電方法を変えて、従来法と開発工法の加工変質層を金型の深さ方向に測定したものである。ここに示すように、熱変質層が深さ方向で小さくなると同時に、変質の程度もわずかになり、硬度上昇の程度も小さくなっている。このような加工法を、放電荒加工に適用すれば、後述する放電ラップと組み合わせて精密な表面の金型加工ができることになる。



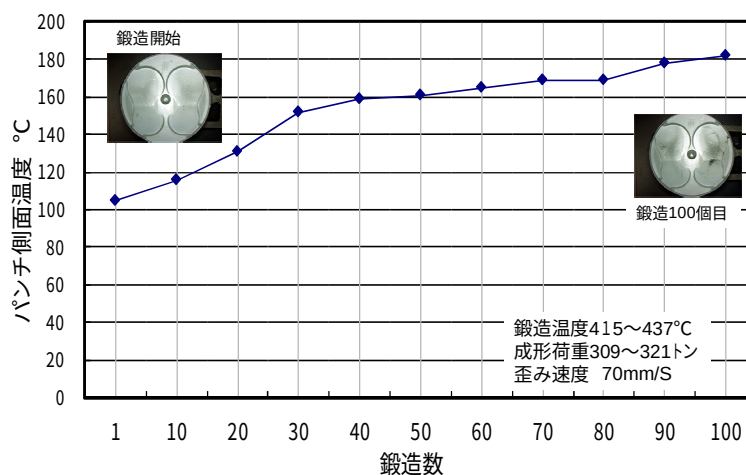
図④-2-5 開発放電加工法と従来法の加工変質層の比較

開発した放電加工法で型寿命の指数である金型との焼き付き状態を試験した。試験は従来の一般製造法による金型製造したものと本開発成果を応用した金型で表面の状況を観察した。図④-2-6 は金型加工後の表面上挙を観察したものである。本開発工法で加工した表面は美麗であり面粗度も一定しているが従来法では面粗度にばらつきが認められる。両方の金型で連続多数個鍛造を実施した。

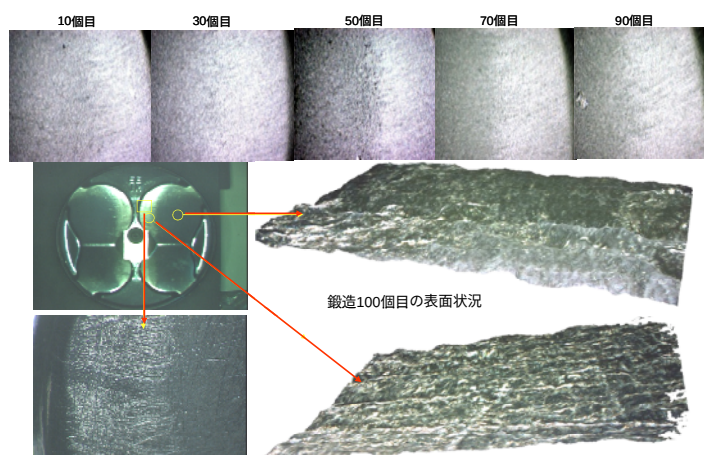
図④-2-7 はパンチ温度の上昇結果であるが温度は従来金型に比べ上昇カーブが緩やかである。図④-2-8 は鍛造ショット時のパンチ表面の状況を示すが、従来の工法では 70 個程度鍛造すると焼き付きが見られたが、本開発加工法で鍛造したものは 100 個鍛造しても、有害な焼き付き発生は認められなかった。



図④-2-6 本開発下降の金型と従来加工法金型の表面比較



図④-2-7 鍛造数とパンチ温度の上昇



図④-2-8 本開発金型の表面状況

3. 結果のまとめ

(1) 放電ラップ表面平滑加工法

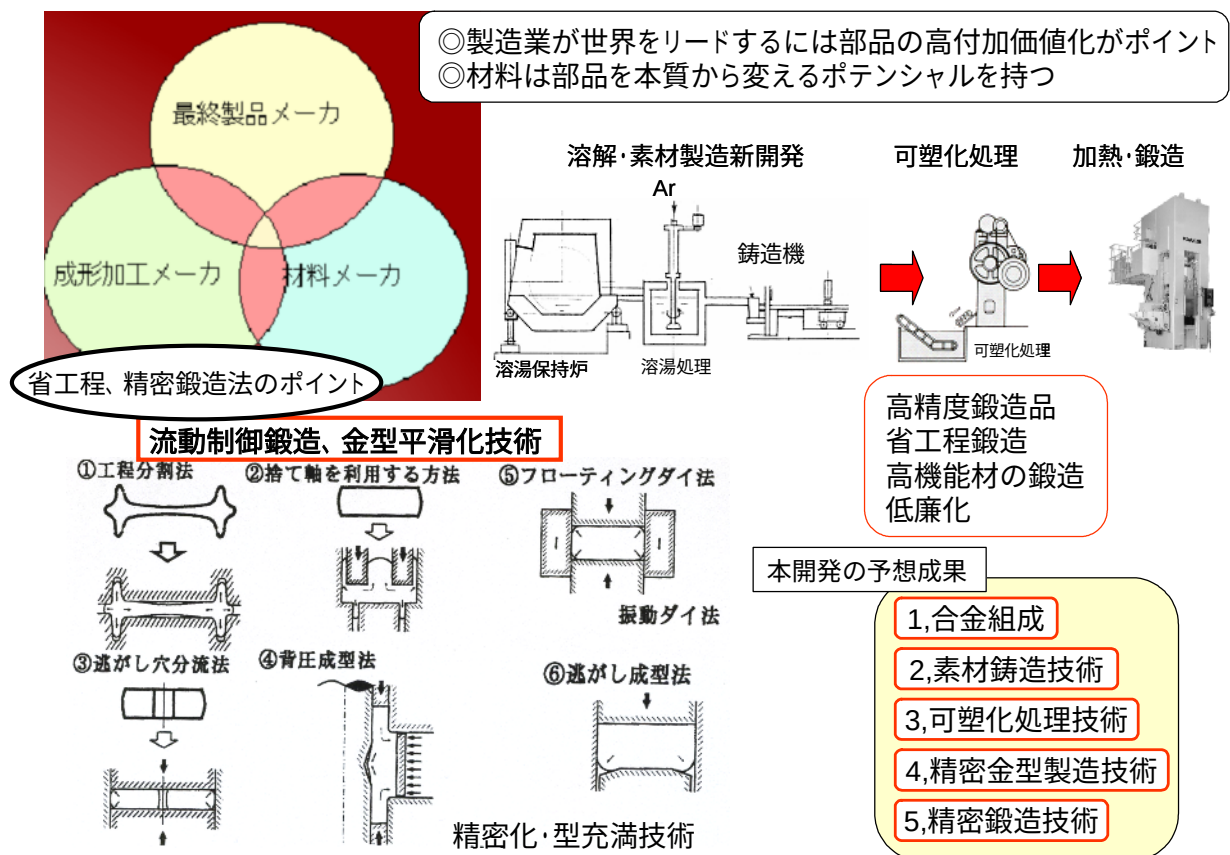
精密鍛造金型達成のため金型表面の鏡面仕上げ加工法に取り組んだ。昨年度開発したリニアモータ採用 EDM での放電加工とセラミックスの材質と粒度を制御した放電ラップ表面平滑化加工を組み合わせ加工する方法を確立した。

その結果、加工時間を大幅に短縮可能で任意の面粗度がセラミックス粒子の材質と粒度を選定することで得られることが確認できた。このため、従来熟練技能者が手作業で実施していた表面粗さが短時間で達成できた。これにより放電加工と同時に金型平滑研磨が可能になり、大幅な金型製作の時間短縮が可能になり、同時に職人技能の代替が可能になった。

(2) 本加工法の位置づけ

本開発を進めてきて、ユーザニーズを満たすためには新しい合金開発と製造法の開発が必要であるとの考えから、先ず開発に取り組んだ。次に、加工代が少なく、省工程鍛造で高精密鍛造を実現するには流動制御鍛造法と金型平滑技術の開発が必要との考え方から開発に取り組んだ。またこの両者は相互関係がある。これを、“マイクロショット加工法”と“放電ラップ表面平滑加工法”で解決することができた。ここで開発した技術を生かして量産化に応用展開したい。

図④-2-9 は本技術開発の要約と流動制御、金型平滑化技術の関係を示したものである。



図④-2-9 本技術開発の要約と流動制御、金型平滑化技術の関係

第3章 全体総括

本開発プロジェクトは最終年度となり、18、19年度の開発研究および技術調査研究の結果をベースに、その事業化を目指して、実用生産技術としての検証・評価を中心とした開発研究が実施された。

これらの開発研究と並行して、コア企業である宮本工業株式会社は開発の成果（特に鍛造ピストンの研究成果）をベースに需要家のとの密接な情報交換を行い、製品の要件、その需要見通し等の情報収集、さらに開発成果の情報提供の中で、効果的な摺り合わせを行ってきており、開発研究終了後の製品化・事業化を加速する価値あるデータ・情報を得ている。

コア企業を支援する協力企業についても、効果的な技術支援を行い、開発研究の目標達成に対して大きな貢献を果たしている。

富山合金株式会社については、鍛造ピストンの高機能アルミニウム合金の開発と新鑄造法の開発を分担し、TGM408（Ni 添加 Al-Si 合金）を開発、鑄造法として断熱急冷鑄型連続鑄造法を開発し、高機能部品用鍛造素材の量産見通しを得た。本プロジェクトにおいて、新材料の鍛造試作（宮本工業株式会社、協業組合菊水フォーミングが実施）により鍛造素材としての適性を検証したこと、今後宮本工業(株)の鍛造ピストンの製品化、事業化が実現する見込みにより、富山合金株式会社の鍛造素材としての製品生産拡大に寄与することになり、プロジェクトの中における効果的な相互作用が実現している。

株式会社NCロードは精密鍛造を実現する大きな必要条件の金型精密可能において、サーボモータ式放電加工機でのラッピング加工技術の実用化を確立し、本プロジェクトの複雑形状・高精密鍛造の実現に貢献している。協業組合菊水フォーミングは先の鍛造試作で、新鍛造素材の適性を評価したと共に、高機能アルミ鍛造品の製品拡大とその鍛造工法に関する大きな技術的ヒントを与える事が出来た。

本プロジェクトで得られた新たな技術の中には、従来にないユニークなものがあり、正当に評価・確認する必要がある。これらの技術はプロジェクトフォーメーション内で効果的に利用するとともに、国内業界への普及、海外への技術移転等の経済的メリットも考慮して、その技術の取扱いについて検討して行きたい。

本開発は、宮本工業株式会社を開発研究の中核とし、富山合金株式会社、株式会社NCロード、協業組合菊水フォーミングが協力者として参加した共同研究プロジェクトである。

各研究メンバーは役割を分担し、効果的の遂行を行い、当初の目標を達成することができた。

平成20年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「高機能アルミ材の材料創製から鍛造までの一貫製造システムの開発」
成果報告書

平成21年3月発行

編集・発行 鍛造技術開発協同組合
東京都小金井市桜町1丁目15番11-210
TEL:042-384-3540

禁無断転載