

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「鍛造でのインプラント作製方法の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 近畿経済産業局

委託先 株式会社タイショーテクノ

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
- 1-2 研究体制
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論：鍛造でのインプラント作製方法の開発

- 2-1 鍛造の為の条件決定
 - 2-1-1 試作サンプル形状の決定
 - 2-1-2 素材条件の決定
- 2-2 工程設計・金型設計・設備設計
 - 2-2-1 工程設計
 - 2-2-2 金型設計
 - 2-2-3 加熱装置の設計
- 2-3 金型の製作
 - 2-3-1 金型パーツの製作
 - 2-3-2 金型パーツの仕上がりの評価
 - 2-3-3 金型の組み付け・微調整
- 2-4 試作・データ収集
 - 2-4-1 ボーンプレートL 冷間鍛造
 - 2-4-2 ボーンプレートS 冷間鍛造
 - 2-4-3 ステム（板材） 冷間鍛造
 - 2-4-4 ステム（棒材） 冷間鍛造
 - 2-4-5 条件変更による加工性の検討
- 2-5 製品の評価・分析

第3章 全体総括

- 3-1 まとめと今後の展望（アドバイザーコメント）
- 3-2 おわりに

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究の必要性、社会的背景

現在、インプラントの約9割が欧米からの輸入品であるため、欧米人とは骨格的に異なる日本人にとって適合しているとはいえない形状をそのまま使用していることが多く見られる。また輸入品であるため価格も非常に高価である。

日本国内において加工しようという動きはあるが、生体適合性が高いためインプラントで多く用いられているチタンは、非常に加工がしにくい材料であるため現在は切削加工で作られており、材料歩留まり向上・コスト削減の観点から鍛造加工方法の確立が急務となっているが、現在では加工技術が確立していない。

特にチタンの冷間鍛造については取組み実績やデータがほとんどないが、他の材料・一般産業向け部品の分野では日本の冷間鍛造加工技術は高い水準にあると言われており、その技術を医療分野においても適応すべく、早期の取り組みが望まれている。

(2) 研究の目的

現在多くを輸入に頼っている外科用インプラントを日本国内で生産し、日本人・アジア人に適合するものを、より安価に製造でき、製品品質が安定する加工技術を確立する。

また、インプラントは長期にわたり体内にて使用されるものであるためその強度が重要であり、強度アップに繋がるような加工方法が求められている。

	加工方法	材料歩留	製品強度	加工難易度
従来技術	切削加工	非常に悪い 30%	100%	非常に低い 100%
	熱間鍛造+切削加工	悪い 35%	100%	低い 120%
本技術	恒温鍛造+切削加工	よい 40%	105%	高い 150%
	冷間鍛造+切削加工	非常によい 50%	108%	非常に高い 200%
	精密冷間鍛造	非常によい 60%	110%	非常に高い 300%

現在インプラントの多くに純チタンまたはチタン合金が用いられている。生体親和性や価格の点からは純チタンの方が望ましいのだが、強度が低いために、強度が必要な部分についてはチタン合金が使用されている。冷間鍛造加工することで純チタンの加工硬度を上げることができれば、

	純チタン	チタン合金
生体親和性	○	△
材料価格	○	△
強度	△	○
加工コスト	△	×

現在はチタン合金を使用している部分にも純チタンを使用できる可能性があり、材料コスト・加工コストの削減によるインプラントの価格低減に資すると考えている。

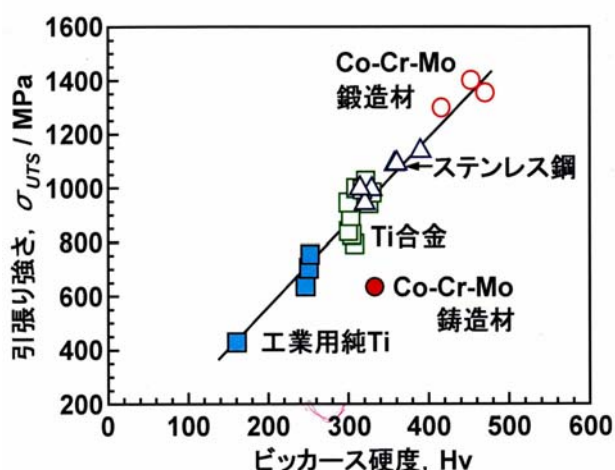
(3) 研究の目標（初年度において）

- i 純チタン 2 種の冷間鍛造加工で割れが発生しないかを確認する
- ii 純チタン 2 種の冷間鍛造加工で組織の状態は問題ないかを確認する

現在、純チタン 2 種の冷間域での鍛造の取り組みに関するデータがないので、まず形状的・材質的に比較的加工しやすいと思われる条件を検討し、そのサンプルの加工を通じて冷間鍛造にて現行品と同等もしくは類似の形状が加工できることを目指す。（外観検査・組織検査において異常がないかをもって、鍛造加工の可否を判断する。）

- iii 純チタン 2 種の冷間鍛造加工でどの程度の加工硬化が得られるか（目標 HV250～300）

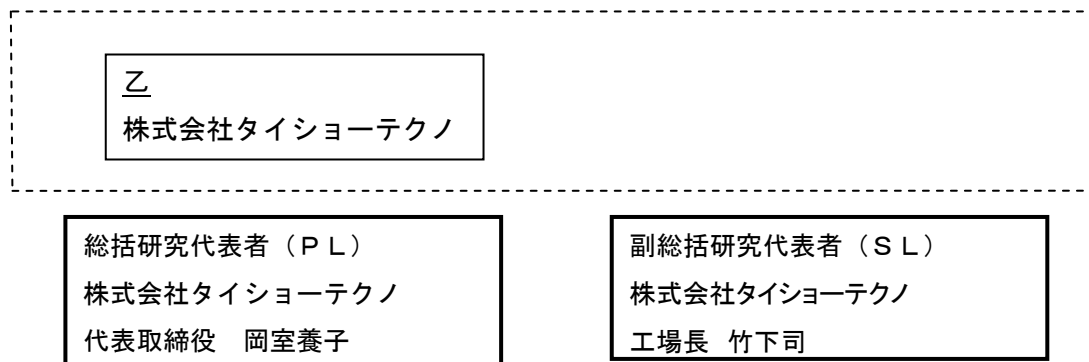
冷間鍛造での加工硬化により、現在の加工法・加工技術では製品としての強度が不足するため使えていない材質が（生体適合性の観点からは純チタンの使用が望ましいが、強度面からチタン合金が使用させている例が多くある）、加工硬化による強度増により使用可能になるのではないかとこの視点から冷間鍛造品の強度評価を行う。



1－2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

①事業管理者 株式会社タイショーテクノ

(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 株式会社タイショーテクノ

①管理員

氏 名	所属・役職	管理主担当
岡室養子	代表取締役	全般
岡室吉美	取締役	管理担当
竹下司	工場長	技術担当

②研究員

氏 名	所属・役職	主研究事項
岡室養子（再）	代表取締役	I ①②④⑤ II ①②④⑤
岡室吉美（再）	取締役	I ④⑤ II ④⑤
竹下司（再）	工場長	I ①②④⑤ II ①②④⑤ I ④ II ④
榎本好秀	製造課 課長	I ②③④ II ②③④
木下正次	品質保証課 課長	I ④⑤ II ④⑤
永松広行	製造課 係長	I ②③④ II ②③④
菅生屋智仁	製造課 鍛造担当	I ④ II ④
中村直樹	製造課 型工作担当	I ③ II ③
奥野潤一	製造課 型工作担当	I ③ II ③

畑井幹男	製造課 マシニング担当	I ③④ II ③④
大城圭司	製造課 マシニング担当	I ③④ II ③④
池辺正弘	製造課 管理担当	I ②④ II ②④

(3) その他指導協力者

- ・本プロジェクト全体のアドバイザー：

独立行政法人産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門 高機能生体材料グループ
主任研究員 工学博士 岡崎 義光氏

- ・鍛造加工技術面でのアドバイザー：

大阪府立産業技術総合研究所 機械金属部 加工成形系 主任研究員 工学博士
白川 信彦氏

1-3 成果概要

- i 純チタン 2 種冷間鍛造加工では割れば発生しないか

⇒割れは発生しなかった。

今回は金型のコーナーRの設定・表面仕上げ等、種々の精密冷間鍛造で培われた細かな技術的配慮が成果に結びついた。

- ii 純チタン 2 種の冷間鍛造加工で組織の状態は問題ないか

⇒組織は微細化し、内部にも割れはない。(チタンの場合はミクロ観察で割れがなければ、マイクロクラックの心配はない)

今後は多くの事例と各部門の専門家の指導のもとにより要綱な組織の実現を目指す。

- iii 純チタン 2 種の冷間鍛造加工でどの程度の加工硬化が得られるか (目標 HV250~300)

⇒箇所によっては目標硬度に達していた。(金型と製品の密着性の良い箇所、加圧が強くかかった箇所)

投入材料の形状・表面潤滑処理・温度・プレスモーション等の研究開発により、冷間鍛造で加工硬化が得られることを確信した。

本研究は、難加工材であるチタンを鍛造しかも冷間で加工することを目的とし、今回のテーマ形状である整形インプラントの代表的なものの中から、形状(形状による加工難易度)の異なる3種のサンプル形状を決定し、それらを実際に加工してみた。

第一段階として製品に割れ等の欠陥が発生しないことを目標とし、金型の形状や加工時の押え込み等により純チタンを加工する際の問題点・注意点を明らかにした。結果として、難易度の違ういずれの形状においても顕著な割れ等はなく、ミクロ組織の観察においても組織が微細化されていることが確認できた。これにより、純チタンも冷間鍛造加工が可能であり、今後の研究において金型寿命の向上等に取り組むことで実用に寄与することができるのではないかとこの事が

わかったと言える。

また、生体インプラントにおいては、生体適合性という観点から考えるとやはり合金よりも不純物のない純チタンの方が好ましいのだが、大きな力のかかる部位については純チタンでは強度的に問題があるため、現在は合金（Ti 6 Al4 合金など）が多く利用されている。そこで、冷間鍛造の特色である加工硬化により純チタン 2 種でもチタン合金やより強度の高い純チタン 3 種・4 種並みの強度が得られるのではないかという仮説のもと、鍛造加工での荷重と鍛造品の硬度を測定することで、チタンにおける加工硬化を検証した。それによると、加工ストレスの大きい所では、今回使用された HV140 の材料が、生体インプラントに適するとされる HV250～300 のレベル（純チタン 4 種からチタン合金に近い）まで硬度が上がっており、その部分においても表面の割れや組織の割れは認められなかった。これにより、望む硬度が得られるように加工硬化の程度を工程設計の際に考慮することで純チタンの強度をあげ、純チタンを使用できる生体インプラントの幅が広がるのではないかと思われた。ただし加工硬化が大きいという事はそれだけ金型への負荷も大きくなるので、今後は金型寿命を上げる為の研究が必要である。

今回は表面潤滑条件やサーボプレスでのスピードコントロール等、様々な条件下での研究のほんの一部をしたに止まったが、冷間鍛造という量産のための技術がチタンにおいても広まるためには、やはり金型寿命の向上が必要不可欠であり、その為の金型設計や素材の熱処理・表面潤滑処理、加工時の条件コントロール等、研究すべき課題が明確になった。

研究の評価という点においては、今回は研究期間が短く、加工品のインプラントとしての品質評価が出来なかった。生体を模した環境下での強度試験等を行い現行の製品を比較することで、純チタン冷間鍛造品の生体インプラントとしての品質に問題がないことを確認し、さらに強度増等の何らかの付加価値をつけることで、冷間鍛造インプラント品の事業化への足がかりを確認し、次へ繋げたいと考えている。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

管理者：株式会社タイショーテクノ

担当：岡室吉美

住所：大阪府和泉市テクノステージ1丁目5番2号

電話：0725-53-5580 FAX：0725-53-5570

メール：info@taishotechno.co.jp

第2章 本論 鍛造でのインプラント作製方法の開発

当初、加工難易度が冷間鍛造ほどは高くないと言われている恒温鍛造をまず行い、その後より加工難易度が高いとされている冷間鍛造を行うという予定であったが、時間的制約があり、その中で「インプラントに最適な硬度 HV250～300 を加工硬化により得られないかということ検証する」という今回の目的を鑑みた結果、温度の違いによる別途の検討は行わないことにした（同一形状の製品を同じ金型を使用する）。あくまで冷間加工域を中心として試作し、その中で加工時に金型とワークの温度を 200℃ 上限とする低温で加熱したものと完全冷間鍛造加工によるものとの加工性や製品性質の違いを検証するという形で進めることとした。

2-1 鍛造の為の条件決定

2-1-1 試作サンプル形状の決定

現在使用されている整形インプラントは、大きく分けて骨接合用品と人工関節に分けられる。（図 2-1-1-1）細かな形状の違いを入れると骨接合用品のプレートだけでも 2000 種類を超えるとも言われているが、その代表的なものを借用しプラスチック成型にてモデリングした後、製品の形状の特性を整理し加工難易度を推定し、サンプル形状を決定した。（図 2-1-1-2）

本ワークモデルは、現行流通している製品のデザインをもとに、機能特性等に影響しない様配慮しながらわずかに寸法を変更し設計をしている。（現行品と完全な同形状ではない）

図 2-1-1-1 インプラントの種類



図 2-1-1-2 整形インプラントモデル



加工方法に適すると思われるボーンプレート 2 種類と人工股関節ステム 1 種類を選定した。これらの形状は冷間鍛造加工により加工硬化が期待でき、金型の形状転写の特性が生かされそうであるという事が選定の理由である。ステムについては他の 2 種類に比較し大きいので 1/2 にし、3 種類を同機械にて加工することにより比較し易くした。

①プレート L： 厚みが薄く、中穴が多数あり穴間の間隔が狭く凸凹形状がある。

（図 2-1-1-3・図 2-1-1-6）

- ②プレート S： 厚みがやや厚く、①に比べて中穴数が少なく中穴間隔があるが、やや複雑な凸凹形状がある。(図 2-1-1-4・図 2-1-1-7)
- ③ステム ： 厚みがあり、ボリュームがアンバランスで一方縦割りが左右対称で他方向縦割りと横割では左右非対称で偏心荷重がかかる。三次元形状の箇所があり、微細突起形状があるという複雑形状品。(図 2-1-1-5・図 2-1-1-8)

図 2-1-1-3



ボーンプレート L

図 2-1-1-4



ボーンプレート S

図 2-1-1-5



ステム

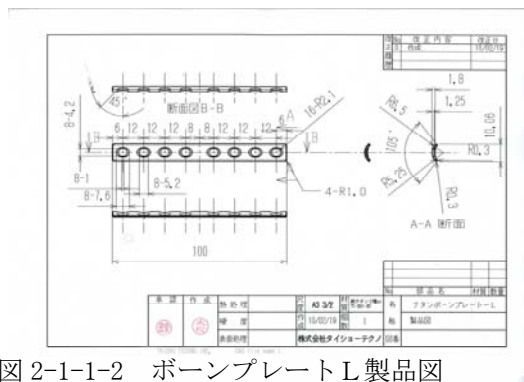


図 2-1-1-2 ボーンプレート L 製品図

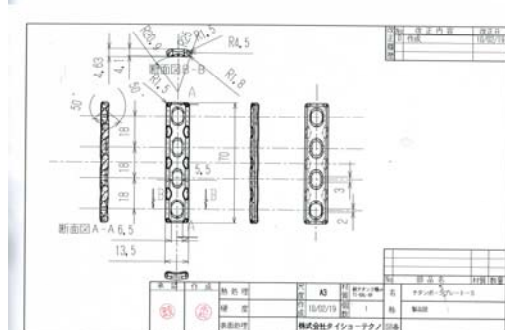


図 2-1-1-3 ボーンプレート S 製品図

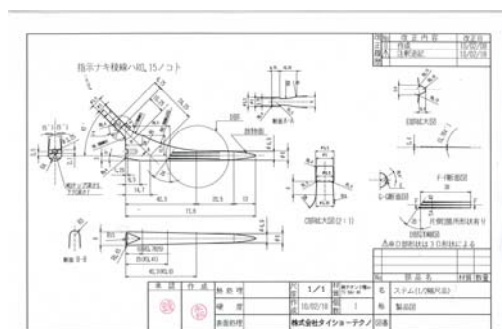


図 2-1-1-4 ステム製品図

形状決定に際しては、アドバイザーの岡崎氏に今後の社会的な動向についてのヒアリングも行った。「高齢化社会の進行とともに整形インプラントの需要は増加しており、今後さらに増加し続けることが予想される。これからは出来るだけ自分の骨を残すような方向に進むため、ボーンプレートに代表されるような骨接合用品の需要が特に増えるであろう」とのコメントが得られた。

2-1-2 素材条件の決定

(1) チタン材の種類

現在日本で使用されているチタンの9割は工業用純チタン（CP チタン）であり、その中で化学成分、機械的性質により4種類に分類され、用途により使い分けられている。その中で純チタン2種は加工性と強度のバランスがよく、最も多く使われているので入手しやすい材料である。

純チタンにAl、V、Cr、Mo、Sn等の合金元素を加え、強度等の特性を改善・向上したものがチタン合金で、高強度材料を目的として多くのチタン合金が開発されている。その中で最も多く使用されているチタン合金はTi-6Al-4V合金（6-4合金）である。（図2-1-2-1）

また外科用インプラントの材料のJIS規格を、表2-1-2-1に示す。純チタンに加え、Ti-6Al-4V合金をはじめとする数種のチタン合金が現在認められている。図2-1-2-2にて金属の細胞適合性と耐食性（分極抵抗）の関係を示す。Tiは無害であり、生体適合性の観点からは純チタン（JIS T 7401-1）が望ましいが、人体を支えるような部位にはより強度なTi-6Al-4V合金が主に使われている。しかしバナジウムは細胞毒性が指摘され、それが溶け出すことによる生体へのリスクが問題となっている。

図2-1-2-1 チタンの種類（（社）日本チタン協会 チタンの市場開発スタッフ養成講座テキスト）

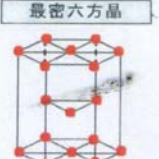
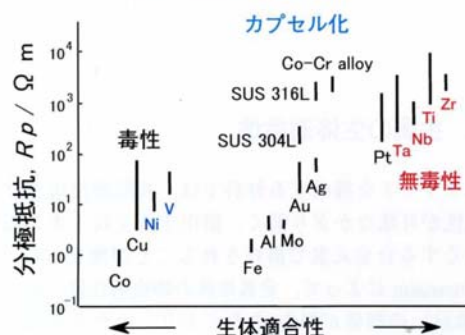
α安定化元素 Ti β安定化元素 Al, O, N, C Sn, Zr V, Mo, Fe, Cr, Nb				
α	Near α	α-β	Near β	β
CPTi Ti-5Al-2.5Sn	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo (=6-2-4-2) Ti-8Al-1Mo-1V	Ti-3Al-2.5V (=Half Alloy) Ti-6Al-4V (=6-4) Ti-6Al-6V-2Sn Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo Ti-8Mn Ti-4.5V-3Al-2Fe-2Mo (=SP700)	Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr (Ti-17) Ti-10V-2Fe-3Al	Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn (=15-3) Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn (=β III) Ti-15Mo-5Zr-3Al Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr (=β-c) Ti-22V-4Al (=DAT51) Ti-20V-4Al-1Sn (=SAT2041CF)
 最密六方晶 比重 ヤング率 熱処理感受性 破壊靱性 塑性加工 クリープ強度 溶接性 大 大 大 大 大 大  体心立方晶				

表2-1-2-1 外科インプラント用チタン材料

JIS T 7401-1 第1部チタン
JIS T 7401-2 第2部 Ti-6Al-4V
JIS T 7401-3 第3部 Ti-6Al-2Nb-1Ta
JIS T 7401-4 第4部 Ti-15Zr-4Nb-4Ta
JIS T 7401-5 第5部 Ti-6Al-7Nb
JIS T 7401-6 第6部 Ti-15Mo-5Zr-3Al

図2-1-2-2 金属の材棒適合性と耐食性

（岡崎義光：金属系生体材料の開発動向（2004））



以上の状況を踏まえ、現在医療用に使用されている材料、将来的に望まれる材料、今回の短期間の間に入手可能な材料、という観点から、純チタン 2 種（板材・丸棒材）、Ti-6Al-4V 合金（板材がないので丸棒のみ）を使用することに決定した。（しかしこの 2 種類でさえ希望寸法公差を満足できる材料の入手は出来なかったが、希望する寸法・公差に近い材料を入手した。）

冷間鍛造加工することで、加工硬化により純チタンの強度が上がることを検証することを主目的とし、Ti-6Al-4V 合金は比較のために使用する。

（２）材料の表面潤滑処理

一般的に冷間鍛造では被加工材に潤滑処理を行い金型は潤滑しない。（熱間鍛造では金型にのみ潤滑を行う。）

表面潤滑処理の主な目的には以下のようなものが挙げられる。

- ①鍛造における材料の流れを安定させる
- ②素材と金型の間の摩擦を低下させ成型荷重を低減する
- ③素材と金型の間に介在することにより素材の型への焼き付きを防ぎ、製品表面の悪化を防ぐ

このように、製品品質の向上・金型寿命の向上に大きく影響し、冷間鍛造においては重要なファクターである。

チタン加工用表面潤滑剤の種類としては一般に、二硫化モリブデン、グラファイト、黒鉛、ビニールシート、ポリエチレンシートがよいとされている。鉄系材・アルミニウム系材・銅系材等を加工する際の表面潤滑剤も含め、材料の伸びと金型への影響を評価し、今回のチタン材の表面潤滑剤として検討した。（表 2-1-2-2）

表 2-1-2-2 表面潤滑剤の比較

	二硫化モリブデン	グラファイト	黒鉛	ソーダ石鹼	混合油Ⅰ	混合油Ⅱ
材料の伸び	○	○	△	△	△	×
金型への影響	○	○	×	×	△	×
環境への影響	△	△	×	△	○	○
経済性	×	×	△	△	○	×
取扱い易さ	○	×	×	△	○	○

そのうち今回は材料の伸びも金型への影響もよいと思われ、取扱いも容易な、二硫化モリブデンのスプレーと、環境への負荷が少なく価格が安い混合油Ⅰ、Ⅱを用いて、潤滑の有無や種類の違いが与える加工上の影響の違いを確認することとした。

（３）材料の熱処理

熱処理については純チタン 2 種と Ti-6Al-4V 合金のそれぞれについて、図のような条件で

- ③表面潤滑処理：二硫化モリブデン
- ④冷間鍛造加工：曲面凹を上型側とし曲面と中穴をピアッシング可能な厚さまで冷間鍛造加工し、余肉は外周パーティングラインにバリとして出す。
- ⑤トリム：バリをトリミングする。
- ⑥ピース：中穴部をピアッシングする。
- ⑦マシニング加工：製品形状は冷間鍛造加工仕上げのままとし、トリム部の仕上げ加工と中穴形状のピアッシング部の仕上げ加工を行う。（ただし、今回は⑥を省略し、マシニングにて対応する）

（２） ボーンプレート S 工程設計

ボーンプレート S は L に比べると厚肉で、中穴の間隔は広いが表裏に形状が入っておりやや複雑である。

板材 → 切断（→ 焼なまし）→ 表面潤滑 → 鍛造①（成形）→ トリム → マシニング
 丸棒材 → 切断 → 焼なまし → 表面潤滑 → 鍛造（据込）→ 焼なまし → 表面潤滑
 → 鍛造①（成型） → トリム → マシニング

I 板材

- ①切断：素材（純チタン 2 種板焼鈍材）をシャーにて必要寸法に切断する。
- ②焼なまし処理：前述の純チタン用の条件で焼なまし処理を行う。
- ③表面潤滑処理：二硫化モリブデンまたは混合油
- ④冷間鍛造加工：曲面凸凹面を上型側とし中穴をピアッシング可能な厚さまで冷間鍛造加工し、余肉は外周パーティングラインにバリとして出す。
- ⑤トリム：バリをトリミングする。
- ⑥ピース：中穴部をピアッシングする。
- ⑦マシニング加工：製品形状は冷間鍛造加工仕上げのままとし、トリミング部の仕上げ加工と中穴形状のピアッシング部の仕上げ加工を行う。（ただし、今回は⑤⑥を省略し、マシニングにて対応する）

II 丸棒材

- ①切断：素材（純チタン 2 種丸棒焼鈍材、Ti-6Al-4V 合金丸棒焼鈍材）を必要寸法にノコにて切断する。
- ②焼なまし処理：前述の純チタンと Ti-6Al-4V 合金のそれぞれの条件で焼なまし処理する。
- ③表面潤滑処理：二硫化モリブデンまたは混合油
- ④冷間鍛造加工（据込）：加工投入時のワークの置き位置安定のために上下に平坦な部分を作っておく。
- ⑤焼なまし処理：前述の Ti-6Al-4V 合金の条件で焼なまし処理する。
- ⑥表面潤滑処理：二硫化モリブデンまたは混合油

⑦冷間鍛造加工（成型）：

⑧トリム：外周に余肉を出しトリミングする。

⑨ピアス：中穴部をピアッシングする。

⑩マシニング加工：製品形状は冷間鍛造加工仕上げのままとし、トリミング部の仕上げ加工と中穴形状のピアッシング部の仕上げ加工を行う。（ただし、今回は⑧⑨を省略し、マシニングにて対応する）

（３） ステム（ハーフ） 工程設計

ステムは形状的に両端のボリュームが極端に違い、三次元形状の箇所や微細なライン形状など、複雑形状をしている。板材からと丸棒材からで工程設計が異なる。

板材 → 切断（→ワイヤーカット）→焼なまし → 表面潤滑 → 鍛造①（成型） → トリム → マシニング
丸棒材 → 切断 → 焼なまし → 表面潤滑 → 鍛造（据込）→ 焼なまし → 表面潤滑 → 鍛造①（成型） → トリム → マシニング

I 板材

- ①ノコ切断：素材（純チタン 2 種板焼鈍し材板材の焼鈍し材）を必要寸法に切断する。
- ②ワイヤーカット：素材をステムの形状にワイヤーカットする。（量産時はプレスで型抜する）
- ③焼なまし処理：前述の純チタン用の条件で焼なまし処理を行う。
- ④表面潤滑処理：二硫化モリブデンまたは混合油
- ⑤冷間鍛造加工：製品サイド中央に上下のパーティングラインをレイアウトし、上下よりバリを出す。
- ⑥トリム：バリをトリミングする。
- ⑦マシニング加工：製品形状は冷間鍛造加工仕上げのままとし、トリミング部の仕上げ加工を行う。

II 丸棒材

- ①ノコ切断：素材（純チタン 2 種丸棒焼鈍材、Ti-6Al-4V 合金丸棒焼鈍材）を必要寸法に切断する。
- ②焼なまし処理：前述の純チタンと Ti-6Al-4V 合金のそれぞれの条件で焼なまし処理する。
- ③表面潤滑処理：二硫化モリブデンまたは混合油
- ④冷間鍛造加工（据込）：加工投入時のワークの置き位置安定のために上下に平坦な部分を作っておく。
- ⑤焼なまし処理：前述の純チタンと Ti-6Al-4V 合金のそれぞれの条件で焼なまし処理する。
- ⑥表面潤滑処理：二硫化モリブデンまたは混合油

- ⑦冷間鍛造加工（成型）：製品サイド中央に上下のパーティングラインをレイアウトし、上下よりバリを出す。（形状を完成させ、余肉を大きくバリとして出させ、割れの有無を確認する。）
- ⑧トリム：外周に余肉を出しトリミングする。
- ⑨マシニング加工：製品形状は冷間鍛造加工仕上げのままとし、トリミング部の仕上げ加工を行う。

2-2-2 金型設計

金型設計時の手順は以下のとおりである。

- (1) 使用機械の決定 (2) 金型組図の作成 (3) 金型各パーツ図の作成
(4) 各金型パーツの加工手順の決定

- (1) 使用機械の決定：金型の設計を行うにあたりまず使用機械を決定する。

今回は試作サンプルの形状から最大必要荷重を予測し、それに基づいて以下のように使用機械を決定した。

冷間鍛造： 冷間鍛造プレス アイダ KI2500E (2506 号機)

ダイレクトサーボフォーマー ハイフレックスプレス アイダ NS-1100(D) (1102 号機)

トリムピース：ダイレクトサーボフォーマー ハイフレックスプレス アイダ NS-1100(D) (1102 号機)

トルクバックプレス アマダ TP80EX (801 号機)

☆複数のプレスで使用できるように共用可能な金型設計をする。

- (2) 金型組図の作成：使用機械の構造に合わせて、金型の組図を作成する。(図 2-2-2-1)

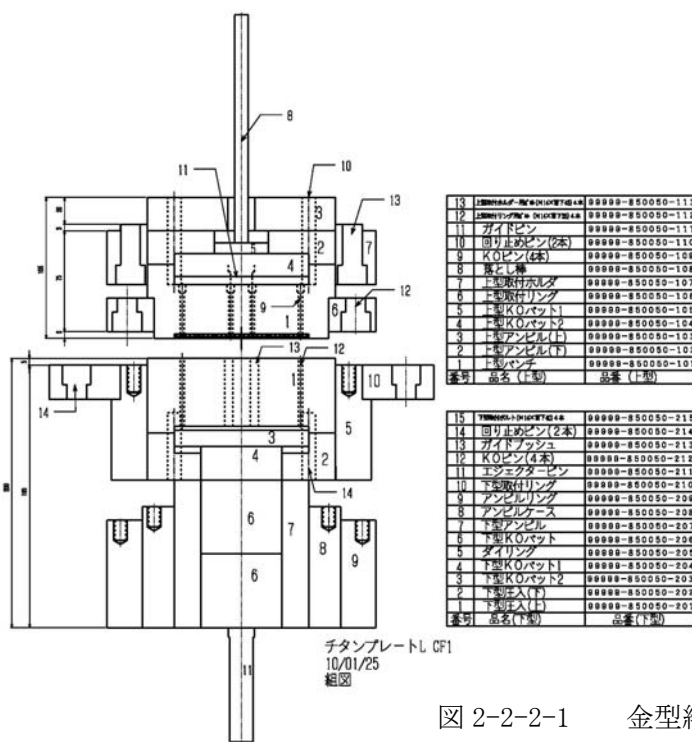


図 2-2-2-1 金型組図 (例)

純チタンの冷間鍛造加工時の参考文献が少なく見当たらないため、純チタン 2 種の熱間鍛造加工・板金加工・曲げ加工・深絞り加工のデータや、ステンレス・アルミニウム・SCM435 高炭素クロム軸受鋼等の他材質での冷間鍛造加工時のデータを参考にし、各条件を予測して金型設計を行った。純チタンはステンレス鋼やアルミニウムなどと同じように自由に成型加工できるが、他の金属材料には見られない特異な問題があるため、純チタン加工用の金型パーツの設計時には、以下の点に注意した。

i) 張り出し性や曲げ性にやや難点がある。

→ポンチやプレス金型の肩部の割れの発生を予測し、肩部のコーナーR を出来るだけ大きくするよう配慮する。

ii.) スプリングバックが大きい

→あらかじめ所定の形状以上の変形（過剰変形）を与えておく。ダイスのクリアランスや加工時の下死点停止等を取り入れ、素材をダイスに密着させるまで圧下することができるように考慮する。

②各パーツの材質の決定

冷間鍛造用金型の材料選定においては、SCM435 や高炭素クロム軸受鋼の冷間鍛造加工時の金型材料を基本として選定した。

③各パーツの加工工程の決定

一製品一工程の金型パーツは上下で約 20 点にものぼるため、部位や材質によって異なるが、代表的なものとしては以下のような流れとなる。

材料購入 → 粗～仕上げ形状加工 → 焼入れ → 焼き歪取り → 仕上げラッピング

2-2-3 加熱装置の設計

冷間鍛造の加工硬化により高硬度 HV250～300 を目標とするという今回の目標から、冷間鍛造加工時加工熱の範囲としあまり温度を上げずにあくまで冷間域での加工とし、ワーク・金型の温度の上限を 200℃とする加熱機を、ワーク加熱用と金型加熱用とに分けて設計した。

(1) ワーク加熱機 (図 2-3-3-1)

今回の試作用ワークの大きさに合わせて小型の加熱機とした。装置の上下にそれぞれ電熱源と熱伝動用の専用治具を組み込み、その治具と接触することでワークの温度を上げる。温度は 200℃上限でサーモスタットが 1℃単位でデジタルにより設定できる。

(2) 金型加熱機 (図 2-2-3-2)

金型加熱機はワークの放熱を和らげる事を目的とする。上

図 2-2-3-1 ワーク加熱装置



下金型の加工部分を集中して加熱でき、金型全体を加熱しないようにするために金型外周全体にニクロム線を巻きつけるのではなく、ボックス型の加熱装置を作成することとした。それを上下の金型で挟むことで接触面から熱を伝導し始め外周側へと広がるため、短時間で加工部に必要な温度を得ることが可能である。



図 2-2-3-2 金型加熱装置

2-3 金型の製作

2-3-1 金型パーツの製作

金型パーツの設計に基づき、内作と外注加工にて各金型パーツの加工を行った。加工に際しての主な使用機械は、旋盤・フライス機・放電機・炉・ワイヤーカット・ボール盤・マシニングセンター・ラッピングマシンである。(表 2-3-1)

		チタンボーンプレートL	チタンボーンプレートS	ステム	サーボ	加熱機	計
据え込み	上型	金型パーツ 購入品	4 金型パーツ 購入品	兼用 金型パーツ 購入品	兼用 金型パーツ 購入品	金型パーツ 購入品	4
	下型	金型パーツ 購入品	6 金型パーツ 購入品	兼用 金型パーツ 購入品	兼用 金型パーツ 購入品	金型パーツ 購入品	6
	計	10					10
CF①	上型	金型パーツ 購入品	8 金型パーツ 購入品	6 金型パーツ 購入品	10 金型パーツ 購入品	金型パーツ 購入品	24
	下型	金型パーツ 購入品	12 金型パーツ 購入品	9 金型パーツ 購入品	9 金型パーツ 購入品	金型パーツ 購入品	30
	計	22	17		1	購入品	6
トリム	上型	金型パーツ 購入品	7 金型パーツ 購入品	金型パーツ 購入品	8 金型パーツ 購入品	金型パーツ 購入品	15
	下型	金型パーツ 購入品	4 金型パーツ 購入品	金型パーツ 購入品	3 金型パーツ 購入品	金型パーツ 購入品	7
	計	11	5		8	購入品	13
その他	上型	金型パーツ 購入品	1 金型パーツ 購入品	金型パーツ 購入品	4 金型パーツ 購入品	金型パーツ 購入品	5
	下型	金型パーツ 購入品	1 金型パーツ 購入品	金型パーツ 購入品	3 金型パーツ 購入品	金型パーツ 購入品	4
	計	2	2		7	購入品	9
総計		56	17	45	13	13	135

表 2-3-1 各金型のパーツ数



図 2-3-1-1 ボーンプレート L 上型パーツ



図 2-3-1-2 ボーンプレート L 下型パーツ

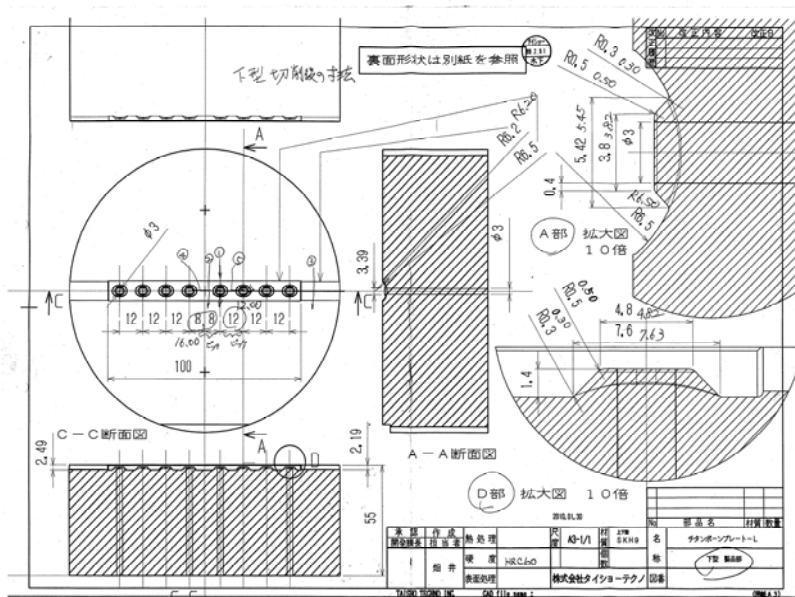


図 2-3-2-2 ボーンプレート L 金型パーツ図 (例) 測定結果

確認項目②：表面粗さを確認する。(使用後との比較のため)



図 2-3-2-3

ボーンプレート L 金型使用前表面粗さ

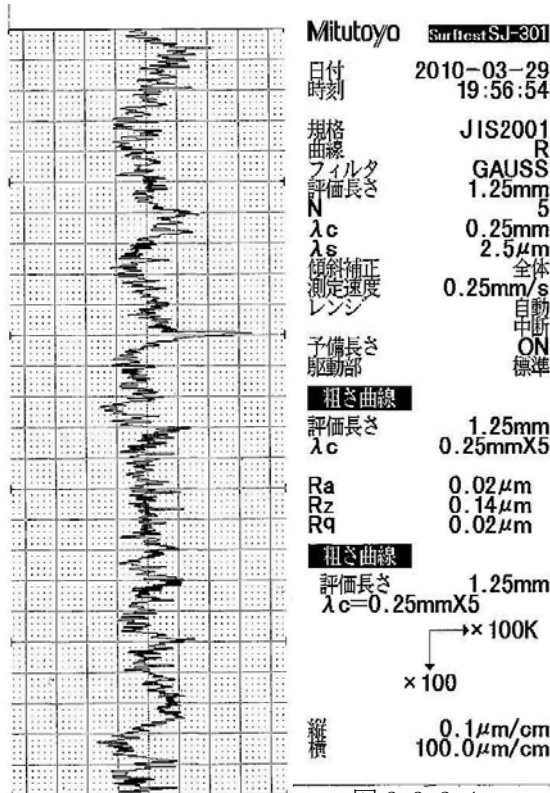


図 2-3-2-4

ボーンプレート S 金型使用前表面粗さ

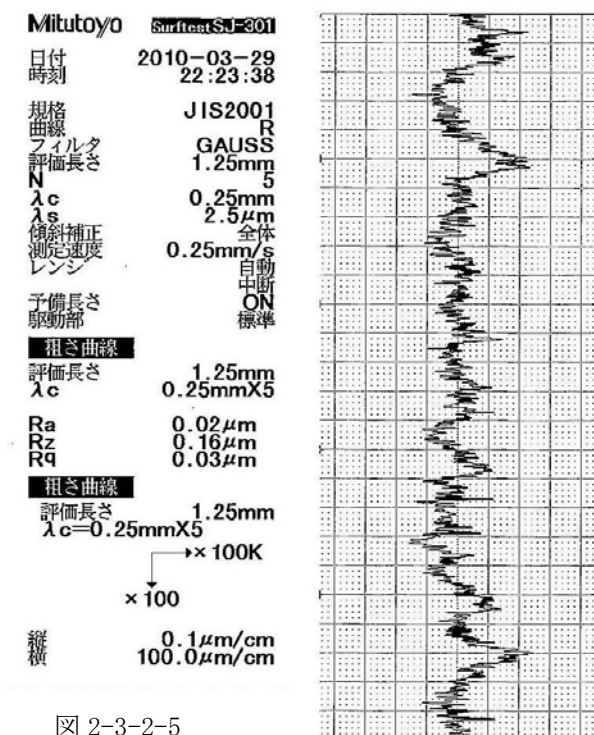


図 2-3-2-5

ステム金型使用後表面粗さ

2-3-3 金型の組み付け・微調整

加工が完了した金型は検査後、すり合わせ組み付け、微調整をする。

2-4 試作・データ収集

サンプル3形状について、チタンを冷間鍛造加工した際に見られる他の材料との違いを観察する。特に、先述のように、張り出し性や曲げ性、スプリングバックといったチタン特有の性質に起因した加工上の難点についての方策を検討する。

2-4-1 ボーンプレート L 冷間鍛造加工

素材：純チタン 2 種 板材 2×10×100

表面潤滑処理：二硫化モリブデン

使用機械： 2506 号機

①加工時の観察事項：

ワーク形状上ワークの安定が悪くなることが予想されたため、ワークの安定を目的として下型に L 字型の段を加工していた。その際、常温での延性が悪いというチタンの性質を考慮してR0.3の大きめの流し込み R を取っていたが、ワークの下型への滑り込みが予想以上に悪かった。そのためR0.5に変更し、流れは良好となった。

8 中穴の間隔が狭く材料流れが悪いという形状的特徴により、特に材料が流れにくいチタンに

図 2-4-1-1

ボーンプレート L 素材



においては加工面が鉄系材よりも大きく波打った状態になり、中穴も形状が安定しなかった。スライドを下ろして行きナックルジョイントプレス特有のモーションで荷死点を保つことで、製品の表面状態も中穴形状も安定した。ナックルジョイントモーションで押え込んで金型形状に密着させるという冷間鍛造用プレスのモーションで加工するという加工法の特徴が、スプリングバックの大きいチタンにおいては特に有効であるという事が観察された。

開始時にはプレスの回転数を 50 s p m にしていたが、スプリングバックが大きかったため、ナックルジョイント機構を生かした荷死点での押え込み効果を高めるべく 30 s p m に変更した。

②製品状態の観察



図 2-4-1-2
ボーンプレート L 鍛造後

- ・製品表面に顕著な割れは発生していない。
- ・硬度は最も硬いところで素材硬度 HV140 から HV170 にまで高くなっている。
- ・製品の表面は、凹である下型側は、材料が金型に強く密着させられてないので、表面粗さがよくない。他方上型側は金型に材料が密着しているので表面粗さが良好。

図 2-4-1-3
ボーンプレート L のストローク長さと荷重変化

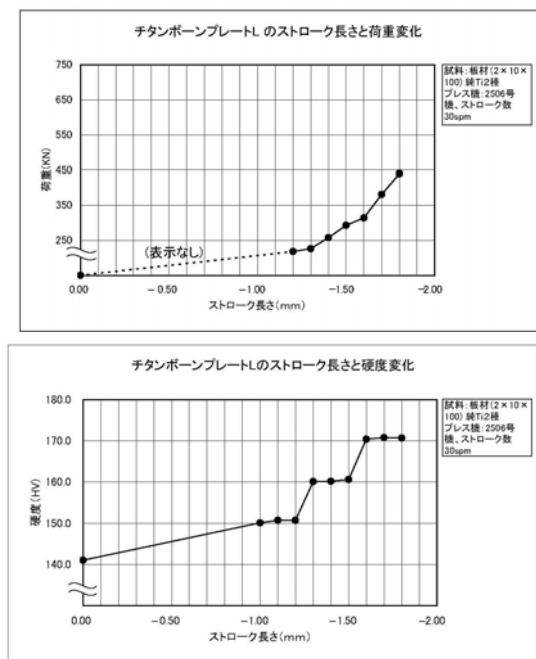


図 2-4-1-4
ボーンプレート L のストローク長さと硬度変化

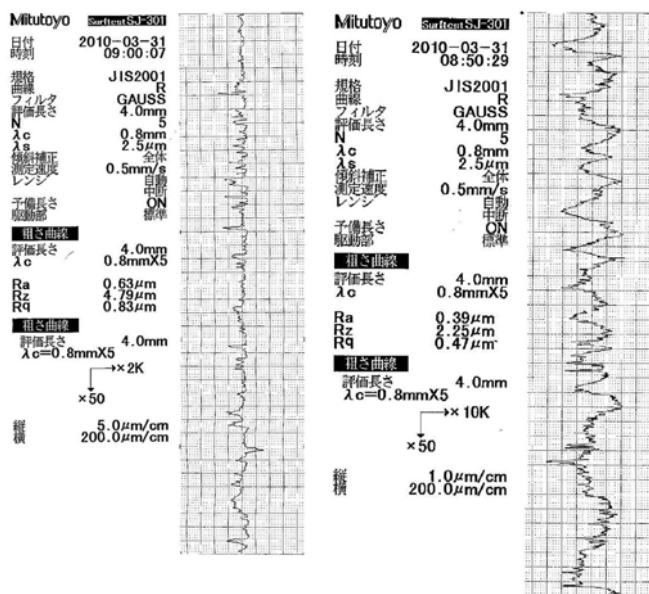


図 2-4-1-5
ボーンプレート L 製品表面粗さ

③金型の状態の観察

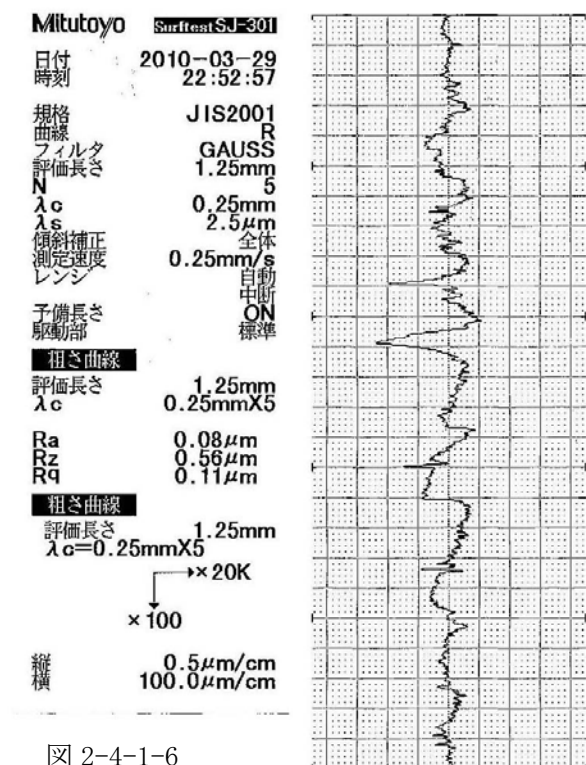


図 2-4-1-6

ボーンプレート L 金型使用後表面粗さ

・ボーンプレート L の場合は金型への負荷が少ないので、使用後の金型の痛みは小さい。

2-4-2 ボーンプレート S 冷間鍛造加工

素材：純チタン 2 種 板材 4×13.5×70

表面潤滑処理：二硫化モリブデン

使用機械： 2506 号機

①加工時の観察事項：

ボーンプレート L の試作経験から、プレス回転数は最初から 30 s p m に設定した。

スライド加工限界の 60% まで下ろした時、4 つ中穴の両端の二つの中穴の上型ピンが折れた。

純チタンの焼鈍し後の硬度は HV140 であり SCM435 の焼鈍し後硬度と同等である。形状の加工難易度が同等の SCM435 材の他の製品に使用している金型材 SKH-9 で上パンチを作成していたが、SCM435 材の他の製品の金型寿命は 70,000 個～100,000 個であるが、チタン材の場合は金型先端部の R 形状の変化で材料の肉の流れが変化し、金型の破損を招きやすい。

残りの中心側の二つの中穴の上型ピンの先端形状の R を R 0.3 から R 0.6 に変え、根元 R を R 0.2 から R 0.4 に変更したことで、上型ピン形状の折れは止まり、最後まで加工出来た。

ワーク表裏の凸凹形状は金型に密着しにくく、ショット面が最後まで完全には消えなかった。

ワークの残りの中穴二つは金型の突っ込み形状も良好、金型面に密着していた製品形状の表面粗さは Ra 0.16 で、加工硬化も最大で HV280.6 に達し、冷間鍛造加工の利点が発揮できた。

図 2-4-2-1

ボーンプレート S 素材



②製品状態の観察

図 2-4-2-2

ボーンプレート S 鍛造後



- ・ 顕著な割れは発生していない。
- ・ 冷間鍛造の加工硬化も最大でHV 280.6 まで上がった。
- ・ 最良好な表面粗さはR a 0.16 であった。

図 2-4-2-3

ボーンプレート S のストローク長さと荷重変化

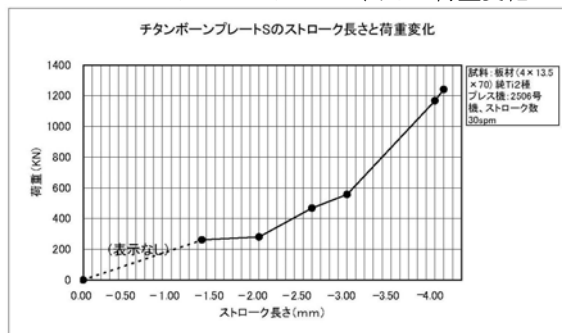


図 2-4-2-4

ボーンプレート S のストローク長さと硬度変化

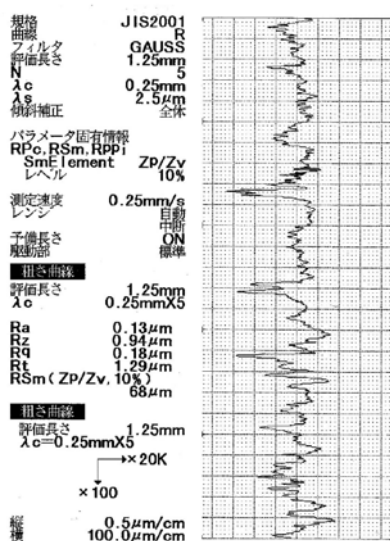
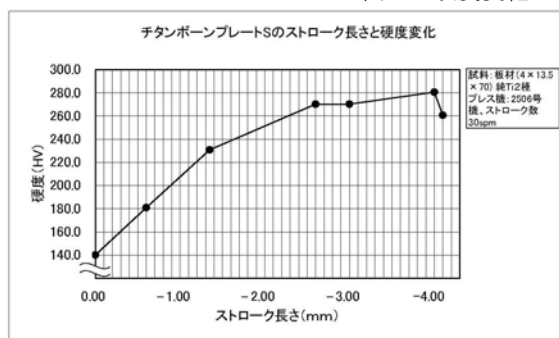
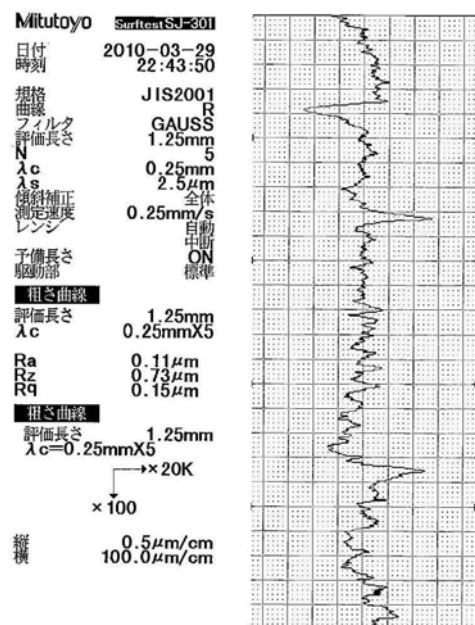


図 2-4-2-5

製品表面粗さ

③金型の状態の観察

図 2-4-2-6
ボーンプレート L 使用後金型表面粗さ



・ボーンプレート S は表面の凹形状と中穴を圧する為、金型への負荷が大きい。

2-4-3 ステム（板材）冷間鍛造加工

素材：純チタン 2 種 板 9×22×86

表面潤滑処理：二硫化モリブデン

使用機械： 2506 号機

①加工時の観察事項

ステムは本研究の 3 サンプルの中で最も難易度の高い形状をしている。

そこで、金型・製品にストレスを掛けずに加工ができるようにと 9mm の板厚材を製品形状に外形をワイヤーカット加工した後、冷間鍛造プレスで加工し、形状は冷間鍛造加工のままとしトリミング部のみマシニング加工で仕上げる、という工程を取った。

この投入材料を使用した場合の冷間鍛造加工に際しては、とがった突端部の板厚 9mm を円錐形に径を 0 に近づけるように成型する必要がある、その際に材料のマクレ込みを発生させないために、材料が製品形状を成型しながらバリの出る方向に流れやすいよう、チタンの場合は鉄系素材を加工する以上に金型のパーティングラインの流し R の基点を上げる等、注意して加工した結果、各先端形状にマクレ込み、欠肉等の大きな不具合は発生しなかった。しかしながら、素材を形状加工して質量を少なくしてから投入した為に、加工硬化は期待していたほど得られず、加工後の硬度は素材硬度 HV140 のものが HV180 までしか上がらなかった。

図 2-4-3-1 ステム 素材(板)



②製品状態の観察



図 2-4-3-2 ステム 鍛造後

- ・割れ等は発生していない。
- ・形状中ほどより $\phi 0.6$ 深さ 0.4 の凸形状が円錐の先に向かって 6 か所あるが、きれいに成型され、冷間鍛造加工の利点が発揮出来ている。
- ・円錐形の先端へのマクレ込みはない。

図 2-4-3-3 ステムのストローク長さと荷重変化

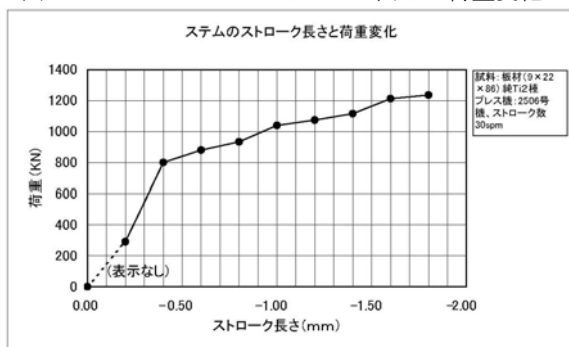


図 2-4-3-4 ステムのストローク長さと硬度変化

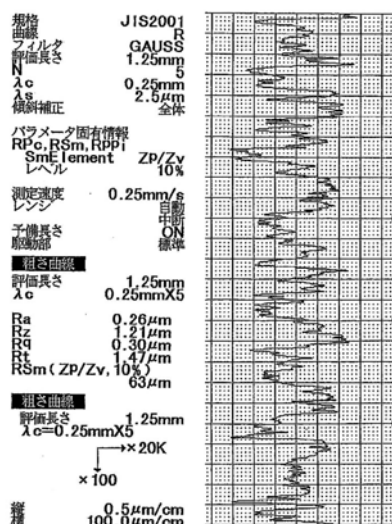
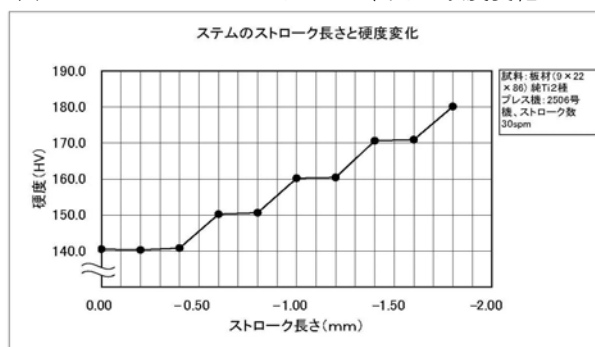


図 2-4-3-5
ステム（板）製品 表面粗さ

・素材を形状加工してから投入した為に、加工硬化を期待できるだけの質量はなく、素材硬度HV140 のものがHV180 であった。

・投入材料の質量がネットシェイプ加工としては適切であった為、金型への負担が少なく破損せずに材料が金型にうまく密着し、金型の表面形状・精度が良好に製品に転写された。

③金型の状態の観察

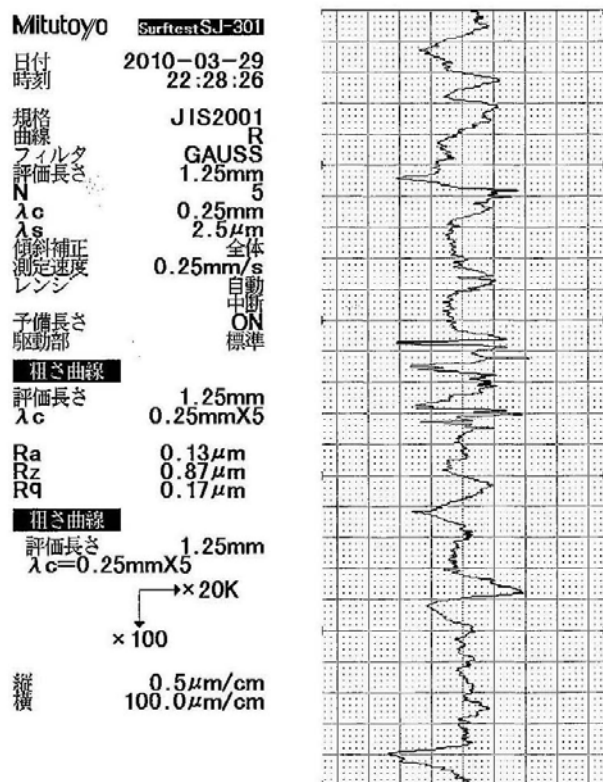


図 2-4-3-6

ステム金型使用後表面粗さ

ステムは複雑異型品のため金型への負荷も部位によって差があるが、量産時には前ブランク形状、熱処理、表面潤滑等、諸条件を工夫すれば改善は見込む事が出来ると思われる。

2-4-4 ステム（丸棒）冷間鍛造加工

素材条件： 純チタン 2 種丸棒 $\phi 12 \times 86$

表面潤滑処理：二硫化モリブデン

使用機械： 2506 号機

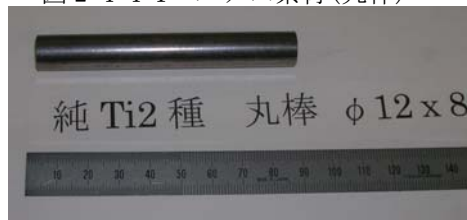
①加工時の観察事項

次のステップとして、 $\phi 12 \times 86$ の丸棒材を使用し余肉を大きくバリとして張らせ、製品のコーナー割れや張り出したバリに割れが発生していないか、高ストレス下での組織の変化はどうなっているのか、を確認することとした。

まず丸棒材が成型下型の希望する位置に安定して材料投入できるように、成型加工の前加工として据え込み工程で丸棒材を押し潰して平面部を作る。（据え込み加工後には焼きなましが必要と思われる。）この場合の注意点は、製品質量が多く、特に下型の底コーナーRを押し、下型底コーナーRから割れが発生すると予測できる。

投入重量のズレ置き等があれば、複雑形状であるがゆえに、なお一層の材料流れを変えてしまい、割れ・欠肉の発生を招くこととなるので、その点に注意しながら加工を進めたが、1セット目の金型はスライドを投入ワークの接触点から 9.5mm 降ろしたところ・荷重 2157KN のところで下型平端部のコーナーRに割れが発生した。（この時の製品硬度はHV250）

図 2-4-4-1 ステム素材(丸棒)



引き続き 2 セット目の金型で加工するにあたり、コーナー割れの状態と割れ発生時のワークを観察し検討・改善を行った。

① ワークは隅まで材料がまわり、コーナー形状がきれいに成型されていた。
→材料径が大きく質量が多いことによるが、余肉を大きく出しその部分の割れ等を観察する目的のため、質量調整は行わない。

② トリムがきれいな仕上がりで出来るようにバリ厚を薄くしようとバリの流れたし R を小さくしたことで、余肉の流れを悪くした。

→バリの流れたし R を R0.3~R0.6 に変更し、余肉の流れを良くした。

③金型の仕上げラップが一般ランキング Ra0.1 以内を Ra0.02 に精度を上げた。

これにより、スライド高さ・硬度・加工荷重に大きな変化がなかったが、金型の割れは発生しなかった。

②製品状態の観察

図 2-4-4-2 ステム(丸棒)の鍛造後



図 2-4-4-3 ステム(丸棒)の鍛造後 (拡大)



- ・割れ等は発生していない。
- ・量産時には前工程でのブランク作りを工夫すれば材料歩留

まりは 15%~20%以上は改善でき、加工硬化も調整できる可能性が大きい。

図 2-4-4-4 ステム(丸棒)のストローク長さと荷重変化

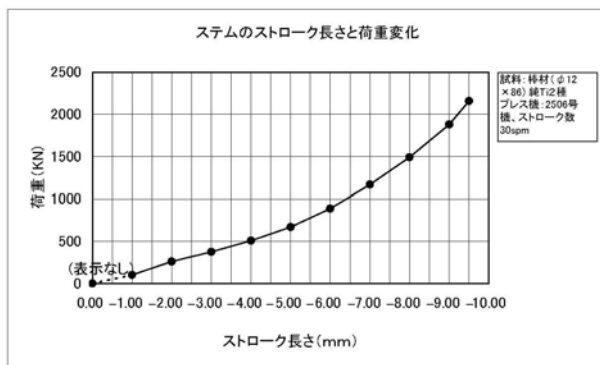
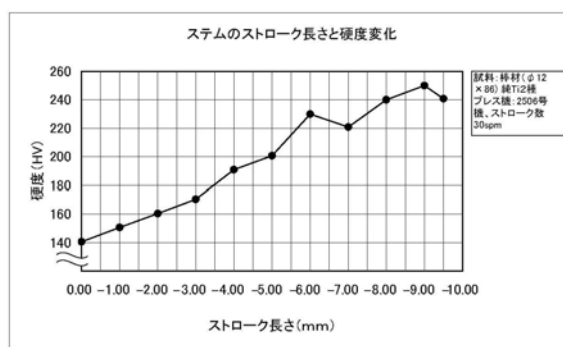


図 2-4-4-5 ステム(丸棒)のストローク長さと硬度変化



・投入材料の質量が製品の質量の倍あり、素材径が金型の製品形状からはみ出している。
 このような悪条件下で加工しているにもかかわらず高い表面精度と金型への材料の流れ込みが良好で期待通りの形状を転写し、密着性も良く加工硬化も期待できるが、金型の寿命が次への課題となる。

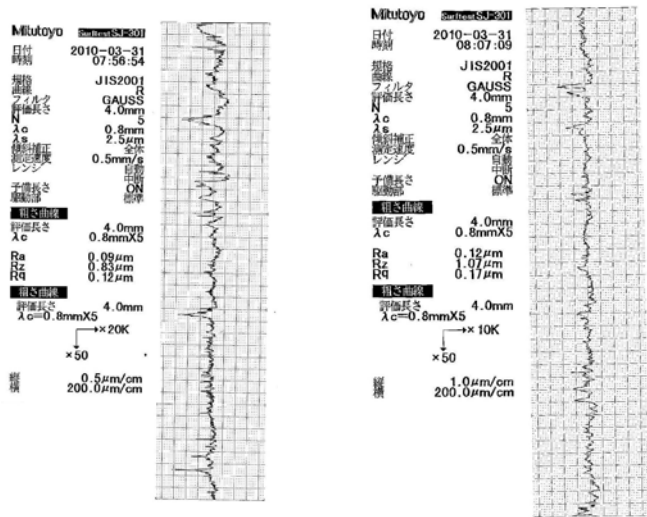


図 2-4-4-6 ステム（丸棒）製品表面粗さ A 部 B 部

2-4-5 条件変更による加工性の検討

(1) スピードモーション

サーボプレスにてスピードモーションを変えてφ12×86の丸棒を加工してみた。

素材条件： 材料：丸棒φ12×86

表面潤滑処理：二硫化モリブデン

使用機械： 1102 号機（サーボプレス）

スライドを 4.5mm 降ろした時点

	ナックルジョイントプレス	サーボプレス
荷重	508KN	587KN
硬さ	HV190.9	HV200.3

⇒サーボプレスを使用した方がコーナーのハリがよい。

サーボプレスはスピードとモーションが自由に設定できるので、上パンチがワークに接触した時点で一時停止をすることでワークの跳ねがなくなり、加工開始前のワークへの衝撃が激減され、後は希望加工速度で加工することが出来る。また冷間鍛造加工に有効なナックルジョイントモーションに加え荷死点停止時間を自由に調節することが



図 2-4-5-1 サーボプレス

が可能になり、チタンの難加工性であるスプリングバック防止に大いに有効である。



図 2-4-5-2 サーボプレス金型部



図 2-4-5-3 サーボプレス操作画面

（２）表面潤滑材

表面潤滑剤を二硫化モリブデンから「なたね油：マシン油：グリース 7：1：2 の混合油」に変更し、加工性を比較してみた。

素材条件： 材料：丸棒φ12×86

表面潤滑処理：二硫化モリブデン または 混合油

使用機械： 1102 号機（サーボプレス）

	二硫化モリブデン	混合油
荷重	508KN	592KN
硬さ	HV190.9	HV210.2

⇒混合油の方が、材料延性が悪い分荷重がかかるが硬度は高くなるという結果を得た。少数加工のため表面粗さに大きな変化は無かった。

（３）温度

ワーク加熱機と金型加熱機を使ってそれぞれ 200℃に微加熱し、加工性に变化があるか比較してみた。一般的には変態点以下の温度では加工性に变化はないと言われているが、現在弊社で量産中の鉄系素材において 100℃前後に加熱することで金型の寿命が延びる等の減少が観察されているので、チタンにおいてもトライしてみた。

素材条件： 材料：丸棒φ12×86

表面潤滑処理：二硫化モリブデン

使用機械： 1102 号機（サーボプレス）

	金型・ワーク常温	金型ワーク加熱
荷重	508KN	499.6KN
硬さ	HV190.9	HV186.2

⇒加熱することにより、わずかだが荷重が小さくなり、硬度も低くなっている。

⇒金型寿命の観点からは、金型・ワークの加熱には一定の効果が得られそうではあるが、今回の研究の目的である硬度という点においては効果を減少させることになるので、金型寿命と硬度の両立に向けての更なる研究が必要と考えられる。

(4) Ti 6 Al 4 V合金

今回の目的からは外れるが、より冷間での加工が困難とされる Ti6Al4V 合金で加工することにより、純チタンとの加工性を比較する。

素材条件： 材料：丸棒φ13×86

表面潤滑処理：二硫化モリブデン

使用機械： 1102 号機（サーボプレス）

常温据え込みのスライドを 3mm 降ろした時点で、縦方向にまっすぐに割れが走った。金型ワークを 200℃に加熱しても割れ発生の時点に変化はなかった。割れ発生時の硬度は HV400 を超えていた。Ti6Al4V 合金は、熱間鍛造のようなもっと高い温度域での加工が望ましいという事を確認した。



図 2-4-5-4 Ti-6Al-4V 合金

冷間鍛造後割れサンプル（左から 切断材・据え込み材・据え込み時破損品①②）

2-5 製品の分析・評価

今回の研究で検証すべき項目

i 純チタン 2 種の冷間鍛造加工では割れば発生しないか

⇒本研究内で最も加工限界に近い加工であった棒材からのステムにおいても製品上に割れは発生していなかった。



図 2-5-1 ステム(棒)冷間鍛造前



図 2-5-2 ステム(棒)冷間鍛造後

- ii 純チタン 2 種の冷間鍛造加工で組織の状態は問題ないか
⇒組織は微細化し、内部にも割れはない。

図 2-5-3 ステムマイクロ組織 (×200) 加工前

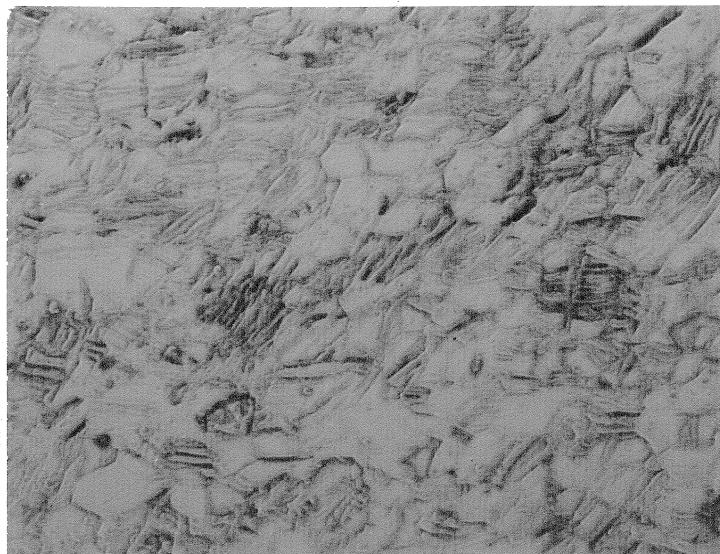
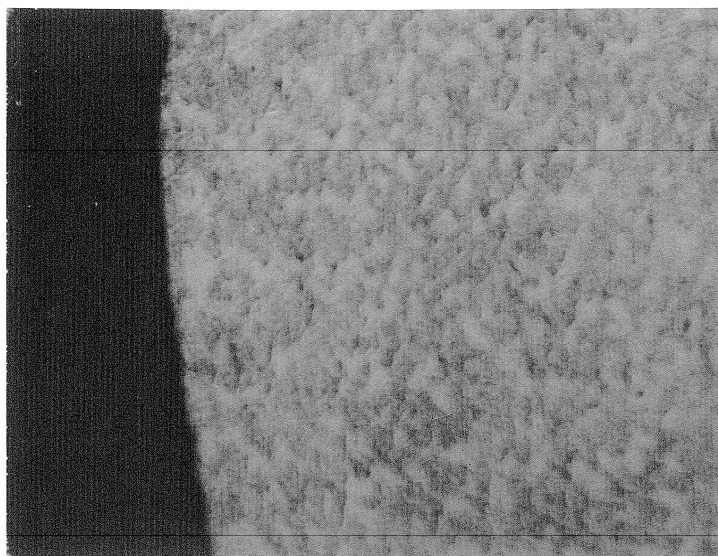


図 2-5-4 ステムマイクロ組織 (×200) 加工後 微細化している



iii 純チタン 2 種の冷間鍛造加工でどの程度の加工硬化が得られるか（目標 HV250～300）

⇒箇所によっては目標硬度に達していた。

本研究で最も加工限界に近かった棒材からのステムにおいては HV250 を超えており、今後はさらに硬度を上げる加工や純チタン 3 種や 4 種への挑戦の足がかりとなった。

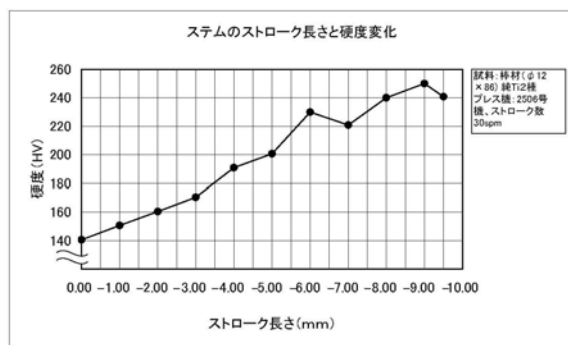


図 2-5-5 ステム(丸棒)加工硬度

3 種類のサンプルを、鍛造加工の後マシニングにて仕上げ加工を行い完成させた。



図 2-5-6 完成品一覧

第3章 全体総括

3-1 まとめと今後の展望（アドバイザーコメント）

高齢化社会の到来を迎え、骨粗しょう症及び骨折患者の増加により、骨接合材料、人工関節などの整形インプラントの使用量が急速に増加する傾向にある。しかし、その使用量の約90%が海外製品に依存している状況が続いている。また、中国、インドなどの近隣のアジア諸国においても世界の中で最も早く高齢化を迎える状況にある。欧米人と東洋人では、骨格構造に差異があり、この差異がインプラント製品の治療成績に影響を及ぼすことがあり、患者個々の骨格構造及び症例に最適なインプラント製品を提供するための製造技術を世界に先駆けて確立するとともに産業化することが重要な課題と考えられる。特に、整形インプラントなどを用いた先端治療機器の開発では、日本が得意とする先端的なもののつくり技術を活用して、低コストで高品質なインプラント製品を製造できる技術の開発とその実用化がキーテクノロジーとなる。我が国の鍛造技術は、世界最高水準にあるため、この優れた技術を活用して高品質なチタン製インプラント製品を製造可能とする技術開発に対する国民的な期待は非常に高い。

このような背景を考慮すると、低温鍛造技術を活用した整形インプラント製造技術の開発に関する社会的な意義は非常に高いと考えられる。チタン材料では、ステンレス鋼などの他のインプラント用金属材料に比べ、生体適合性が高くインプラント用として最も期待されているが、難加工材に分類されるため、高度な鍛造技術の開発が求められている。今回の事業では、チタン材料の中でも工業分野で使用量が比較的多い工業用純チタン2種を用いて、骨折治療に非常に多く使用されている骨接合用材料及び人工関節を、低温で鍛造し長期力学的信頼性の高い製品を製造するための鍛造条件を検討した。具体的には、形状の異なる2種類の骨プレート及びハーフサイズの人工股関節ステムをモデル材として、工業用2種純チタンを原材料として、鍛造負荷加重条件を変化させつつ低温鍛造を実施し、最適な鍛造条件及び鍛造品の硬度変化、表面性状、内部組織変化などの品質の変化を検討した。また、低温鍛造における変形抵抗の影響を調べるため、200℃に加熱した状態で同様の試験を実施した。

事業の結果として、工業用2種純チタンを原材料とした場合には、全ての低温鍛造条件で割れの発生は見られずに2種類の骨プレート及び人工股関節ステムを低温鍛造することができた。鍛造品のミクロ組織も微細でミクロ的な割れは観察されなかった。鍛造負荷加重条件を変化させた負荷試験から鍛造製品の硬度変化との関係が明らかとなり、低温鍛造の基礎的な特性を取得することができた。今回の硬度測定から類推すると現在輸入品で正在されている骨プレートの製品の強度と同等以上の力学的な性能を有することがわかった。鍛造後の表面粗さ測定結果から表面性状も良好であったため、少ない仕上げ加工で製品化の可能性が見い出された。

今後、今回得られた製造条件を基礎として、高純度純チタン、工業用純チタン 3 種、工業用純チタン 4 種、各種チタン合金など、チタン材料の種類を広範囲に変化させ同様の試験を実施し、さらに、骨接合材料が適用される部位に応じて製品の種類を変化させて低温鍛造を行い、さらに得られた鍛造製品の機械的性質、耐久性試験などを行い総合的に検討することで、高性能な製品を製造可能な技術として確立することが重要と考えられた。また、チタン合金においても鍛造条件を工夫することで製造可能な技術とすることが、この分野の産業の活性化もたらし、将来的にはアジアにおける産業のハブとなることが、我が国の製造産業にとって一層重要となるため、今後の課題として事業の継続の必要性が実感された。

(独立行政法人産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門 高機能生体材料グループ 主任研究員 工学博士 岡崎義光氏より)

3-2 おわりに

近い将来早急に望まれる整形インプラントの国産化を見据え、整形インプラントの生体への適合性を最優先に考えた場合、純チタンの加工技術の向上が急務であるが、純チタンの加工上の問題点が改善されていないのが現状である。

今回冷間鍛造加工技術の応用に着目し研究する運びとなったが、前例がほとんどないことやチタンの難加工性を考えるとハードルは決して低くはなく、最初は研究が成果に結びつくか懸念された。

しかし今回研究を終え、自転車・自動車等で培われた精密冷間鍛造の加工技術は、純チタンの分野でも一定の成果を出すことが出来たことは大きな一歩となった。

我々はあくまでも製造現場の立場からの研究開発であるため、データ収集・分析等の専門的な分野には未熟な部分もあったが、研究開発は継続されてこそ社会的貢献につながると信じ、今後は学術的なご専門のご指導・ご尽力を頂きながら、日々研鑽をつみ、国産の整形インプラントの実用化に取り組み続けたいと願います。

最後に、今回の研究開発に当たりご指導下さいました独立行政法人産業技術総合研究所の岡崎先生、大阪府立産業技術総合研究所の白川先生をはじめ、ご指導・ご尽力いただきました皆様に心より感謝いたします。

参考文献

(社)日本チタン協会：チタンの加工技術 (2003)

(社)日本塑性加工学会：チタンの基礎と加工 (2008)

鈴木俊之・森口康夫：チタンのおはなし (2008)

(社)日本塑性加工学会：鍛造 目指すはネットシェイプ (2003)

桜井俊男：潤滑の物理学（2004）

（社）日本チタン協会：チタン市場開発スタッフ養成講座テキスト（2008）