

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高機能アルミ材の鋳造－鍛造－貫製造システムの開発」

研究開発成果等報告書

平成 22 年 3 月

委託者 関 東 経 済 産 業 局

委託先 財団法人長野県テクノ財団

目 次

第 1 章	研究開発の概要	頁
1－1	研究開発の背景・研究目的及び目標	2
1－1－1	背景	2
1－1－2	研究目的	2
1－1－3	目標	2
1－2	研究体制	3
1－2－1	研究組織	3
1－2－2	管理体制	4
1－2－3	研究者氏名	5
1－2－4	指導及び協力者	7
1－2－5	研究実施場所	7
1－3	成果概要	8
1－3－1	鋳造－中空鍛造用新素材の開発	8
1－3－2	複雑形状の中空鍛造技術の開発	8
1－3－3	無欠陥鋳造技術の開発	9
1－3－4	鋳造－中空鍛造一貫製造システムの開発	9
1－4	当該プロジェクト連絡窓口	9
第 2 章	研究開発の内容と成果	
2－1	鋳造－中空鍛造用新素材の開発	10
2－1－1	鋳造－中空鍛造用新アルミ合金の開発	10
2－1－2	鋳造－中空鍛造用複合材料の開発	11
2－2	複雑形状の中空鍛造技術の開発	15
2－2－1	プリフォーム及び鍛造金型設計システムの開発	15
2－2－2	鋳造－中空鍛造用鍛造装置の開発	18
2－3	無欠陥鋳造技術の開発	20
2－3－1	溶湯品質向上技術の開発	20
2－3－2	鋳型設計システムの開発	24
2－4	鋳造－中空鍛造一貫製造システムの開発	26
2－4－1	鋳造－中空鍛造における一貫製造システムの開発	26
第 3 章	全体総括	30

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

1-1-1 背景

自動車産業分野においては、地球温暖化対策及びエネルギー資源の有効活用の見地から、構成する全ての部品における軽量化の要請が高い。また、コスト削減につながる工程削減のための複合一体化のニーズ要請が大きい。中空部品や薄肉複雑形状部品は鋳造で製造されるが、鋳造による欠陥の発生により適用が制限されている。市場からは、更なる薄肉化や、複雑化と高い機械的性質の安定性や溶接性等を兼ね備えた高機能な部品が求められている。また、土木建築機械産業分野においては、軽量化と共に高信頼、高付加価値化の要求からの高機能化が求められている。一方、航空機産業分野においては、内部欠陥を嫌うため、ほとんどが削り出しで製造されている。そのため材料歩留まりが悪く、工法転換が求められている。これらの横断3分野の川下製造業の具体的な技術課題・ニーズから判るように、軽量化、複合一体化等による工程削減・コスト削減、新素材を活用した機能向上などが求められている。

これらの川下製造業の抱える課題及びニーズに応えるべく、鋳造－鍛造複合工法への工法転換を内部組織に欠陥のない高機能化を実現することによりブレークスルーの可能性がある。

1-1-2 研究目的

本研究では、企業、大学、県関係試験研究機関の連携のもと、地域企業が有する中空鍛造、無欠陥鋳造、複合材料開発等コア技術の粋と、大学の有する材料開発や応力、熱流動解析等技术シーズを融合して、新たな複合工法として鋳造－中空鍛造技術を確立する事により、川下製造業の抱える課題を解決すると共に、新たな事業化に向けた基盤技術を高度化する事を目的としている。更に、この過程で必要となる複合加工製造装置化技術の高度化及び確立も目的とする。

1-1-3 目標

本事業では、軽量・高強度で薄肉複雑形状を持つ中空部品を一体成形する製造プロセスとして、「高機能アルミ材の鋳造－中空鍛造」複合工法を研究開発する。

開発する技術は鋳造で製作した鍛造用素材（以下プリフォームという）にポンチを打ち込んで中空部を成形する鍛造方式で、心金を用いた従来の中空鍛造と異なり、高い鍛造比により高強度を得ると共に、薄肉中空形状を成形できる特長を有している。

また、鍛造により高強度・薄肉中空形状を得るためには、鍛造用素材（以下プリフォームという）内の欠陥（ピンホール、ポロシティ、ポアや介在物）を抑えることが必須であることから、鍛造プリフォームの製造工程である鋳造工程の無欠陥化を目指して無欠陥鋳造技術を開発すると共に、高強度・高機能を実現する鋳造－鍛造用新素材についても併せて研究開発する。

本事業の横断3分野における高度化目標を以下に示す。

（1）自動車産業分野

具体的ニーズのある多工程を要している溶接構造等のアルミ中空部品について、複合一体化を実現する鍛造技術を確立する。また、中空薄肉形状（異形状断面も含む）のニーズに対応するために、厚さ1.2mmの薄肉中空鍛造を実現する。

(2) 土木建築機械産業分野

FCD 等のアルミニウム系材料への材料置換を行って、FCD600 並みの機械的強度を維持した上で、1/3 の軽量化を実現する。また、アルミニウム合金への置換では、焼付き防止が課題であるので、低摩擦係数であるアルミニウム系新素材を開発して高機能化を図る。

(3) 航空機産業分野

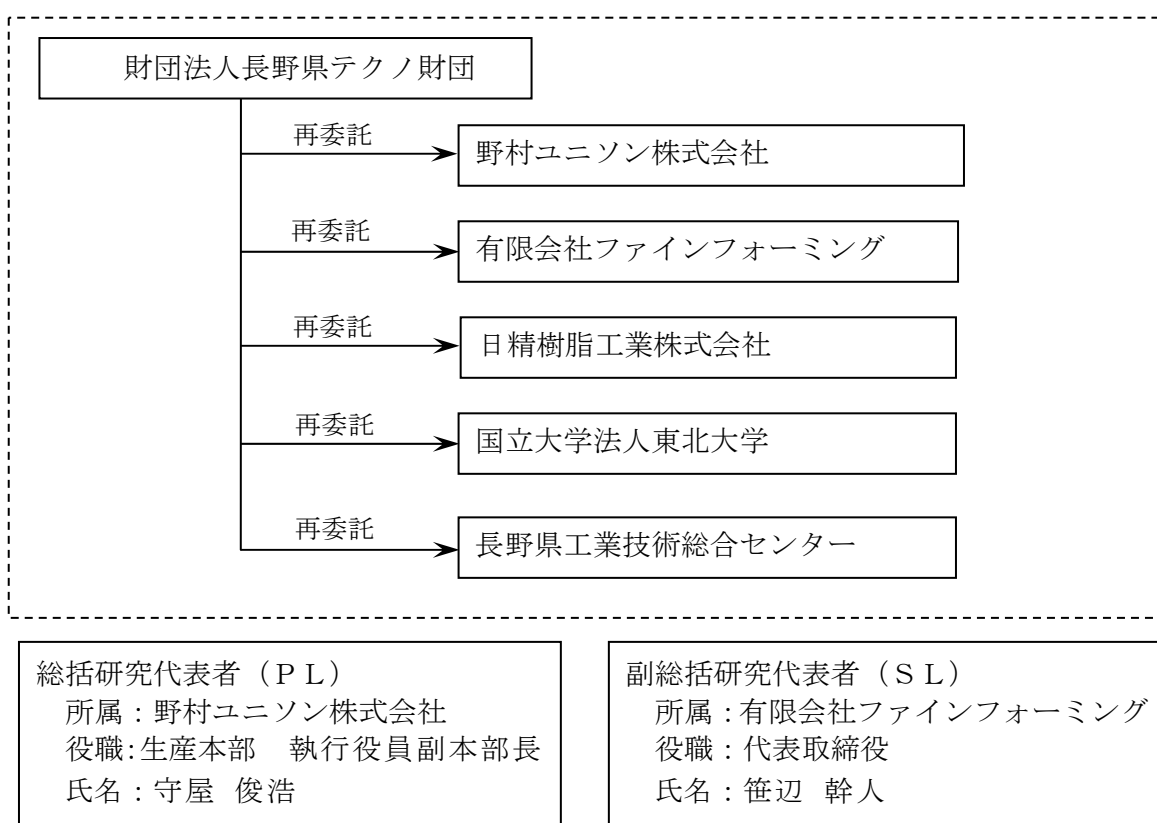
航空機部品では内部欠陥を嫌うため、そのほとんどが削り出しで製造されている。薄肉アルミニウム合金部品の加工を「鍛造」に工法転換するために、鍛造プリフォームの製造工程である鍛造において、ガス残留量 0.10ml/100g、介在物 K 値 0.1 の無欠陥鍛造（ピンホール・ポロシティ・ポアレス）技術を確立し、中空鍛造により緻密無欠陥の内部組織を持つ鍛造品を実現する。

本研究開発における課題解決のため、4 つのテーマを設定した。

- (1) 「鍛造－中空鍛造用新素材の開発」
- (2) 「複雑形状の中空鍛造技術の開発」
- (3) 「無欠陥鍛造技術の開発」
- (4) 「鍛造－中空鍛造一貫製造システムの開発」

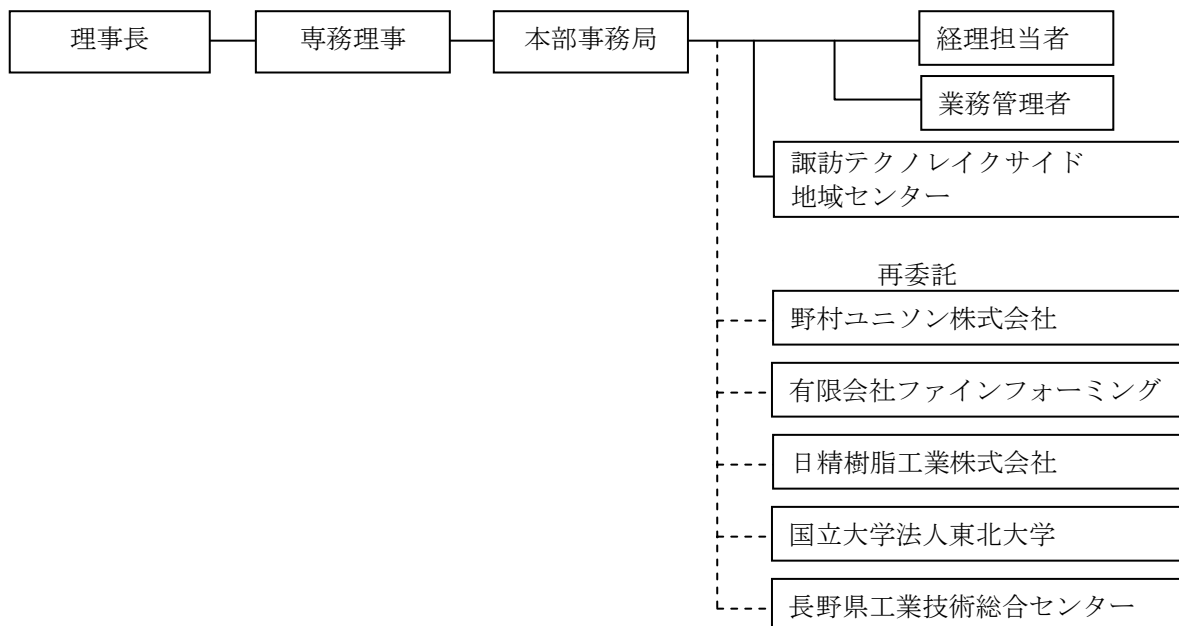
1-2 研究体制

1-2-1 研究組織



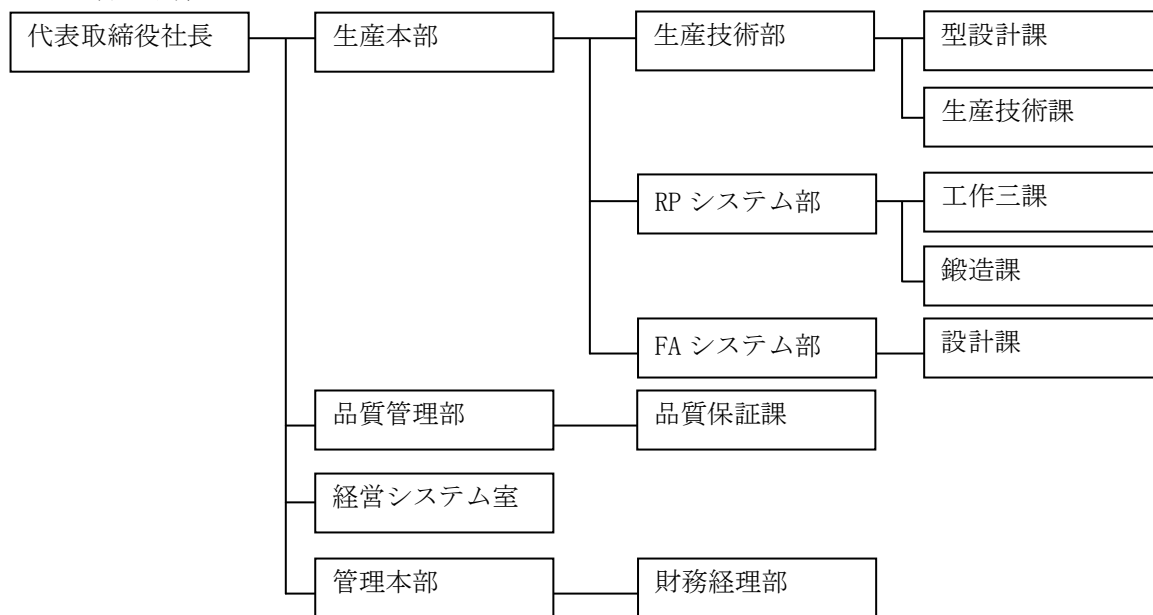
1-2-2 管理体制

(1) 事業管理者[財団法人長野県テクノ財団]

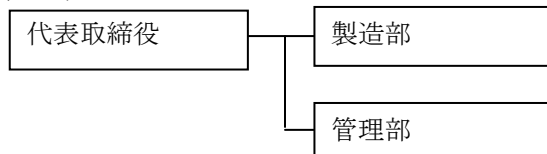


(2) 再委託先

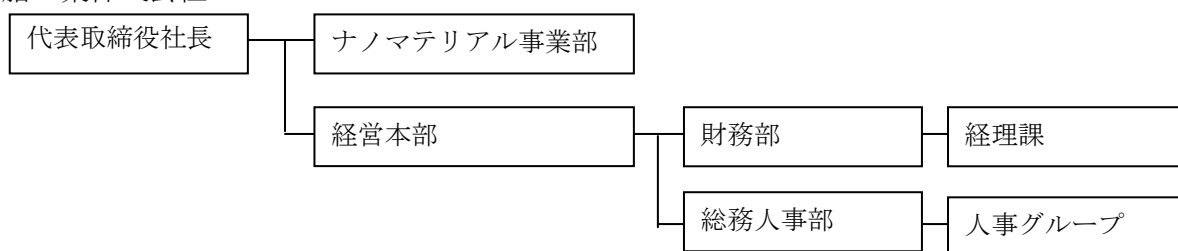
野村ユニソン株式会社



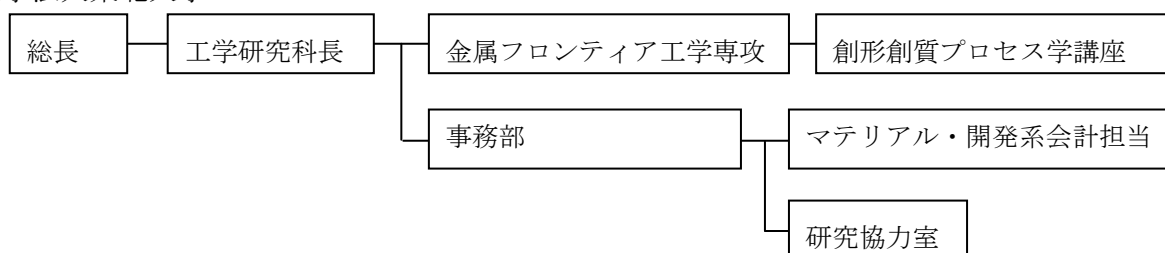
有限会社ファインフォーミング



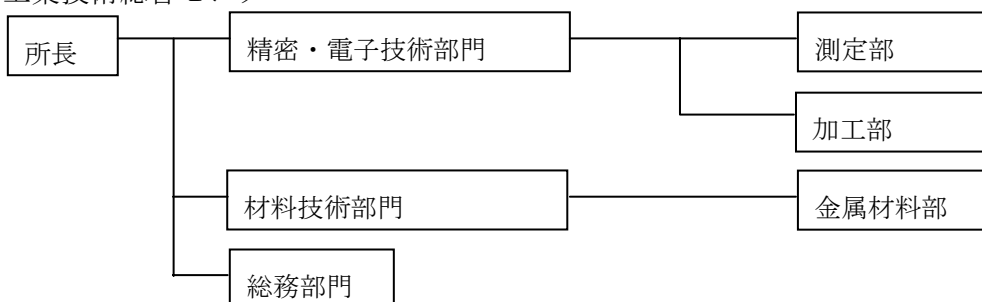
日精樹脂工業株式会社



国立大学法人東北大学



長野県工業技術総合センター



1-2-3 研究者氏名

(1) 事業管理者

財団法人長野県テクノ財団

管理員

氏 名	所属・役職
山岸 國耿	専務理事
小林 宰	本部事務局 事務局長
返町 惇	本部事務局 事務局次長
小林 富一	本部事務局 事務局次長
今井 敏夫	諏訪テクノレイクサイド地域センター 事務局長
小林 俊二	諏訪テクノレイクサイド地域センター テクノコーディネータ

(2) 再委託先

野村ユニソン株式会社

氏 名	所属・役職
守屋 俊浩	生産本部 執行役員副本部長
藤森 吉紀	生産本部 生産技術部 型設計課 担当課長
花岡 圭吾	生産本部 RPシステム部 鍛造課
太田 浩章	生産本部 FAシステム部 設計課
朝倉 芳彦	生産本部 執行役員副本部長
牛山 範安	生産本部 RPシステム部 工作三課 担当課長
小松 哲	生産本部 RPシステム部 工作三課 班長
柳澤 義美	生産本部 RPシステム部 工作三課
上野 豊	生産本部 RPシステム部 工作三課
荒井 五朗	生産本部 生産技術部 次長
坂本 利訓	生産本部 生産技術部 生産技術課 課付
小林 春美	生産本部 生産技術部 生産技術課 係長
小笠原 洋	品質管理部 品質保証課
久保田 功	経営システム室 係長

有限会社ファインフォーミング

氏 名	所属・役職
笹辺 幹人	代表取締役
春原 嗣郎	製造部 次長
宮沢 怜史	製造部 課長

日精樹脂工業株式会社

氏 名	所属・役職
菅沼 雅資	ナノマテリアル事業部 部長
安在 和夫	ナノマテリアル事業部 係長
加藤 敦史	ナノマテリアル事業部
柴 大介	ナノマテリアル事業部
新井 啓太	ナノマテリアル事業部

国立大学法人東北大学大学院工学研究科

氏 名	所属・役職
藤田 文夫	教授
安斎 浩一	教授
平田 直哉	助教

長野県工業技術総合センター

氏 名	所属・役職
横道 正和	精密・電子技術部門 加工部長
山岸 光	精密・電子技術部門 加工部 研究員
新井 亮一	精密・電子技術部門 加工部 研究員
上条 和之	精密・電子技術部門 測定部 研究員
小池 透	材料技術部門 金属材料部 研究員

1-2-4 指導及び協力者

アドバイザー（6名）

氏 名	所属・役職
岸 雅伸	帝国ピストンリング株式会社 技術センター 技術企画室 室長
原 健司	三恵技研工業株式会社 群馬製作所 開発課 技師
竹内 正光	株式会社小松製作所 エンジン・油機事業本部 油機開発センタ 企画管理グループ GM
熊谷 秀夫	多摩川精機株式会社 取締役本部長
堀込 昭彦	株式会社キッツ 技術部 素材研究グループ グループ長
宮代 文夫	株式会社青葉技術 技術開発部長

1-2-5 研究実施場所

機 関 名	住 所
野村ユニソン（株）	長野県茅野市ちの650
（有）ファインフォーミング	長野県茅野市湖東6066湖東工場
日精樹脂工業（株）	長野県上田市真田町傍陽938
東北大学大学院工学研究科	長野県埴科郡坂城町南条2110
長野県工業技術総合センター	宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6
	長野県岡谷市長地片間町1-3-1 精密・電子技術部門
	長野県長野市若里1-18-1 材料技術部門

1－3 成果概要

1－3－1 鑄造－中空鍛造用新素材の開発

1－3－1－1 鑄造－中空鍛造用新アルミ合金の開発

2000、6000、7000 系の各材料において高強度目標の達成を目指し、材料開発を行った。鑄造性の重要な指標のひとつである流動性の評価を行うと共に、熱力学計算ソフトウェア Thermo-Calc により計算した。

2000 系は A2014 をベースに Ti、Mn、Si、Cr の添加量を変え、F21 を開発した。鑄造－鍛造－熱処理することにより目標を達成し、鑄造時の流動性も十分確保できることを確認した。6000 系は A6061 母材とし、Cu、Si、Ti、Cr の添加量を変え F61 を開発し強度目標を達成した。流動性も F21 同様十分な程度であった。7000 系は 7N01 および 7178 を母材とし F7 および F71 合金を作製した。F7 を鑄造するとポロシティによる強度低下が生じる一方、F71 は鑄造－鍛造を行った結果、一定の強度に向上できた。流動性において F7 は他の合金と同等で、F71 はやや劣ったものの鍛造用プリフォーム鑄造に関しては問題ないことを確認した。

1－3－1－2 鑄造－中空鍛造用複合材料の開発

CNT および CNT 以外のナノ材料を強化材とした複合材料の開発試作及び評価、複合材料による鍛造試験と鍛造加工品の評価、および実用化部品を想定した評価を行った。

その結果、AC2B/SiC 複合材料にて引張強さ 316MPa、摩擦係数はマトリクス比 35%減を達成した。また、鍛造形状および鍛造条件の最適化により、良好な複合材料の鍛造品を得られることが分かった。

1－3－2 複雑形状の中空鍛造技術の開発

1－3－2－1 プリフォーム及び鍛造金型設計システムの開発

開発したアルミニウム合金の熱間加工特性を、サーメックマスターによる圧縮試験により求め、歪速度、歪、温度の関数として表すと共に、熱間加工によって生じる組織変化、表面・内部欠陥を調査し、通常の加工歪の範囲であれば問題のないことを明らかにした。

更にプリフォーム、金型の応力解析の基礎検討として鍛造温度付近の物性値を測定して鍛造シミュレーションシステムに反映し、川下ニーズへの鍛造解析を実施した。また同システムにおいてさらなる向上を進めるべく開発した中空鍛造装置を想定した一連の練成解析を実施した。流動解析においては熱解析を行うことでより実証性をもった解析が出来た。

1－3－2－2 鑄造－中空鍛造用鍛造装置の開発

開発試作した中空鍛造装置及び中空鍛造装置用ダイクッションを活用して、5 種の川下ニーズの具現化に向けた鍛造試作を行うと共に、最適な鍛造条件の検討を中心に実施した。

シリンダブロックは、F71 材において鍛造試作を実施し、セレーション形状部に充填不足はあるものの概ね良好な結果が得られた。ハンドグリップは、心金として充填した詰め物の密度不足により加工度が得られなかった。排気管は、薄肉形状成形の目標肉厚 1.2mm に対して、目標達成には至らなかったものの、1.8mm を実現した。シリンダライナは、ニーズの形状に向けた試作形状変更及び鍛造温度の最適化により、鍛造時の割れが改善できた。バルブボディは、良好な試作品が得られた。

また、中空鍛造でのポンチ加工時に非常に大きな摩擦抵抗が発生する為、従来のモリブデン系離型剤では鍛造製品にカジリ及び焼き付き等の発生が見られたが、潤滑効果のある離型剤に変更したことによりかじりの無い良好な試作品が得られるようになった。

1-3-3 無欠陥鑄造技術の開発

1-3-3-1 溶湯品質向上技術の開発

開発試作した溶解保持炉において、溶湯品質向上技術の研究を行った。L型ランスでは溶湯内残留ガス量の目標値 0.1ml/100gAl 以下を達成できたが、セラミックフィルタの追加検討では目標達成には至らなかった。

溶湯品質検査方法の比較試験として、ガス量においてはランズレー法と減圧凝固法を、介在物については k モールド法による評価をそれぞれ実施し溶湯品質検査装置の結果と比較した結果、導入した検査装置の有効性が示された。

更に開発試作した給湯機のラドル内に残留する薄膜対策として、導管径と長さの最適化の検討により解決することが出来た。

金型内負圧による注湯技術の開発として、4号 TP による負圧鑄造試作を行った。使用した真空発生装置への供給エア圧力が 6kPa にて最も良好な結果が得られた。

1-3-3-2 鑄型設計システムの開発

川下ニーズの試作に向け、鑄造方案、鑄型の事前検討として、鑄造シミュレーションを実施した。その結果、シリンダブロックは、材料に係る課題はあるものの、良好なシミュレーション結果及び鑄造方案、金型方案の策定が出来た。鑄造試作においては良好な結果が得られたが目標強度は得られていないことから、材料の改質に課題を残した。ハンドグリップは、シミュレーションの結果を受け、押し湯の追加等を実施することにより平均肉厚 3mm のプリフォーム試作の為の方案を策定した結果、鑄造試作においては、形状形成は出来たものの、穴あきによる不良発生が有り、条件の更なる最適化が課題となった。

1-3-4 鑄造-中空鍛造一貫製造システムの開発

1-3-4-1 鑄造-中空鍛造における一貫製造システムの開発

鑄造-鍛造複合工法におけるエネルギー削減のため、鑄造から鍛造までの製品加熱工程に着目して実験及び研究を進めた。結果、プリフォーム鑄造-鍛造間における製品加熱温度において、エネルギーが大幅に削減出来ること、また、ニアネットでプリフォームを作成した後仕上げ鍛造を行う本工法において、必要となる鍛造荷重及び設備を検証した結果、通常工法に比較して約 1/4 に縮小できる可能性が示唆された。

更に鍛造後の製品内に残留するガス量計測結果から溶湯品質、鑄造、鍛造の各工程全てにおいて信頼性の高い工程であり、得られた製品が高品質であったことが証明された。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

事業管理者	財団法人長野県テクノ財団
代 表 者	理事長 萩本 博幸
住 所	〒380-0928 長野県長野市若里 1-18-1 長野県工業技術総合センター内 3 階
担 当 者	事務局次長 小林 富一
連 絡 先	電話 : (026) 226-8101 FAX : (026) 226-8838 E-mail : tomy-kobayashi@tech.or.jp

第2章 研究開発の内容と成果

2-1 鋳造-中空鍛造用新素材の開発

2-1-1 鋳造-中空鍛造用新アルミ合金の開発

2-1-1-1 研究開発の内容と平成21年度の目標

軽量化のニーズに応えるために、軽量化材料であるアルミニウム合金について高強度と鋳込み性を兼ね備えた合金設計を計算材料組織予測法の活用により行うと共に、実験室での鋳込み、加工性実験によって検証を行って、技術目標に示した鋳造-中空鍛造に適したアルミニウム合金を開発、改良、試作、評価して要求目標を達成する。

鋳造鍛造用新合金の探索方法として、JIS 展伸材をベースとして改良を加え、高強度化を図ると共に、鋳造性を向上させることを狙う。鋳造性の良い新合金開発のため、鋳造性の主因子のひとつである流動性に注目し、垂直吸引式流動性試験法による流動性の評価を行う。更に得られた成果を鋳造シミュレーション装置のパラメータに反映する。

本テーマにおける技術的目標値を以下に示す。

- ・ 2000 系材料 : 引張強さ $\geq 450\text{N/mm}^2$ 耐力 $\geq 350\text{ N/mm}^2$ 伸び $\geq 10\%$
- ・ 6000 系材料 : 引張強さ $\geq 350\text{N/mm}^2$ 耐力 $\geq 250\text{ N/mm}^2$ 伸び $\geq 15\%$
- ・ 7000 系材料 : 引張強さ $\geq 600\text{N/mm}^2$ 耐力 $\geq 500\text{ N/mm}^2$ 伸び $\geq 8\%$

2-1-1-2 研究成果

(1) 流動性試験

(a) 試験評価方法：垂直吸引式流動性試験法

今回用いた垂直吸引式流動性試験装置の概略図を図2-1-1に示す。

まず電気抵抗炉で試料を加熱・溶解する。また真空ポンプを用いてタンク内を目標圧力に減圧する。溶湯が目標温度に達したら、るつぼの真上から吸引管を降下させる。浸漬深さを一定にするため、吸引管の降下用モータ、およびタッチセンサとタイマーを用いた。タッチセンサの反応から一定時間経過した後吸引管を停止し、電磁バルブを開く。タンクと大気圧の差により、吸引管に溶湯を吸引させる。さらに一定時間経過後、吸引管を上昇させ、1回の試験が終了する。

吸引管内に吸い上げられた溶湯の流動長により流動性を評価した。

(b) 流動性試験結果

図2-1-2に各合金の流動性試験結果を示す。F2、F6、F7 に対し、改良合金である F21、F61、F71 は流動性がおおよそ5~20%程度低下しているが、いずれも鍛造用プリフォーム鋳造の実績があり、十分な実用性は確保していると考えられる。

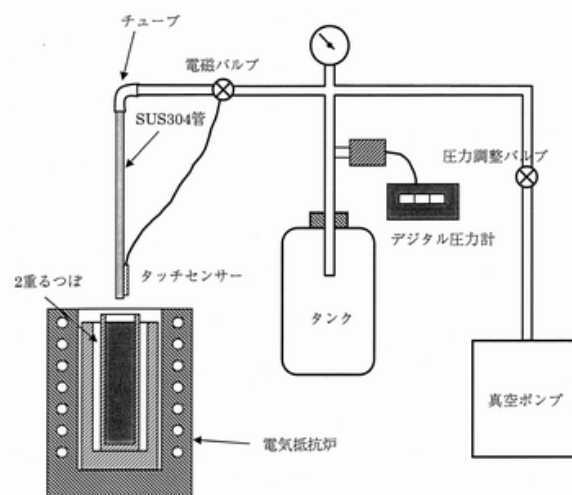


図2-1-1 垂直吸引式流動性試験装置

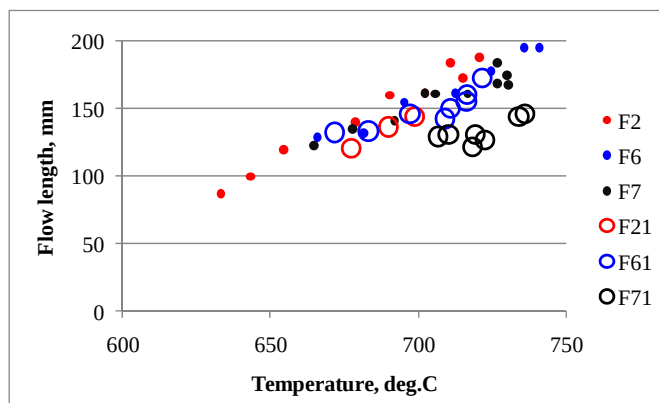


図2-1-2 流動性試験結果（吸引圧 150hPa）

(2) Thermo-Calc による熱物性値計算結果

casting性に大きな影響を与えると考えられる物性値を、熱力学計算ソフトウェア Thermo-Calc により計算した。結果を図 2-1-3 および図 2-1-4 に示す。図 2-1-3 は潜熱の放出パターンを温度-固相率の関係に変換したもので、図 2-1-4 は凝固の際の潜熱の放出量である。これらを casting シミュレーションソフトウェアに入力することで、凝固パターンをより精度良く解析が可能となる。

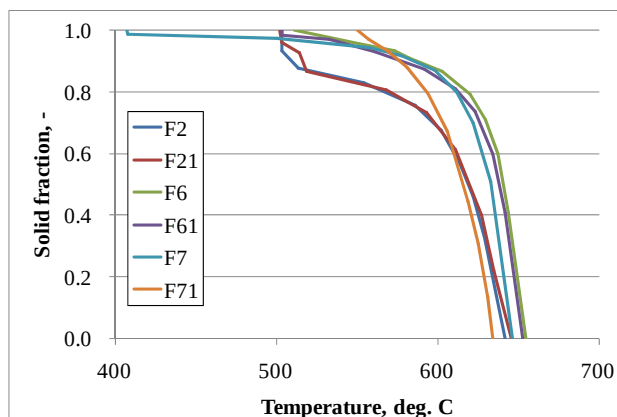


図 2-1-3 潜熱放出パターン（温度-固相率）計算結果

2-1-1-3 技術課題と今後の取組み

2000 系、6000 系は目標値を達成することができたが 7000 系は多くの課題が残った。しかし当初設計された成分から更に改良した組成の試料において、圧縮試験ではあるが目標に近い数値も確認できた。7000 系における課題は、成分組成の見直しと casting 条件の確立である。

2000 系と 6000 系においては設計した合金元素のうち Cu、Si、Mg などの主成分配合比の 20%増減の物性と casting 性の研究をすることで実用化の際の管理巾を決める必要がある。

今後は本事業で得た成果を活用するための作業と技術的課題解決のために継続して研究を行う。

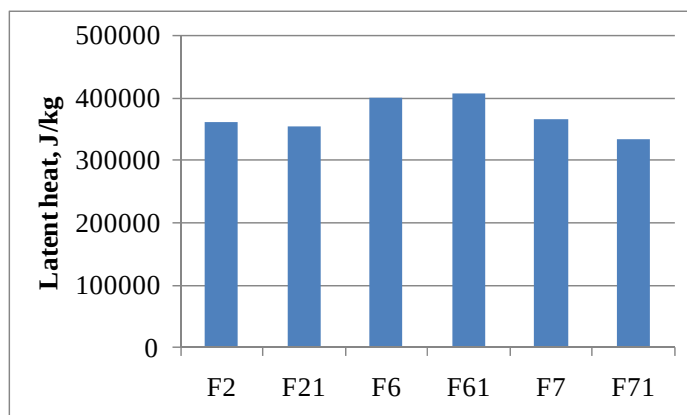


図 2-1-4 潜熱量計算結果

2-1-2 鋳造-中空鍛造用複合材料の開発

2-1-2-1 研究開発の内容と平成 21 年度の目標

軽量化と共に摺動特性などの高機能化ニーズに対応するために、アルミニウム合金とカーボンナノチューブ(以下 CNT)或いは炭化珪素(以下 SiC)などの複合材の鋳造-中空鍛造への活用ターゲットを当て、鋳造工程における均一分散やマトリクス材との濡れ性に関する技術課題を克服して、高強度・低摩擦係数の鋳造-鍛造用新素材を開発する。

本テーマにおける技術的目標値を以下に示す。

- ・ 機械的強度 : 600N/mm^2
- ・ 摩擦係数 : 20%減
- ・ 軽量化 : 1/3

2-1-2-2 研究成果

鑄造－中空鍛造用複合材料の開発では、CNT および CNT 以外のナノ材料を強化材とした複合材料の開発試作及び評価、複合材料による鍛造試験と鍛造加工品の評価、および実用化部品を想定した評価を行った。

(1) CNT および CNT 以外のナノ材料を強化材とした複合材料の開発・試作、高強度・低摩擦係数化における最適化研究

CNT 以外のナノ材料として SiC 粒子（以下 SiC）を選択した。本研究では市販されている SiC としては最小クラスの平均粒径 550nm のものを用いて、開発・試作を行った。アルミニウム合金は鑄造用合金である AC2B を用いた。

複合材料の作製は、図 2-1-5 に示す溶湯攪拌法で行い、それを図 2-1-6 に示す高圧鑄造によってビレット形状に成形した。成形した複合材料ビレットから試験片を加工し、引張特性、硬さ、摩擦摩耗特性を評価した。CNT 複合材料および SiC 複合材料の引張強さ、0.2%耐力、伸び、硬さを図 2-1-7

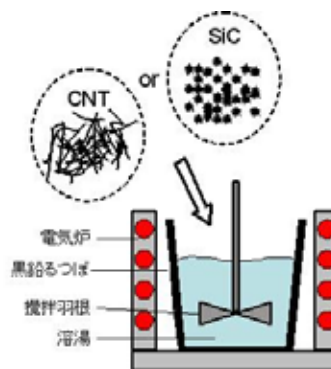


図 2-1-5 溶湯攪拌法

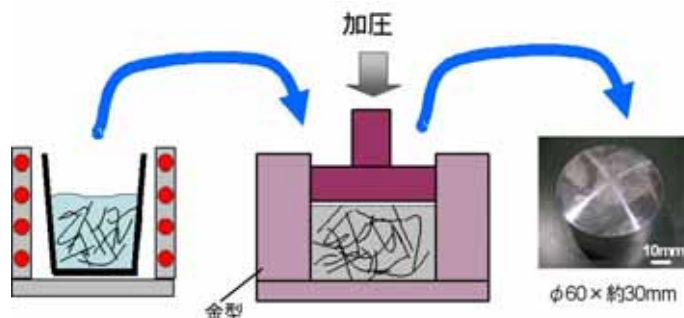


図 2-1-6 複合材料による高圧鑄造

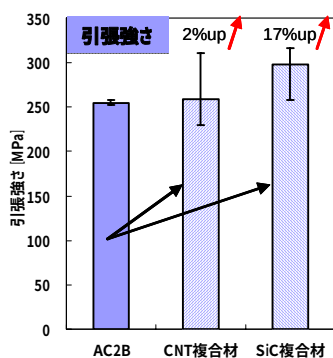


図 2-1-7 引張強さ

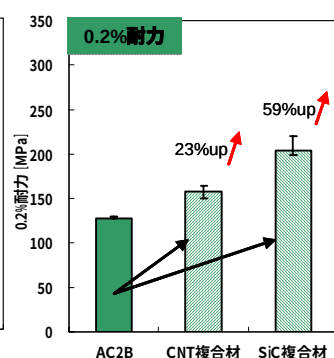


図 2-1-8 0.2%耐力

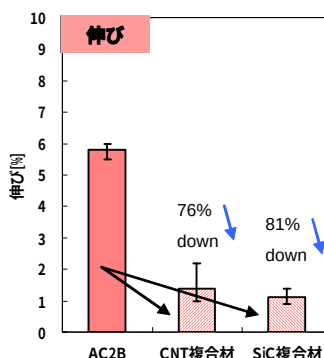


図 2-1-9 伸び

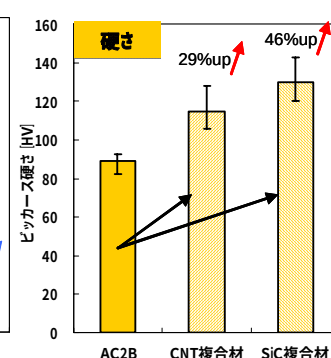


図 2-1-10 硬さ

次にこれら複合材料の摩擦摩耗特性を評価した。図 2-1-11 に評価に用いた摩擦摩耗試験装置の概略を示す。

動摩擦係数は、荷重 50g では AC2B に対し CNT 複合材料は 9%、SiC 複合材料は 35%減少した。摩耗痕深さは、試験荷重の増加に伴い増加した。荷重 50g の試験による摩耗痕深さは、AC2B に対し CNT 複合材料は 63%、SiC 複合材料は 92%減少した。各複合材料ともに摩擦摩耗特性は AC2B に対して向上しているが、CNT 複合材料に比べ SiC 複合材料の方が優れていた。

次にこれら複合材料の組織観察結果を図 2-1-12 に示す。CNT 複合材料、SiC 複合材料共に強化材が非常に密に分布している様子が分かる。SiC 複合材料では数十 μm 程度の SiC の凝集と思われる部分があるが、その中にもマトリクスであるアルミ成分が浸透しており問題にはならないと判断している。引張特性、硬さ、摩擦摩耗特性において CNT 複合材に比べ SiC 複合材の方が優れていたのは、強化材の分布および強化材自体の特性によるものと考えられる。

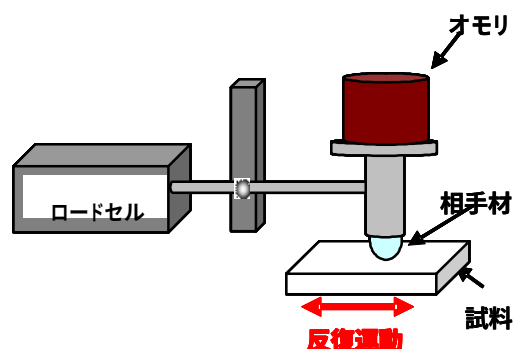
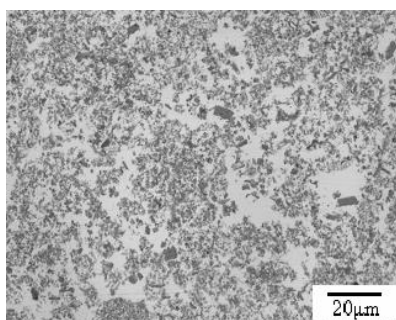
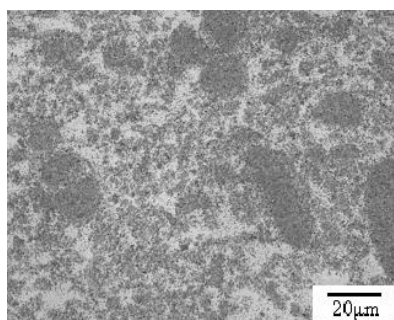


図 2-1-11 摩擦摩耗試験装置の概略



(a) CNT 複合材



(b) SiC 複合材

図 2-1-12 各種複合材料の組

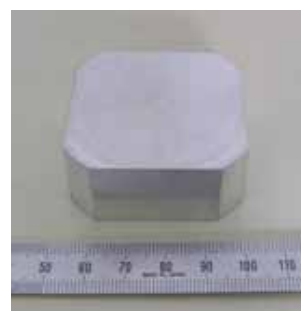


図 2-1-13 角形鍛造

(2) 複合材料による鍛造試験と鍛造加工品の評価

本研究開発での最終加工プロセスは鍛造である。そこで複合材料による鍛造加工試験を行った。

(a) 角形状の後方押出鍛造試験

角形鍛造試料、および鍛造品を図 2-1-13、-14 に示す。また、試験条件を以下に示す。

試験条件

- ・試料：AC2B、AC2B/10%SiC、AC2B/20%SiC

複合材料は鍛造品のコーナーに割れが生じ、添加量の増加に伴い、割れの状態が悪化している。これは、複合化により材料の伸びが低下したため、ひずみ量の多いコーナーに割れが集中したと考えられる。しかし、複合材料においても平面部は割れがほとんど無く良好な鍛造面である。そこで、コーナーの無い丸形状の後方押出鍛造による評価を行った。



(a) AC2B



(b) AC2B/10%SiC



(c) AC2B/20%SiC

割れ

図 2-1-14 角形鍛造品

(b) 丸形状の後方押出鍛造試験

丸形鍛造試料、および鍛造品を図 2-1-15、-16 に示す。また、試験条件を以下に示す。

試験条件

- ・ 試料：AC2B、AC2B/2% CNT 、AC2B/5% SiC 、
AC2B/10% SiC 、AC2B/20% SiC



(a) 試料温度 430℃

(b) 試料温度 480℃

図 2-1-15 丸形鍛造試料

図 2-1-16 丸形鍛造品 (AC2B/5% SiC)

AC2B/5% SiC において試料温度 430℃では側面の一部に割れが発生しているが、試料温度 480℃ではほとんど割れが無くなっている。他の複合材料についても同様な傾向が見られた。これは、試料温度を上げることにより、複合材料の変形が容易になったためと考えられる。

(3) 実用化部品を想定した評価

本研究により開発試作した複合材料は、機械的強度目標である FCD600 並にはいたっていないが、摩擦係数目標である従来比 20%減は AC2B/20% SiC にて大幅に達成している。また、耐摩耗性も非常に優れた特性を示し、さらに、丸形状の中空鍛造も可能である。これらの特徴を生かしたターゲット部品として、シリンダライナを想定し、複合材料評価を行った。

シリンダライナを想定した条件のもと相手材と試料の摩耗量を計測した結果、複合材料の摩耗量はアルミ合金製シリンダとして実績のあるアルミ材より少なく、耐摩耗性は優れていることが分かった。しかし、複合材料の場合、相手材の摩耗量が非常に多かった。

実用化を考慮した生産性、コストから判断して現状の複合材料を活用することをベースに単なる現状からの置き換えではなくシステム全体を含めた検討開発が必要と考えられる。

2-1-2-3 技術課題と今後の取組み

本研究における技術課題としては、

- ・ 耐摩耗性は向上したが、相手材の種類によってはアタック性が強くなるため、相手材とのバランスに配慮が必要となる。
- ・ 複合材料を使用した鍛造加工品品質の向上。

等が上げられる。これらを踏まえ今後の取り組みとして、

- ・ 開発した複合材料を使用可能とする装置全体の検討を行う。
- ・ 実機での性能評価を行う。
- ・ 複合材料を使用した鍛造加工製品の最適設計と加工プロセスの最適化。

等を計画する。

2-2 複雑形状の中空鍛造技術の開発

2-2-1 プリフォーム及び鍛造金型設計システムの開発

2-2-1-1 研究開発の内容と平成 21 年度の目標

単純形状の鍛造は比較的容易であるが、複雑形状の中空鍛造では、寸法精度を確保し難く、なかなか実用化されてこなかった。中空鍛造の単一工程化を目指して、数値解析等を用いて鍛造時のプリフォーム、金型への応力状態を推定して、複雑な中空部品の鍛造を可能とする鍛造方法を開発する。鑄造—中空鍛造における適正鍛造代の設定を行って、目的の寸法・精度を確保するためのプリフォーム及び鍛造金型の設計システムを構築する。

本テーマでは下記の研究項目を実施する。

- ・ 鍛造時におけるプリフォーム、金型の応力解析（サーメックマスターによる高速加工解析）及び鍛造シミュレーション装置への反映
- ・ プリフォーム及び鍛造金型設計システムの向上と実用化検討

2-2-1-2 研究成果

（1）鑄造鍛造用アルミニウム合金の熱間加工特性

新たに開発されたアルミニウム合金F21、F61、F71の300℃、400℃、500℃における熱間変形特性をサーメックマスターによって定量化した。（図 2-2-1）

また、これらのデータを一般的な条件の解析に用いられるように、次の形の式で表わした。ここに T は加工時の絶対温度、 $\dot{\epsilon}$ は歪速度、 ϵ は歪、他の係数は材料ごとにデータから求める定数である。

$$\sigma = A \cdot \exp\left(\frac{B}{T}\right) \cdot \dot{\epsilon}^m \cdot \epsilon^n - a \cdot \epsilon$$

この式を用いることによって、加工中の温度変化、歪速度変化に対応した流動応力 σ を用いることができる。この式は鍛造シミュレーション装置に組み込まれ、これらの材料についての鍛造シミュレーションが精度よく可能となった。

（2）高ひずみ加工時の材質変化、欠陥発生の観察

高ひずみ加工として 450℃での後方押し出し加工を用い、ひずみ 2～3 程度まで加えることができた。図 2-2-2 にこの加工の相当歪分布の解析例を示す。

この後の熱処理によってF21のみのひずみの大きな部分に細かな亀裂が生じた。

加工ひずみの大きさの違う場所のビッカース硬度の測定でも熱処理後では大きな差は生じなかった。

（3）結論

- ① 各材質の加工特性を数式で表わすことができた。
- ② 各材質とも、ひずみが 3 程度までであれば材質の変化、欠陥の発生は生じない。

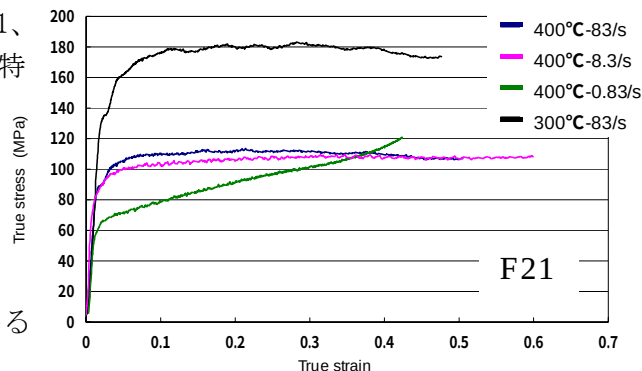


図 2-2-1 サーメックマスターによる応力・歪関係
(パラメータは温度-歪速度)

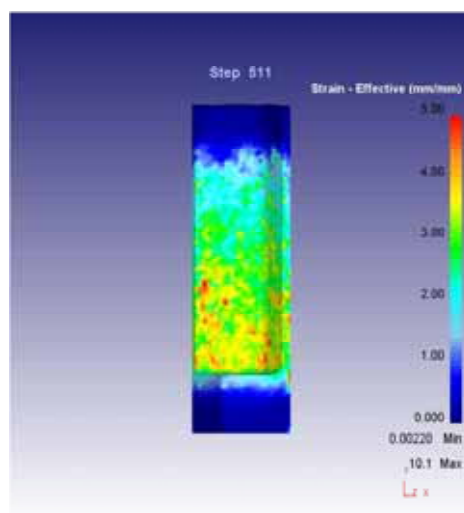


図 2-2-2 後方押し出しの相当歪分布
(鍛造シミュレーションによる解析例)

(4) プリフォーム及び鍛造金型設計システムの向上と実用化検討

(a) クッション機構における連成解析プログラム設定

設計開発した中空鍛造装置を想定した一連の連動動作をシミュレーション装置に盛り込むべく構想・検討を行った。中空装置にはガスクッション機構が搭載されていることより、下からの圧力を考慮することによって、より正確な流動解析を行うことが可能となる。また中空鍛造を行う際に必要な型締め最適圧力・鍛造荷重を推定することが可能となり、型締めによる鍛圧をかけながらポンチ抜きを行える連成鍛造機構となった。以下にクッション機構を考慮した現状と改善後のプログラム設定を図 2-2-3、図 2-2-4 に示す。

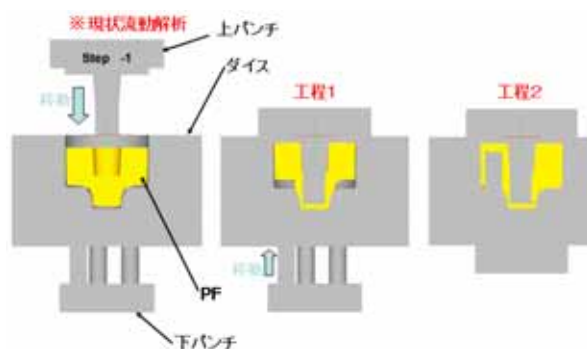


図 2-2-3 現状流動解析

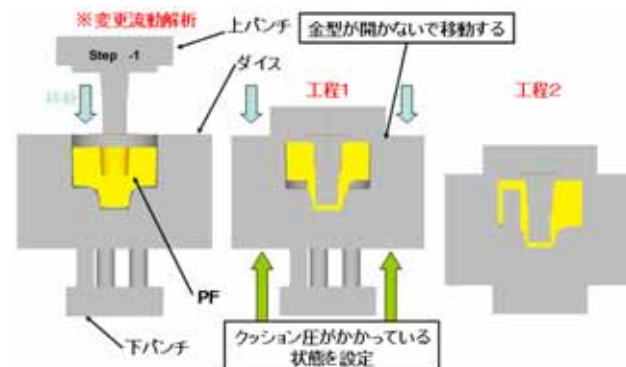


図 2-2-4 改善後流動解析

(b) 熱解析

すでに材料における流動解析を行ってきたが、実際塑性加工を行った際に発生する加工熱や金型に及ぼす熱影響を考慮すべく熱解析として行った。

F71 における熱解析は、約 380℃の PF に上型ポンチ突入することでセレーション先端部の温度上昇が確認出来る。これは成型時の加工摩擦熱であることが推測される。温度上昇幅は最大約 150℃前後で、セレーション側面を中心に先端部に集中することが確認出来る。

また金型については金型を約 200℃に設定して熱解析を行った。その結果、PF 同様の傾向を示した。これは上型ポンチの加工時の PF 温度上昇に伴いその熱が金型に伝達しておきたものとこの時製品形状が形成されることによるものと推測する。この上昇の値は約 100℃前後であるが工程最終時には温度が落ちていることより瞬間的に上がっている。この要因としては数量を鍛造することにより金型の温度上昇は考えられるが最大 100℃前後にて落ち着く為、さほど問題ないと考える。以下に熱解析を図 2-2-5 に示す。

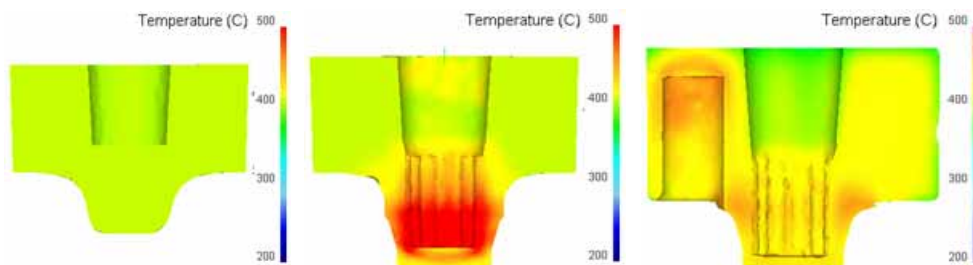


図 2-2-5 熱計算解析

(c) 鍛造加工度別評価

改質材料 (F21、F61、F71) に対して 4 号 TP にて鋳造工程を行い加工度別にて鍛造を行った。鍛造した加工品から試験片を採取、引張試験を実施し機械的強度の評価を実施した。

評価工程を図 2-2-6 に、また評価結果を表 2-2-7 に示す。



(a) 4 号 TP 鑄造材



(b) 加工度別鍛造



(c) 試験片採取

図 2-2-6 材料評価工程

F21 及び F61 に関しては引張強さ、耐力共に目標を上回ることが出来た。また加工度 30% と 50%を比較すると加工度が上がることにより約 10%~20%の向上が確認出来る。これは加工度を上げることで材料が微細化されて向上したと考える。

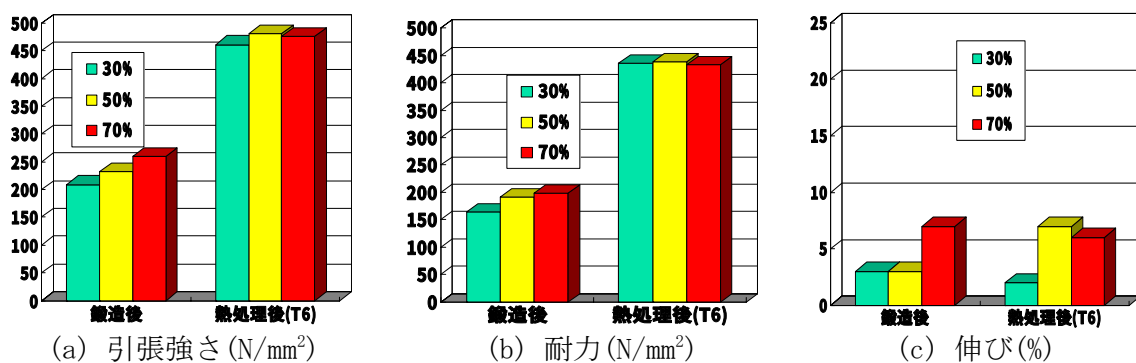


図 2-2-7 F21 加工度別機械的強度評価

(d) 鍛造シミュレーションのシステム化

開発した材料に対し、サーメックマスターにて温度・速度を変化させて圧縮試験を行い、材料歪み・変形抵抗を抽出して、パラメータとなりうる物性値をもとめ、鍛造シミュレーション装置に反映させた。

反映した材料データに基づき具現化する川下ニーズ形状へ流動解析の展開を実施して効果を確認した。この一連の過程により改質材料を用いたシステム化が可能になった。

図 2-2-8 にシミュレーション装置を用いた F61 の材料データを示す。

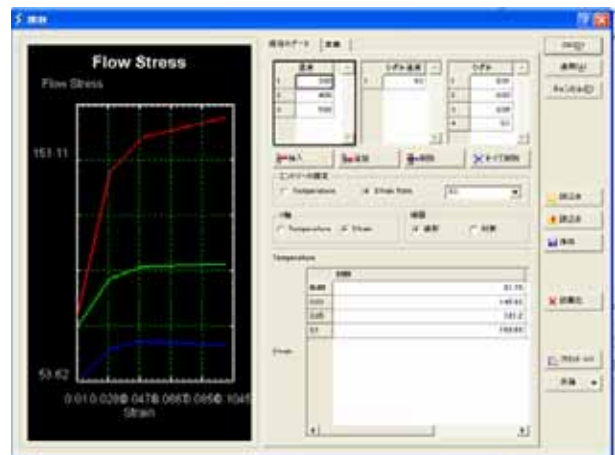


図 2-2-8 F61 材料データ

2-2-1-3 技術課題と今後の取組み

本年度の結果を基に今後の補完研究に向けた課題として上げられる項目として以下を示す。

- ・ 新材料における加工特性を数式に落とし込んだデータにて、現在の川下ニーズ形状に対する解析の精度を上げた取り組み。
- ・ 相当ひずみを 3 程度までに抑える為の条件項目の設定方法。

2-2-2 鋳造－中空鍛造用鍛造装置の開発

2-2-2-1 研究開発の内容と平成 21 年度の目標

高強度・薄肉・複雑形状中空部品の成形に関するニーズに応えるために、中空鍛造方法として、鍛造とほぼ同時にポンチを突入させる工法、または心金を使用した長尺物の成形が可能な工法が選択使用可能とする鍛造装置、及びサブプレス装置等の開発を行う事により、広範囲のニーズに適用できる鋳造－鍛造用鍛造システムを構築する。

本テーマにおける技術的目標値を以下に示す。

- ・ 鍛造応力 : 1/3
- ・ 薄肉形状成形 : 最小肉厚 1.2mm

2-2-2-2 研究成果

薄肉鍛造の取り組みとして流動解析の熱間鍛造シミュレーションを行うと共に熱間鍛造試作を行ったが、製品内部の焼き付きによるカジリ、端面の割れ及び破断等の発生が見られた。これらの対策として離型剤検討とポンチ先端形状を変更する流動変化・鍛造スピードにおける摩擦低減検討を行い、結果最低肉厚 2mm が得られている。本年度においては更に潤滑剤の調査、検討を行いマグネシウム及び鉄の熱間鍛造において摩擦低減に非常に効果のある潤滑剤における試作を行った。また、川下ニーズにおける課題克服及び鍛造試作の更なる向上を目指して研究し、得られた結果より最適鍛造条件を検討した。

(1) シリンダブロックの鍛造試作

鍛造方法はダイクッションを使用した上、下型による鍛造方法とし、鍛造材料は F71 及び F72 材をプリフォームした素材を使用した。



図 2-2-9 鍛造試作品



図 2-2-10 セレーション部品

材料温度の変更及び離型剤を潤滑剤添加したものに変更した結果、図 2-2-9 の様に割れの発生がなく、又中抜きピン部の焼き付きと成形性が改善出来た。しかし、図 2-2-10 に示すようにセレーションの一部で充填不足が見られた。

(2) ハンドグリップの鍛造試作

鍛造方法は上、下型での鍛造方法とし、鍛造素材 F21 材で塩中子を使用した鋳造プリフォームにて鍛造試作を行った。(図 2-2-11)



(a) 鍛造後



(b) トリミング後

図 2-2-11 鍛造試作品

鍛造加熱時に中子が吹き出してしまう現象や、鍛造を行うとその空洞部に材料が逃げ込んでしまう傾向が見られたが、塩中子形成時に塩を焼き付ける方式に変更し空洞化の問題を解決した。中子を使用した鍛造の場合は全体的な質量バランスによって変化する為、塩中子の形状が非常に重要であることが分かった。

(3) 排気管の鍛造試作

中空鍛造装置と心金法を使用して鍛造試作を行った。鍛造材料は F61 材とし試作した。

離型剤を硫黄系潤滑材の添加した潤滑剤に変更して鍛造した結果、鍛造肉厚が 1.8mm で割れ等の発生がなく図 2-2-12 の様に図面製品形状寸法まで成形が出来た。また図 2-2-13 の様に内面の焼き付きとカジリの発生は見られなかった。



図 2-2-12 鍛造試作品



図 2-2-13 製品内面

(4) シリンダライナの鍛造試作

鍛造方法は後方押出鍛造とし鍛造試作を行った。

鍛造材料は AC2B 材と AC2B+SiC5%材にて鍛造し、それぞれ比較評価した。

鍛造肉厚 3mm にて鍛造を行った結果、AC2B 材は材料温度に関係なく成形性は良好であった(図 2-2-14)が、AC2B+SiC5%材は 430℃で鍛造した場合、割れが発生した(図 2-2-15)。



図 2-2-14 鍛造試作品
(AC2B 材)



図 2-2-15 鍛造試作品
(AC2B+SiC5%材)

(5) バルブボディの鍛造試作

図中空鍛造装置を使用した 2 個取りの中空鍛造方法とし F61 材の 2 個取りのプリフォームで鍛造試作を行った。成形状態に関しては特に問題なく成形が出来た(図 2-2-16、-17)。

鍛造速度については材料の巻き込み等を考慮して、200mm/sec 以下の鍛造が良好と思われる。



図 2-2-16 中空鍛造装置



図 2-2-17 鍛造試作品

(6) まとめ

アルミ鍛造試作の結果、以下を得た。

- ① アルミ鍛造試作の実施結果によりダイクッションを用いる工法においてポンチ中抜き体積に必要なダイクッション荷重を定式化する事が可能となった。

② 中空鍛造でのポンチ加工時に非常に大きな摩擦抵抗が発生する為、従来の離型剤では鍛造製品にカジリ及び焼き付き等の発生が見られたが、潤滑効果のある離型剤に変更したことにより摩擦抵抗が低減でき、F61 材においては目標肉厚の 1.2mm は達成できなかったものの肉厚 1.8mm において破断の発生がなく鍛造が可能となった。

③ 川下ニーズにおける流動・構造解析を最適化させたプリフォーム形状に作成し、シミュレーション結果に基づき鍛造型設計を行った金型を使用し鍛造試作を行った。

今回製作したダイクッションではガス圧力調整によりダイクッション荷重の設定を行う事が出来それぞれの製品に対しての必要荷重設定が容易に出来るようになった。

この結果、鍛造で中空化する体積に必要なダイクッション荷重を定式化、数値化する事が可能となった。又、必要以上のダイクッション荷重を使用しない為、鍛造エネルギーの低減及びダイクッションのトラブル低減にもつながるものと思われる。

2-2-2-3 技術課題と今後の取組み

技術的課題と今後の取組みは以下の通り。

- ① 中空鍛造時に必要なダイクッション荷重についての更なる裏付けによる定式化の確立。
- ② 鍛造条件及びポンチの摩擦低減検討による最小肉厚 1.2mm が可能な鍛造条件を確立する。

2-3 無欠陥鑄造技術の開発

2-3-1 溶湯品質向上技術の開発

2-3-1-1 研究開発の内容と平成 21 年度の目標

従来高強度のアルミニウムは、鑄造によって成形した後に鍛造することは不可能とされてきた。これは鑄造によって不純合金元素、ガス等による欠陥を発生し、この欠陥が鍛造時に成形不良を発生させるためである。本テーマでは、無欠陥鑄造を実現するために、「不純物除去技術の開発」「溶解炉、ラドル内での溶湯の酸化防止技術の開発」「金型内負圧による注湯技術の開発」について開発する。

本テーマにおける技術的目標値を以下に示す。

- ・ 不純物介在度 : k 値 $\leq$ 0.1 (A ランク)
- ・ 溶湯内残留ガス量 : $\leq$ 0.1ml/100gAl
- ・ PF 内残留ガス量 : $\leq$ 1ml/100gAl

2-3-1-2 研究成果

(1) 溶解炉、ラドル内での溶湯の酸化防止技術の向上と裏付け

(a) 連続式溶解炉の改良

従来はセラミックのブランケットを用いて開口部を密閉にしていたが、本炉自体の密閉度が高いため燃焼後の排気圧力によってはブランケットが浮き上がり、更に炎がスキマから吹き出だして危険な状態になることがあったため、耐火物である密度 3 のキャスターを用いて天井カバーを試作した結果、総重量が 100kg になり炎の噴出しはなくなった。

(b) 溶湯品質向上技術の開発

L 型ランスによる Ar ガスの連続処理及びセラミックフィルタによるろ過法を用いて試験した。

L 型ランスでは溶湯内ガス量の目標値である 0.1ml/100gAl 以下を達成することができたが、セラミックフィルタでは達成することができなかった。給湯機との組合せを考慮し、汲出し口に給湯機が進入できるスペースを確保して溶解試験を実施した（図 2-3-1、-2）。



図 2-3-1 改良型フィルタ設置上部



図 2-3-2 改良型フィルタ設置底

試験結果

汲出し口の温度はフィルタが断熱壁となり上昇しないため、フィルタを通過したアルミ溶湯は汲出し口の底に層状に凝固した。

フィルタの固定と焼成を考慮し、溶解前に炉に設置したが時間当たりの溶解流出量が少ないためフィルタの目詰まり状態となった。

保持炉内の温度設定を 780℃ にあげたが汲出し口では凝固したため、フィルタを用いる溶湯管理方法を本溶解保持炉で利用するためには更なる研究が必要であることが分かった。

(c) 溶湯品質検査装置(ボルケスター)による検査基準の作成検討基礎試験

溶湯品質検査方法の比較試験として、ガス量においてはランズレー法と減圧凝固法を、介在物については k モールド法による評価をそれぞれ実施し比較した。

① 試験結果

試験により得られた結果を、表 2-3-1 に示す。

表 2-3-1 溶湯品質評価比較試験結果

検査法	評価法	経過	0	15 分	30 分	40 分	60 分	90 分
		前	処理					
ボルケスター (ガス)	全ガス量 (ml/100gAl)	0.15	0.23	0.19	0.12	0.09	0.09	0.06
ボルケスター (介在物)	破裂気泡体積 (mm ³)	3.83	0	0.02	0.02	0.03	0.22	0.53
ランズレー法	H ₂ ガス量 (ml/100gAl)		0.07				0.11	0.11
減圧凝固法	限度比較 (-700mmHg)		合 (N01)				合 (N02)	合 (N03)
k モールド法	k 値 (発生数/24)		0				0.08	0

ガス量に着目して比較すると、ボルケスターは Ar ガスによる清浄化処理直後に残留ガス量が 50%も増加する結果となったが、ランズレー法では 0.07ml/100gAl を示した。なお、減圧凝固法とボルケスターの検査試料は共に上部、切断面には異常はなかった。

減圧凝固法においては-700mmHgで検査試料に異常がない状態を0.1ml/100gAl以下としていることを考えるとこの時点での溶湯品質はランズレー法が示すよう高い品質レベルにあると言える。(図 2-3-3)

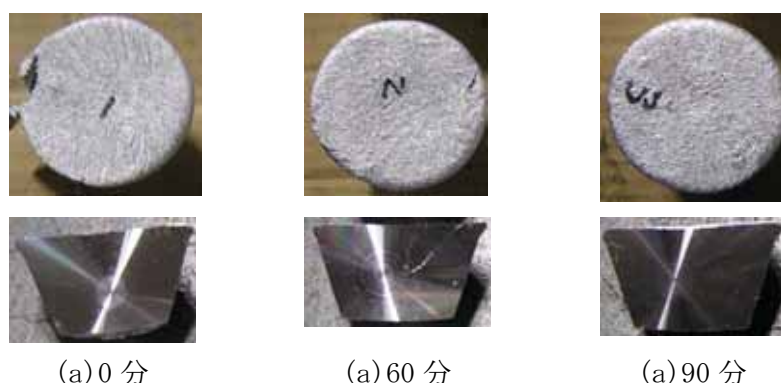


図 2-3-3 減圧凝固法による評価結果（真空度：-700mmHg）

時間経過に伴う溶湯の汚染状態は、ランズレー法では90分で50%の増加を示したが、ボルケスターの全ガス量測定では75%の減少となった。減圧凝固法、ボルケスター検査試料は上面、断面にフクレや空洞が観察される。検査試料は実際の製品に近いものであり時間経過と共に汚染の増加が観察できる。介在物の検査でk値は90分経過しても目標の1を超えなかった。ボルケスターの破裂気泡体積は処理前に3.83mm³を示していたが清浄化処理を実施した直後では0レベルを示した。更に時間経過と共に数値は増加して90分後には0.53mm³を示した。

②考察

ガス量も介在物も汚染原因として深い関係が有るので、当面はボルケスターの破裂気泡体積を溶湯管理の中心とすることにした。評価基準は今回ランズレー法の90分時ガス量0.11cc/100gALの時点で0.53mm³を示したため、暫定規格として0.5mm³を目安とし、これを超えたら清浄化処理をする。

(d) 給湯機のラドルに残る薄膜対策

真空を利用した酸化抑制ラドルの開発における最大の課題は、ラドルに薄膜が残ることであった。具体的取り組みとして、薄膜の残留原因の絞り込みをした。想定できる原因は以下の通り。

- ・ ラドル形状の適切性
- ・ 導管径と長さの適切性
- ・ 導管、ラドル張り材の適切性
- ・ 不活性ガスの量、圧力の適切性

①試作方法の検討

想定した原因対策として、以下の項目について対策を検討した。

- ・ ラドル柄杓式ラドル形状を参考に設計をした。
- ・ 導管はセラミックパイプの熱伝導が吸引、注湯の際溶湯から熱を奪い薄膜発生を促進するので導管を鉄板でケースを作成し、内張りに断熱保温性の高いセラミックキャストで成形した。更に内張り表面はコーティング材で平滑面を形成した。特に導管をケースと内張りに分割した効果としてラドル面と導管内張りの連結部が切れ目のない連続形状に仕上がったため溶湯の通過に対して抵抗がなく薄膜発生対策になった。導管の長さは溶解保持炉で給湯機を使用できる程度の長さとし、内径はセラミックキャストで成形できる最小径とした。Arガス流出管と真空吸引管

を同軸であったものを分割することで真空と Ar ガスの安定化をねらった。試作状況を図 2-3-4 に示す。

②試作結果

- ・ 導管を長さ 200mm で溶解保持炉内に侵入する余裕がなかったが旋回ラドル定でラドル吸引。注湯試験では Ar ガスを吸引終了直後より流出させれば溶湯の導管からのたれもなく、また、試験終了後ラドルにアルミの薄皮は無かった。しかし、導管が十分に湯の中に進入していないので導管先端に吸引終了時薄膜が残った。
- ・ 溶解保持炉と給湯機、鑄造機の連携で 4 号 TP にて鑄造試作を実施した。



(b) 吸引試験

(c) 注湯試験

(d) 4 号 TP 鑄型へ注湯

図 2-3-4 試作状況

(2) 金型内負圧による注湯技術の開発

湯道を溶湯で封印して金型内を吸引する構造の 4 号 TP 型を用いて負圧鑄造の研究をした。

(a) 試験内容

極めて低真空であることに加え、鑄造機の周辺に機器を設置しなくてはならないため、真空管理を真空発生装置の工場エアの圧力調整とした。

(b) 試験結果

真空発生のための圧縮エアの圧力と鑄造試作結果を表 2-3-2 に示す。

表 2-3-2 圧縮エアの圧力と鑄造品質

エア圧	10 (kPa)	8 (kPa)	6 (kPa)	4 (kPa)	2 (kPa)	0 (kPa)
No. 1	長い湯じわ	湯じわ小	○	湯じわ小	湯じわ小	湯じわ、ヒケ
No. 2	湯じわ小	○	○	△	湯じわ小	湯じわ、ヒケ
No. 3	湯じわ小	○	○	○	湯じわ、ヒケ	湯まり不良
No. 4	長い湯じわ	湯じわ小	○	湯じわ小	湯じわ小	湯じわ、ヒケ
No. 5	長い湯じわ	湯じわ小	湯じわ小	湯じわ小	湯じわ小	湯まり不良

2-3-1-3 技術課題と今後の取組み

本研究開発における技術的課題を以下に示す。

- 炉床コーナーの材料残留防止、並びに省エネ技術の開発。
 - 溶湯管理のためのフィルタ効果の研究。
 - 金型負圧技術における耐熱、耐久性及び作業の支障にならない構造や設置方法の研究。
- また、今後の取り組みは以下の通り。
- 炉床のコーナーのバーナーから死角になる部分をなくし溶解効率を向上させる。
 - ボルケスターの破裂気泡体積 0.5mm^3 を基準に従来法も合わせて評価技術を研究する。
 - 吸引技術は更なる品質向上のための装置研究を継続して実施する。

2-3-2 鋳型設計システムの開発

2-3-2-1 研究開発の内容と平成 21 年度の目標

従来製造できなかった、薄肉、複雑形状の鋳造を行うための鋳型設計を、適用する合金に対する物性値を用いた流動解析を活用して行うシステムを構築する。

2-3-2-2 研究成果

本年は川下ニーズの具現化のための試作を中心に実施した。ニーズの中には鋳造 PF から予め薄肉考慮しなければならない物があり、導入したシミュレーション装置を活用して鋳造方案並びに金型方案を検討した。

(1) 流動解析によるプリフォーム用鋳型設計システムの向上と実用化検討

(a) シリンダブロックの鋳造 PF シミュレーションと型設計

鍛造シミュレーションを用いて、設計された PF データに基づき鋳造方案を検討した。主な検討条件と実施内容を以下に示す。

- ・ 材質は 600N/mm^2 の機械的強度が期待できる 7000 系材とした。
- ・ 鍛造加工度が大きいことと材質が 7000 系であることからセキはつけないこととした。
- ・ 3D モデルの流動解析を行った結果を確認し鋳造型製作を行った。方案は傾斜鋳造とし、中子はネジ抜きとした。

(b) 結果

作成した 3D モデル及びシミュレーションの主な結果を図 2-3-5 に示す。

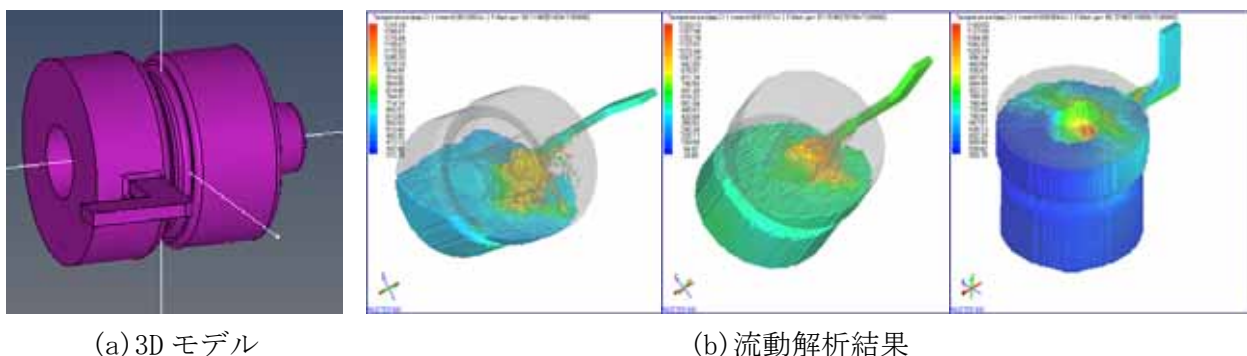


図 2-3-5 3D モデル及びシミュレーション結果

(c) 考察

シミュレーションの結果、流動状態は良好な結果を示し、プリフォームの品質低下につながる要因は特に見当たらなかった。

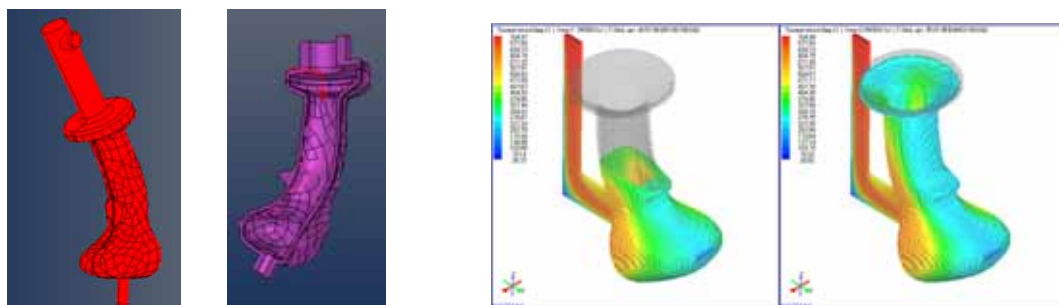
(d) ハンドグリップの鋳造シミュレーションと型設計

鍛造シミュレーションを用いて、設計された PF データに基づき鋳造方案を検討した。主な検討条件と実施内容を以下に示す。

- ・ 中空薄肉鋳造品はシェル中子を用いて成形し、その後中空部に詰め物を入れて鍛造する方案とした。
- ・ 鍛造後の平均肉厚 3.5mm を実現するため、鋳造 PF における平均肉厚は 3mm とした。
- ・ 材質は F21 とした。
- ・ 薄肉に対して鋳込み方案は固定立鋳込とし、せきは肉厚と同じ厚さとして上部にシェル中子の巾木を兼ねた押湯部をつけた。

(e) 結果

作成した 3D モデル及びシミュレーションの主な結果を図 2-3-6 に示す。



(a) 3D モデル (左 : 中子 右 : PF 断面)

(b) 流動解析結果

図 2-3-6 3D モデル及びシミュレーション結果

(f) 考察

シミュレーションの結果、靴先形状の先端付近が低温部になっていたため、押湯を追加した。

(2) 鋳型設計システムによるプリフォーム用鋳型の試作と鋳造実験
前項に基づき実施、設計した鋳型を製作し、試作、評価した。

(a) シリンダブロックの鋳造試作

鋳造品の評価結果を図 2-3-7 に示す。



(a) カラーチェック結果

(b) 蛍光探傷検査結果

図 2-3-7 鋳造試作品

(b) ハンドグリップの鋳造試作

鋳造品及び中子装着状況を図 2-3-8 に示す。



(a) 鋳造試作品

(b) 中子装着状況

図 2-3-8 鋳造試作品及び中子装着状況

(c) 考察

- ・ シリンダブロック鋳造試作品の断面カラーチェック、蛍光探傷検査、成分分析など鋳造品検査は良好な結果が得られた。
- ・ ハンドグリップの試作においては、押し湯部追加効果により肉回り、穴あきが無くなり、形状成形は出来たが、不良率が 10/15 と安定しなかった。尚、不良原因の主な穴あきであった。更なる条件の最適化が課題として残った。

2-3-2-3 技術課題と今後の取組み

技術課題と今後の取組みは以下の通り。

- (a) 試作品については川下企業における評価結果が完了次第対応方法を検討する。
- (b) ハンドグリップは鋳造歩留まり改善のため負圧鋳造を含めて更に薄肉化を実現するために塩中子の強度向上を含めて追加研究する。
- (c) 材質による鋳造欠陥の発生状況を鑑み材料組成の再検討も考慮して対応する。得られた結果をシミュレーション装置に反映して再度評価する。

2-4 鋳造－中空鍛造一貫製造システムの開発

2-4-1 鋳造－中空鍛造における一貫製造システムの開発

2-4-1-1 研究開発の内容と平成 20 年度の目標

前期 6 サブテーマの成果を集結して、アルミニウムを主原料とした合金の精錬と不純物除去、脱ガスなどを自動的に行う溶解炉、酸化防止機能を備えたラドル及び負圧金型で構成される鋳造設備と、再加熱することなく直ぐに中空熱間鍛造を行う鍛造設備による一貫自動化システムについて研究する。

本テーマにおける技術的目標値を以下に示す。

- ・ 鍛造設備の大きさ : 1/2 以下
- ・ 消費エネルギー : 1/2 以下
- ・ 鍛造製品内残留ガス量 : $\leq 0.5\text{ml}/100\text{gAl}$

2-4-1-2 研究成果

鋳造－鍛造複合工法におけるエネルギー削減のため、鋳造から鍛造までの製品加熱工程に着目して実験及び研究を進めた。一貫製造システム構想を図 2-4-1 に、工程間のエネルギーロス低減による削減構想を図 2-4-2 に示す。

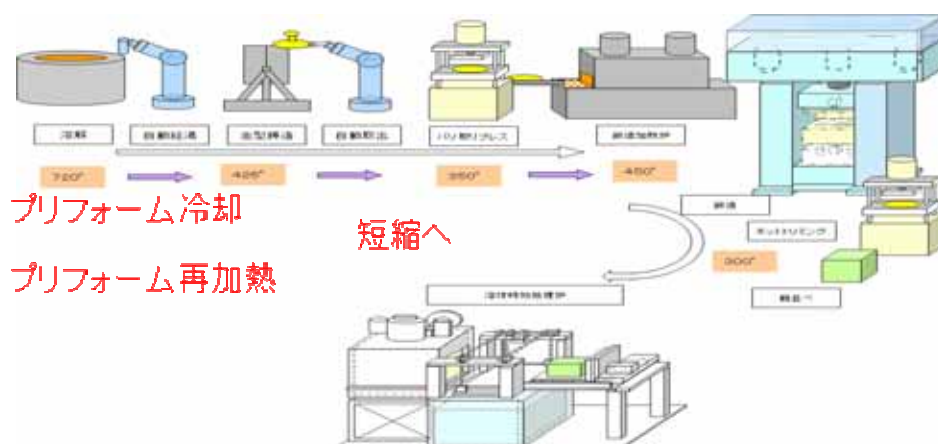


図 2-4-1 一貫製造システム構想

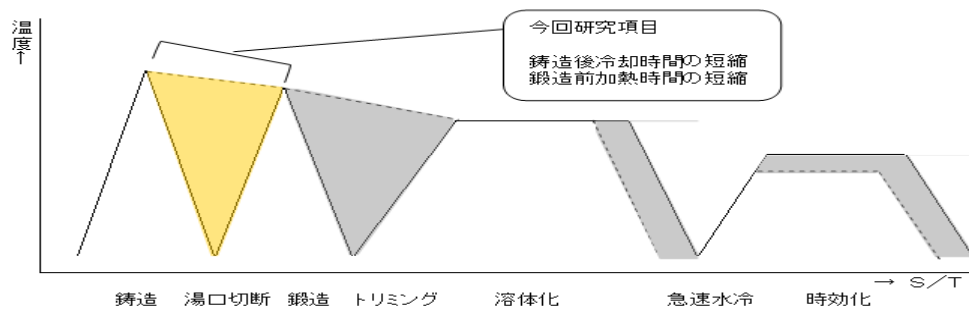


図 2-4-2 エネルギー削減構想

(1) 製品の加熱条件の検討

製造工程である、鋳造ー常温冷却ー湯口カットー450℃加熱ー鍛造に着目してエネルギーロスの低減検討を行った。

(a) 検討方法

現状の鋳造ー鍛造複合工法における、製品の加熱に必要なエネルギー、及び鍛造までの経過時間を計測して、エネルギーロスの無い理想の条件を設定した。

(b) 結果

設定した条件において、加熱に要するエネルギーとしてガス量を計測した結果、図 2-4-3 を得た。

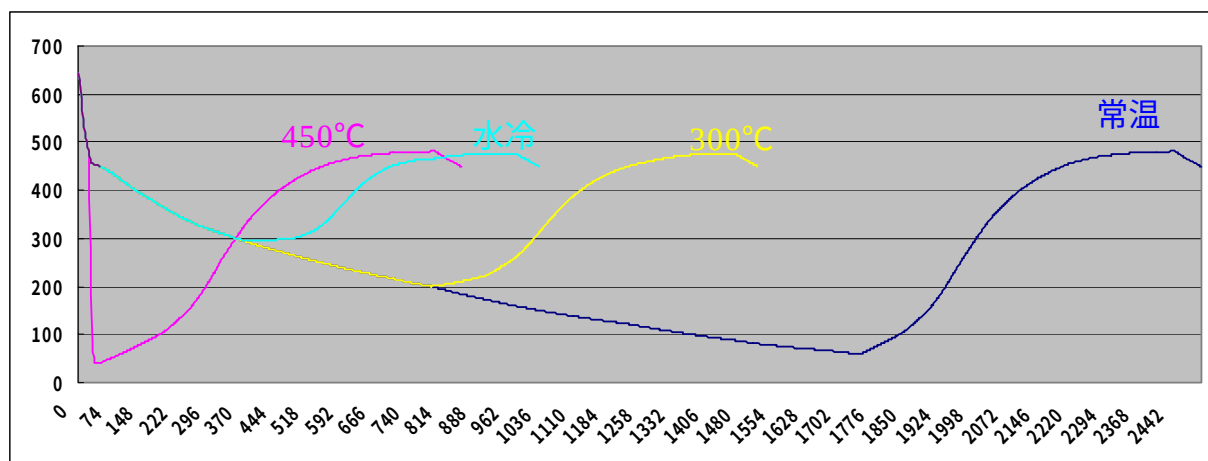


図 2-4-3 プリフォーム 450℃までの経過時間図

(c) 考察

表 2-4-1 及び図 2-4-3 の様に、エネルギー及び経過時間を取ると、鋳造型より取り出したプリフォームを 450℃まで下げて鍛造する事により、鍛造までの加熱を大幅に削減出来ることが示唆された。

(2) 加熱条件における硬度・組織変化の検討

(a) 検討方法

(1) における条件において、加工度を変化させ製造した鍛造試作品が現状工程製品と相違が無いか検証を行った。尚、検証項目は以下の通りとした。

- ① 硬度測定装置 ミットヨ製 HM-221
- ② 組織観察法 フェライト結晶粒切断法
- ③ 材料 F61 (6000 系材料)

(b) 結果

① 硬度測定結果

F61 材（6000 系材料）の各鍛造加工度及び加熱条件における試作品の硬度測定結果を図 2-4-4 に示す。

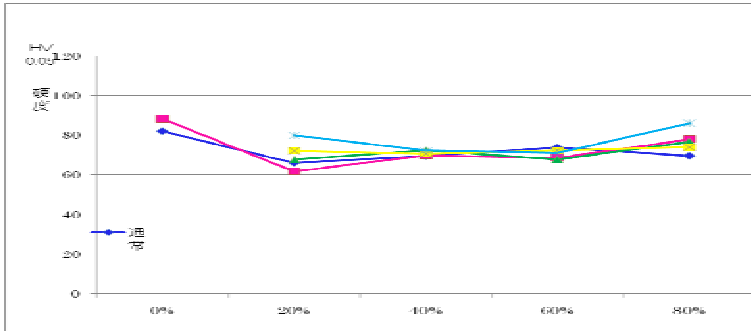


図 2-4-4 F61 材における加工度と硬度の関係 (HV0.05)

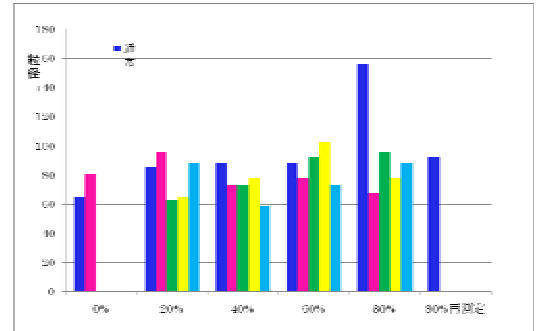


図 2-4-5 加工度と粒径の関係 (F61 材)

② 組織観察結果

F61 材の各鍛造加工度及び加熱条件における試作品の組織観察結果を組織の粒径として図 2-4-5 に示す。

(c) 考察

図 2-4-4、-5 より、F61 では、粒径・硬度における casting から冷却、加熱の条件変更においても現状工程 80%にて吐出した粒径肥大においても、測定場所により異なる。したがって、大きく変化は無いと推測する。F71 材においても差異は無い(図示しない)ことより、casting より取り出し 450℃冷却鍛造する事により鍛造加熱のエネルギーが削減できる可能性が示唆された。

(3) 鍛造設備の大きさ検討

一般の鍛造工程においては、切断されたピレットを数工程かけて鍛造成形を行う為、過大な荷重が必要となる。

本研究においては、ニアネットでプリフォームを作成した後仕上げ鍛造を行う本工法において、必要となる鍛造荷重及び設備を検証した。

(a) 検討方法

排気管を例に取り、ピレット鍛造と本工法における鍛造荷重をシミュレーションにて求めた。

(b) 結果

シミュレーションにより得られた結果を図 2-4-7 に示す。

(c) 考察

図 2-4-6 の通り、シミュレーションにおいては $1,280\text{ton} \times 2$ で $2,560\text{ton}$ と算出された。しかし、casting—鍛造における試作時の鍛造荷重は、 $680\text{ton} \sim 700\text{ton}$ にて成形が可能であった。このことより、本工法における鍛造荷重から想定できる鍛造設備は、通常工法に比較して約 $1/4$ に縮小できる可能性が示唆された。

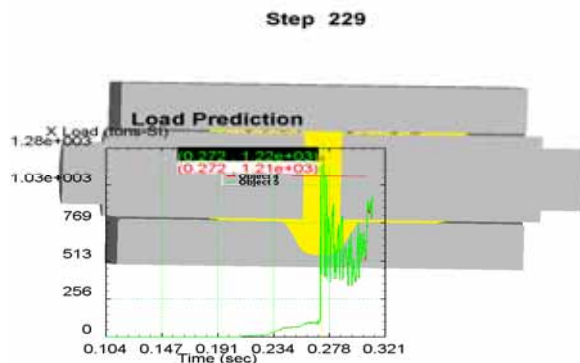


図 2-4-6 鍛造荷重のシミュレーション結果

(4) 鍛造製品内残量ガス量の検討

鍛造後の製品内に残留するガス量を計測して、製品の信頼性評価を行った。

(a) 評価方法

平成 21 年度に導入したガス量測定装置（(株)共立製）にて、鍛造後の試作品内に残留するガス量並びにガスの成分分析を行った。尚、評価の前処理として試作品を IPA にて 15 分超音波洗浄を行った後、計測とした。

(b) 測定結果

全ガス量の計測結果を表 2-4-1 に示す。

表 2-4-1 鍛造試作品内の全ガス量（バルブボディ）

試料 No.	試料名	質量(g)	全ガス量	ブランク値	放出ガス量		100g 当	測定条件		
			検量値 (kPa)	検量値 (kPa)	検量値		ガス量 (cm ³)	槽内 (℃)	測定 (min)	ルツボ No.
					A-B (kPa)	Y (cm ³)				
4	バルブボディ (洗浄有り)	123.11	0.0057	0.0022	0.0035	0.52	0.42	700	30	L-2
5	バルブボディ (洗浄有り)	123.06	0.0071	0.0022	0.0049	0.72	0.59	700	30	L-1
6	バルブボディ (洗浄有り)	122.84	0.0067	0.0022	0.0045	0.67	0.54	700	30	L-2

(c) 考察

全ガス量の測定結果から、測定値にはばらつきがあるものの、ほぼ目標値の 0.5ml/100gAl を得た。また、収集したガスにおける成分分析結果によると、100%水素ガスであったことより、鑄造時に空気の巻き込みが殆ど無かったことが推定できる。

以上の結果から溶湯品質、鑄造、鍛造の各工程全てにおいて信頼性の高い工程であり、得られた製品が高品質であったことが証明された。

(5) 鑄造－中空鍛造－貫製造システム構築

それぞれの鍛造設備 1/2、エネルギー1/2 を実現するラインとして、構想図に基づく機械設備を、図 2-4-7 の通り設置して鑄造－鍛造実証ラインを構築した。

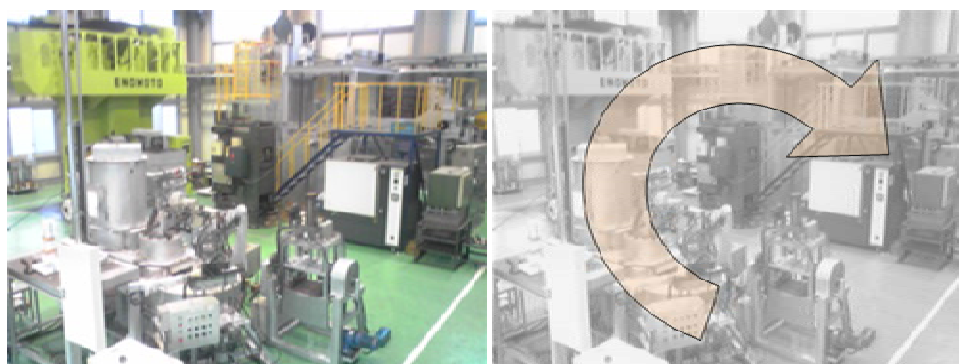


図 2-4-7 鑄造－鍛造実証ライン

2-4-1-3 技術課題と今後の取組み

実現された鑄造－中空鍛造－貫ラインの実際の量産化使用を実現する為の技術課題と今後の取組みは以下の通り。

(a) 更なる薄肉化の製造条件の確立

(b) 鑄造後の熱間セキきり方案の検討

第3章 全体総括

(1) 複数年の研究開発成果の概要

本研究開発事業においては、基礎要素技術開発として「鑄造－中空鍛造用新素材の開発」「複雑形状の中空鍛造技術の開発」「無欠陥鑄造技術の開発」の3つのサブテーマを設定するとともに、これらの要素技術を融合した「鑄造－中空鍛造一貫製造システムの開発」の計4つのサブテーマにグループ化して研究開発を実施してきた。

新素材開発においては、新アルミ合金として2000系、6000系、7000系のそれぞれに対して研究した結果、7000系において目標強度の達成に至らなかったものの2000系、6000系については目標達成し高強度材料の開発が実現できた。また、高強度・低摩擦係数化材料として取り組んだCNT、SiC等複合材料の開発においては、目標強度の達成には至らなかったものの、低摩擦係数化においては目標の5倍近い達成が得られた。

鍛造技術開発においては、鍛造シミュレーションシステムを導入したことにより、設計段階で加工可否、荷重や欠陥の推定が出来るようになった。更に新素材開発結果を本システムに反映することでより効果的な解析が可能となり、本サブテーマにおける課題解決に大きく貢献した。また、中空鍛造を実現する為の中空鍛造装置や、中空鍛造装置用ダイクッション等の装置開発にも取り組んできた。その結果、目標値には達しなかったものの従来成し得なかった薄肉形状部品の鍛造や、心金鍛造等の加工工法が可能となり、実用化に向けた技術の向上に大きく寄与した。

鑄造技術開発においては、無欠陥鑄造品を得る為の鑄造技術開発に加え、溶解炉や、鑄造機、更に注湯機等の装置開発にも取り組んできた。その結果、鑄造品質における目標の不純物介在度や、溶湯内残留ガス量、鑄造品内残留ガス量共目標を達成することが出来た。また、鑄造方案や、鑄造用鑄型の設計に向け、鑄造シミュレーションシステムを導入し解析する事により、事前検討が可能となるとともに、新素材開発結果を本システムに反映することでより効果的な解析が可能となり、本サブテーマにおける課題解決に大きく貢献した。

一貫製造システム開発においては、上記3つのサブテーマのみの工法研究では実用化は困難であるため、個々に研究開発した成果を融合するとともに、アルミ合金に必須となる熱処理にもスポットを当てて取り組んだ。更にそれらを連結することにより本複合工法の実証ラインとしてシステムを構築した。その結果、鑄造－鍛造複合工法における最大の課題である内部欠陥の極小化目標を、製品内残留ガス量として概ね達成することが出来た。

何れの課題においても達成状況に差があるものの、川下ニーズ全てにおいて具現化することが出来、更に評価用サンプル出荷も実現して近い将来の実用化に向け大きく前進することが出来た。また、多くの新たな知見が得られ、知的財産権においても出願することが出来、今後の実用化に向けた技術的基盤構築にも大きく貢献できた。

(2) 研究開発後の課題・事業化展開等

研究開発終了後は、本事業期間内に残された課題解決のために「補完研究開発推進委員会」(仮称)を設立し、3年間の共同研究を実施するとともに、本研究開発事業で培ってきた技術の早期実用化を目指す。

本事業におけるアウトプット目標は、川下ニーズ実現の為の新たな工法における製品提供であったが、当該ニーズ以外にも適用が可能である。今後研究成果の外部への公表等により新たに発生してきたニーズに対しても適用の可能性を検討する。また研究開発の成果には装置開発も実施してきた。製品の提供にとどまらず装置産業も視野に入れた事業化展開を目指す。