

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業
アモルファス金属粉末を原料としたマイクロ
部品の製造技術の開発

研究開発等成果報告書

平成 22 年 3 月

委託者 関東経済産業局
委託先 財団法人さいたま市産業創造財団

目次

第1章	研究開発の概要	
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	5
1-3	成果概要	10
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	12
第2章	本論	
2-1	21年度研究開発項目と実施体制	13
2-2	研究内容及び成果	14
	① 最適原料組成の検討	14
	①-2 粉末特性の検討	
	①-3 物理特性試験	
	② マイクロ金型材料・作製方法の最適化の検討	19
	②-2 金型作製技術の検討	
	③ 高能率生産設備の開発	19
	③-2 歩留りの向上	
	③-3 生産条件の最適化	
	④ 製品評価技術確立への対応	22
	④-1 評価方法の確立	
	④-2 実機による耐久試験	
第3章	全体総括	
3-1	全体総括	27
3-2	今後の開発計画	27
3-3	事業化計画	27

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

医療分野での高機能化、ハイテク技術の導入に伴い、診断機器、治療機器人工心肺装置等の小型化が急速に進んでおり、それに伴い、機器を構成するマイクロ部品への要求も一段と厳しくなっている。とりわけ、現状、ステンレスで製造される歯車、シャフト等の動力伝達部のマイクロ部品においては、摩耗や疲労による損傷が顕在化しており、さらなる医療機器の高機能化・小型化へニーズに応えるためには、機械強度でステンレスを大きく凌駕する材料の開発が急務となっている。

例えば、図1に示す歯科用の小型軽量ハンドピースの動力伝達部に使用される部品（図2）であり、15°の角度変換部に2個組合わせて使用され、動力を伝達している。

小型化により部品への負荷が高く、現状では、摩耗により部品の交換が必要となり、高強度、高耐摩耗性、高耐食性の部品が要求されている。



図1 小型軽量ハンドピース



図2 動力伝達部部品

通常の金属および合金は、結晶構造に伴う結晶粒界、結晶欠陥、不純物偏析などの不規則組織が金属の摩耗、疲労、腐食といった損傷を速めることが避けられず、理想金属から大きく強度が低下するのが現実である。アモルファス金属は、結晶性を持たないため従来金属に比し数倍から数百倍の強度、耐食性を有する。しかし、アモルファス金属から機械部品を製造するには、加工工程で超急冷が必須なため、応用はシート状やワイヤ状の薄製品に限られていた。

近年、アモルファス金属の中から、ガラス遷移を示し過冷却液体温度域を持つ「金属ガラス」が見出されており、ガラス形成能の大きい金属ガラスも発見されている。その為、加工工程で急冷するという制約が大幅に緩和され、バルク状部品の製造への道が拓かれつつあり、一般的には、金型鋳造法が試みられている。図3に金属ガラスとSUSの材料別引張り強度と融点を示す。金属ガラスは、合金系の選択によって、4000MPaを超える強度、SUS304の1000倍の耐食性、ナノメートル精度の高転写加工特性等を示す。

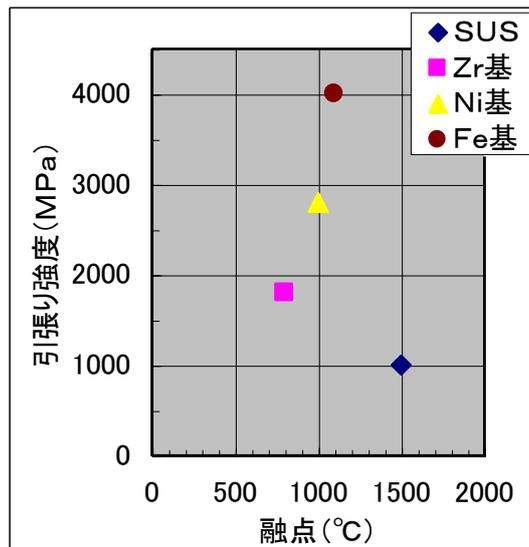


図3 金属ガラスと SUS の材料別引張り強度と融点

金型鑄造法の代表例として、図4にNEDO ナノテクノロジー・材料「金属ガラスの成形加工技術」研究開発プロジェクトの模式図を示す。

金属ガラスの母材を加熱溶解させた後、プランジャにより金型に高速射出して鑄造する方法を開発している。

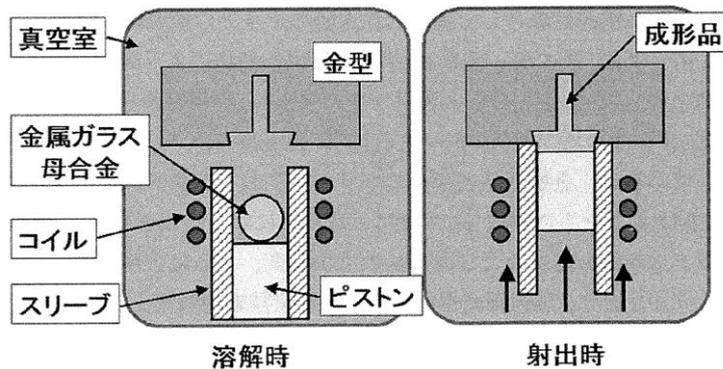


図4 金型鑄造法模式図

また、本研究開発の実施者である早乙女研究室及びポーライト(株)も図5に示すように金属ガラスの母材を加熱溶解させた後、アルゴンガスにより金型に射出して鑄造する新たな方法を検討してきた。作製したマイクロモジュール歯車を図6に示す。得られたマイクロモジュール歯車は歯形も精密に転写できており、高速射出を行わなくとも十分に歯車が成形できることが判明した。

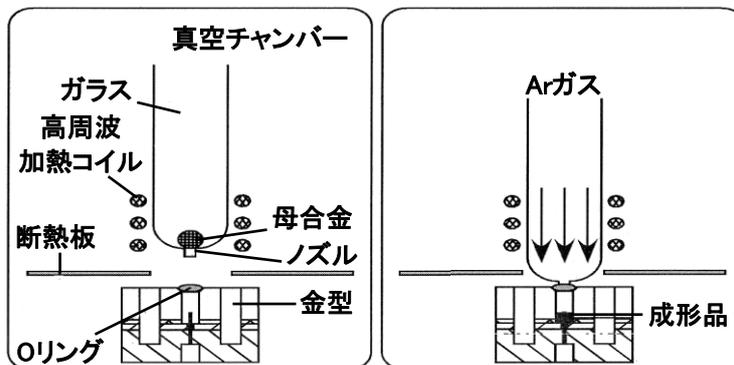
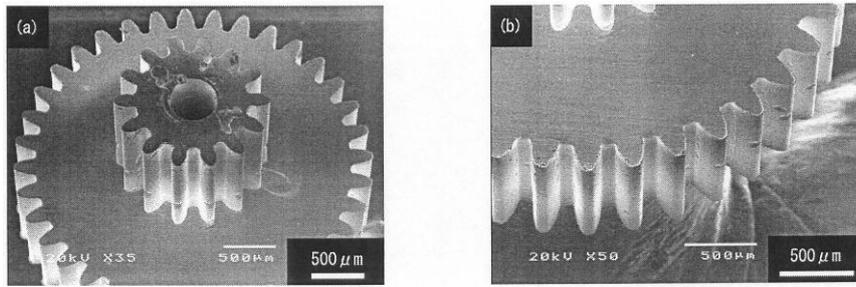


図5 射出成形装置の原理



・作製サンプル
 小歯車:φ 1.6・m:0.1
 大歯車:φ 3.8・m:0.1

図6 金属ガラス製マイクロモジュール歯車

しかし、これらの金型鋳造法は、金属ガラスを 1000℃前後の温度で加熱・溶解させるため、高い真空度を要し生産速度を高めることが難しい、また、歩留りが悪い等の課題により、未だ工業的製造法の確立に至っていない。

これらの課題を踏まえて、本研究開発では、金属ガラスの加熱温度をガラス遷移温度に留めることができ、原料の歩留まりも大幅に向上しうる方法として、金属ガラス粉末の圧縮成形によりあらかじめ圧粉体を作製し、作製された圧粉体を金型に挿入し、真空中でガラス遷移温度に加熱・加圧し、成形加工を行うことでニアネットシェイプ製品を作製する工法を開発する。

従来技術との製造工程比較を図7に示す。

製造工程が短縮でき、よりネットシェイプ形状の成形が可能となり、熱収縮による変形が少なく、熱処理の必要もないため、金型転写性に優れ、成形加工時に高精度化が可能となる。

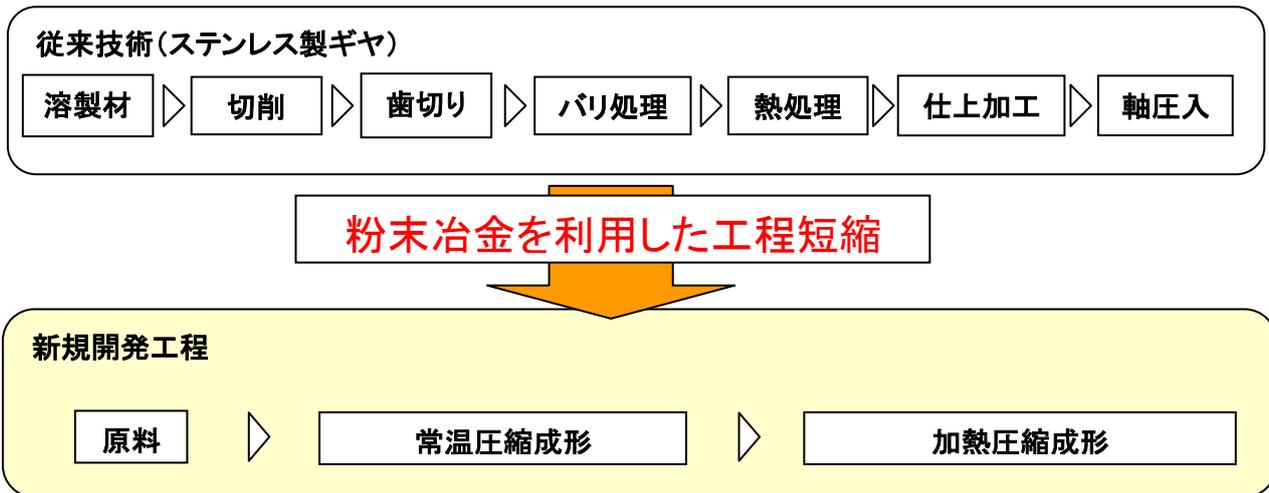


図7 従来技術との工程比較

(3) 研究目的及び目標

1) 研究開発の目的

本研究開発では、金属ガラス粉末を原料として、圧縮成形でまず圧粉体を作製し、次に金型に圧粉体を挿入して真空下で加熱・加圧し、ニアネットシェイプ製品を製造するという、新規なマイクロ部品の開発にかかるものである。

強度や形状精度等の製品品質と、工業的製造法としての生産性とを両立させることが、最大の研究課題になるので、金属ガラス原料の最適化から始まり、研究室レベルでの各種特性の評価法の確立、前段・後段の工程での加工条件の最適化、マイクロ金型の最適化、などが開発の重要な要件となる。

最適原料組成、高能率生産設備等の検討により、歯科治療機器、内視鏡、代行機器等の医療機器におけるマイクロ部品を製造して、これらの医療機器のより長寿命化、小型化を達成することを目指すものである。

2) 研究開発の目標

①最適原料組成の検討

①-2 粉末特性の検討

引き続き、圧粉体成形時の形状維持安定化のため、原料粉末の粒度と形状の検討を行い、成形性の向上を計る。

①-3 物理特性試験

金属ガラスにおいて、物理特性の指標として広く用いられている圧縮強度にて強度面の評価を行い、耐食性については、既存の規格試験法、もしくはラボ的な評価方法にてステンレスとの比較で評価を行い、各材料の特性を確立する。

このほか、耐摩耗性については、歯車耐久試験にて評価を行う。

②マイクロ金型材料、作製方法の最適化の検討

②-2 金型作製技術の検討

平成 20 年度の研究開発で終了したが、金型の精度、表面粗さが重要となるため、仕上げ方法を含めた一層の高度化の検討を行う。

③高能率化生産設備の開発への対応

③-2 歩留りの向上

圧粉体成形の確立により、余分なランナー等の材料歩留りを減少させ、コストの低減を図る。

③-3 生産条件の最適化

ガラス遷移温度下の加熱加圧成形時における成形温度カーブ、真空度、雰囲気ガス、冷却時間等製造条件の最適化を検討し、生産速度の向上を計る。

コストにおいて加熱加圧成形工程の生産速度が占める割合が大きいため、コストの試算を行い、他工法との融合も検討し、工業化可能な生産条件を確立する。

④製品評価技術の確立への対応

④-1 評価方法の確立

埼玉県産業技術総合センター、並びに早乙女研究室で各種のラボ評価技術を極力活用しつつ、それらで対応できない特性項目については、新規測定設備の検討、開発を実施する事で、川下企業との取決めを含めた仕様を満足する製品に仕上げる。

④-2 実機による耐久性評価

製品作製後は、耐久試験を行うとともにユーザーである川下企業においても実機による耐久試験を行う。

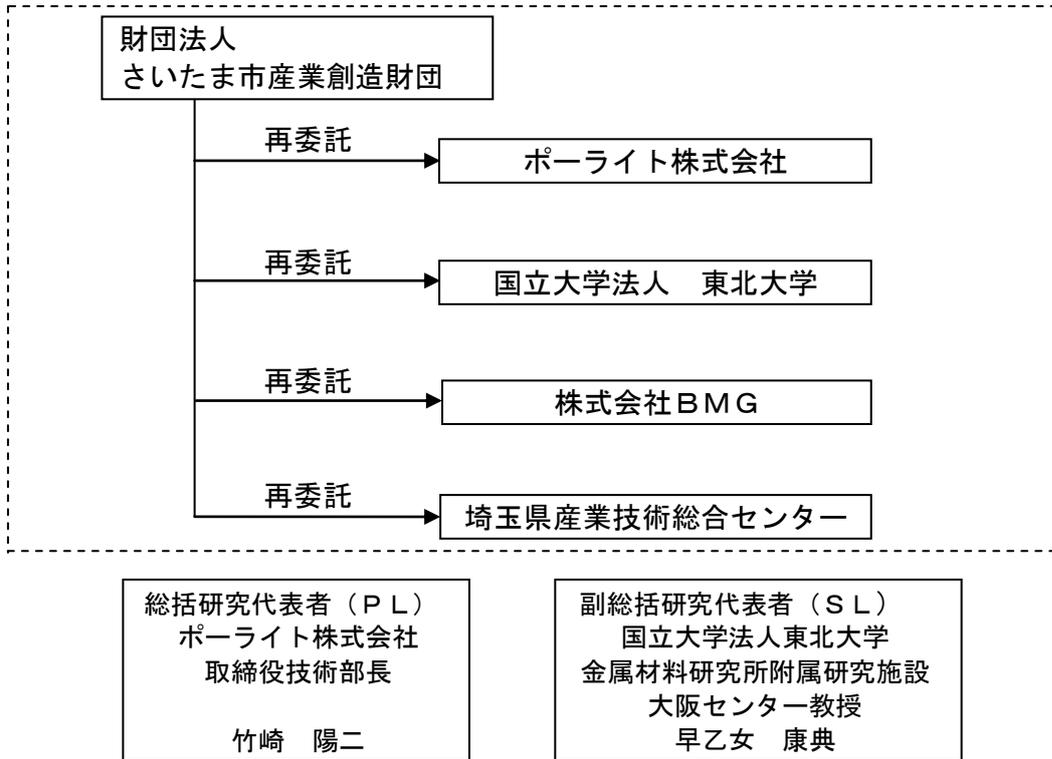
⑤プロジェクトの管理・運営

事業管理者として、事業の円滑な進行管理とともに、関東経済産業局及び再委託先との連絡調整、主要な機械装置の保守管理、装置の製作、研究資材等の購入、研究推進委員会の開催、特許出願に係る事前の相談調整、報告書作成などを担当する。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

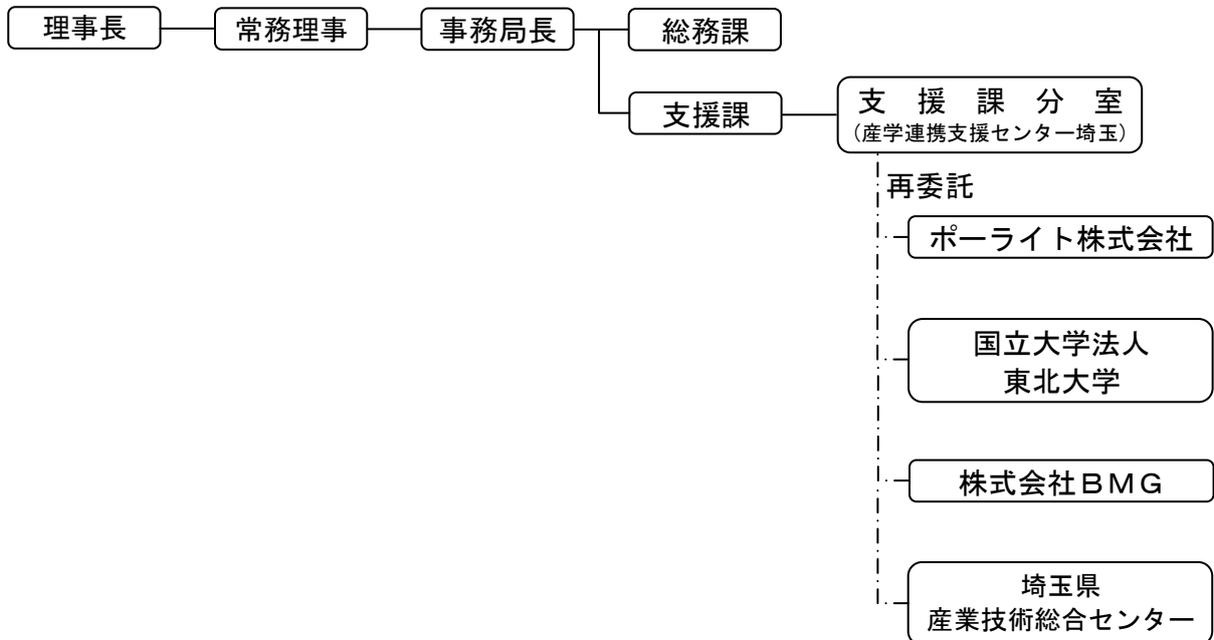
1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

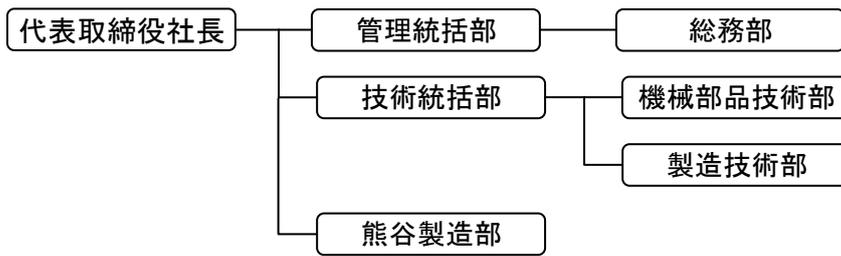
①事業管理者

[財団法人さいたま市産業創造財団]

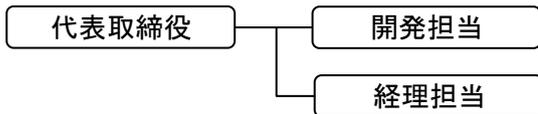


②再委託先

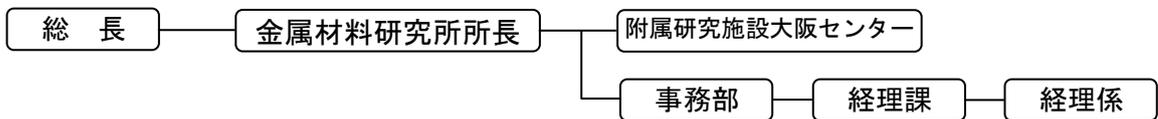
ポーライト株式会社



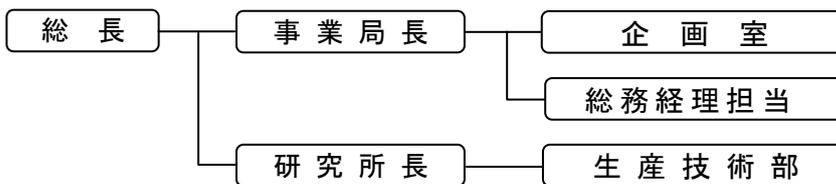
株式会社BMG



国立大学法人東北大学



埼玉県産業技術総合センター



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人さいたま市産業創造財団

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
佐々木 哲也	支援課 主査	⑤
野本 剛司	支援課 主任	⑤

②研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
該当なし		

【再委託先】
ポーライト株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
竹崎 陽二	取締役技術統括部長	①～④
島田 登	機械部品技術部部長	①～④
浅井 弘	機械部品技術部課長	①-1、②-1、③-1、 ③-3、④-1
天野 和広	製造技術部課長	②-1、②-2
大隈 厚士	機械部品技術部係長	①-1、①-2、①-3 ②-2、③-2、③-3、 ④-1
船山 勉	機械部品技術部設計主任	①-2、①-3、②-1 ②-2、③-1、③-2、 ③-3、④-1
鈴木 佑輔	機械部品技術部開発主任	①-1、①-2、②-1、 ②-2、③-1、③-2、 ③-3、④-1
齋藤 飛鳥	機械部品技術部開発部員	①-1、①-2、②-1、 ②-2、③-1、③-2、 ③-3、④-1
太田 甲吉	機械部品技術部開発部員	①-1、①-2、②-1、 ②-2、③-1、③-2、 ③-3、④-1

国立大学法人 東北大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
早乙女 康典	金属材料研究所附属研究施設 大阪センター 教授	①～④
木村 久道	金属材料研究所 准教授	①-1
王 新敏	金属材料研究所 客員教授	①-1
網谷 健児	金属材料研究所附属研究施設 大阪センター 助教	①～④

株式会社BMG

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
真壁 英一	代表取締役	①-1、①-2

埼玉県産業技術総合センター

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
大川 薫	生産技術部部长	④-1
影山 和則	企画室担当部长	④-1
宇野 彰一	生産技術部主任	④-1
信本 康男	生産技術部技師	④-1

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人さいたま市産業創造財団

(経理担当者) 総務課 課長 塚田 和正

(業務管理者) 支援課 課長 田中 利夫

(再委託先)

ポーライト株式会社

(経理担当者) 総務部 総務課 課長 大嶋 伸吉

(業務管理者) 執行役員 熊谷製造部長 清水 浩

国立大学法人 東北大学

(経理担当者) 金属材料研究所事務部経理課経理係 斎藤 英幸

(業務管理者) 金属材料研究所附属研究施設大阪センター センター長 今野 豊彦

株式会社 B M G

(経理担当者) 代表取締役 真壁 英一

(業務管理者) 代表取締役 真壁 英一

埼玉県産業技術総合センター

(経理担当者) 企画室 総務経理担当 担当部長 遠藤 治

(業務管理者) 企画室 技術統括部長 棚橋 綱男

(4) 他からの指導・協力者

※委員会構成メンバー

氏名	所属・役職	備考
竹崎 陽二	ポーライト(株)取締役技術部長	委員長
早乙女 康典	東北大学金属材料研究所 附属研究施設大阪センター 教授	副委員長
島田 登	ポーライト(株)機械部品技術部部长	
浅井 弘	ポーライト(株)械部品技術部課長	
大隈 厚士	ポーライト(株)機械部品技術部主任	
真壁 英一	(株) B M G 代表取締役	
木村 久道	東北大学金属材料研究所 准教授	
王 新敏	東北大学金属材料研究所 客員教授	

網谷 健児	金属材料研究所附属研究施設 大阪センター 助教	
大川 薫	埼玉県産業技術総合センター 生産技術部部長	
影山 和則	埼玉県産業技術総合センター 企画室担当部長	
宇野 彰一	埼玉県産業技術総合センター 生産技術部主任	
信本 康男	埼玉県産業技術総合センター 生産技術部技師	
佐々木 哲也	(財)さいたま市産業創造財団 支援課主査	
野本 剛司	(財)さいたま市産業創造財団 支援課主任	

※アモルファス金属粉末プロジェクト委員会オブザーバー

氏 名	所属・役職	備 考
種子島 聡一郎	(株)モリタ製作所 インスツルメント研開部研究開発グループ	アドバイザー
岩宮 保雄	(財)埼玉県中小企業振興公社 (産学連携支援センター埼玉 産学コーディネーター)	アドバイザー

1-3 成果概要

平成21年度の本研究開発により、次のような成果を得ることができた。

(1) 最適原料組成の検討

Zr基金属ガラス原料にて作製したギヤ製品の更なる耐久性向上の為、原料組成の見直しによる高強度化の検討を行い、Zr基以上の圧縮破壊強度を有する開発材及びNi基の開発ができた。これらの原料はZr基に比べコストが安く、開発材は圧粉成形性、Ni基は耐食性に於いて優れた特性を有している。

図8に圧縮破壊強度試験結果を示す。

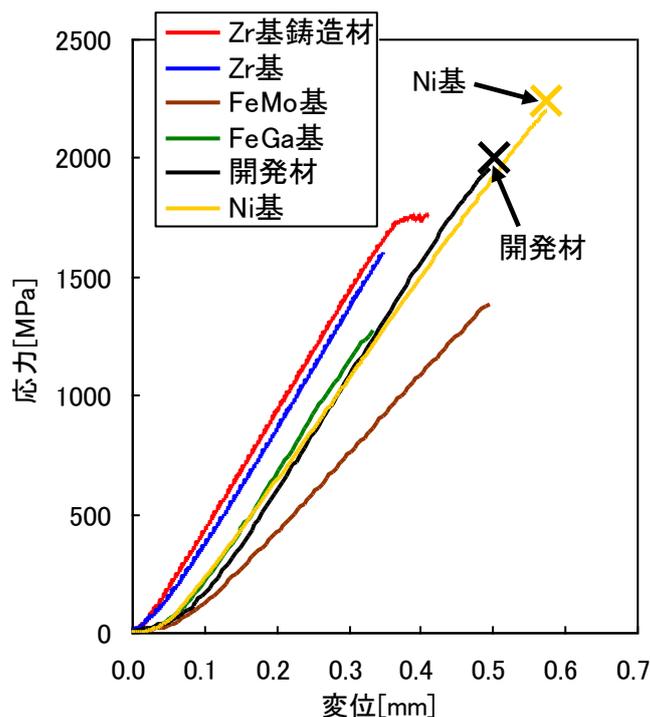


図8 圧縮破壊強度試験結果

(2) 高能率生産設備の開発圧粉体成形の確立、加熱圧縮成形時の生産条件の最適化等を行うことにより、材料歩留り及び生産速度を向上させた、歯科用ハンドピースの駆動部品であるギヤ製品の新規工程による作製が可能となった。

図9にギヤ製品の外観を示す。

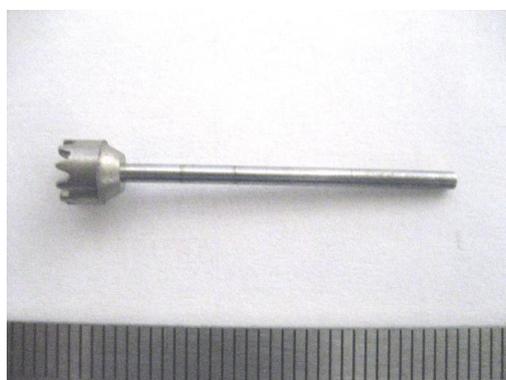


図9 ギヤ製品外観

(3) 製品評価技術確立への対応

新規工法により作製したギヤ製品の評価方法を確立した事により、川下企業との取決めを含めた仕様を満足する製品に仕上げることができた。また、耐久性加速試験及びユーザーである川下企業においても実機による耐久試験を行い、ギヤ製品が実用に耐える事が確認できた。

図 10 に実機耐久試験後のギヤ製品の外観を示す。



図 10 実機耐久試験後のギヤ製品外観

本研究により、前述のような研究成果物を得ることができた。また、成果について特許出願を行う予定である。更に H22. 05. 25 開催の粉体粉末冶金協会春季大会にて成果を報告し、技術の普及を行う予定である。

(4) プロジェクトの管理・運営

平成 21 年度においては、「アモルファス金属粉末プロジェクト委員会」を 3 回実施し、研究開発の進捗状況のチェック、メンバー相互の意見交換を行った。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

(管理法人) 財団法人 さいたま市産業創造財団 支援課
主任 佐々木 哲也

〒338-0002 埼玉県さいたま市中央区下落合 5 丁目 4 番 3 号

(総括研究代表者) ポーライト 株式会社

取締役技術部長 竹崎 陽二

〒331-0823 埼玉県さいたま市北区日進町 2-121

第2章 本論

2-1 21年度研究開発項目と実施体制 ※赤字が21年度の研究開発項目

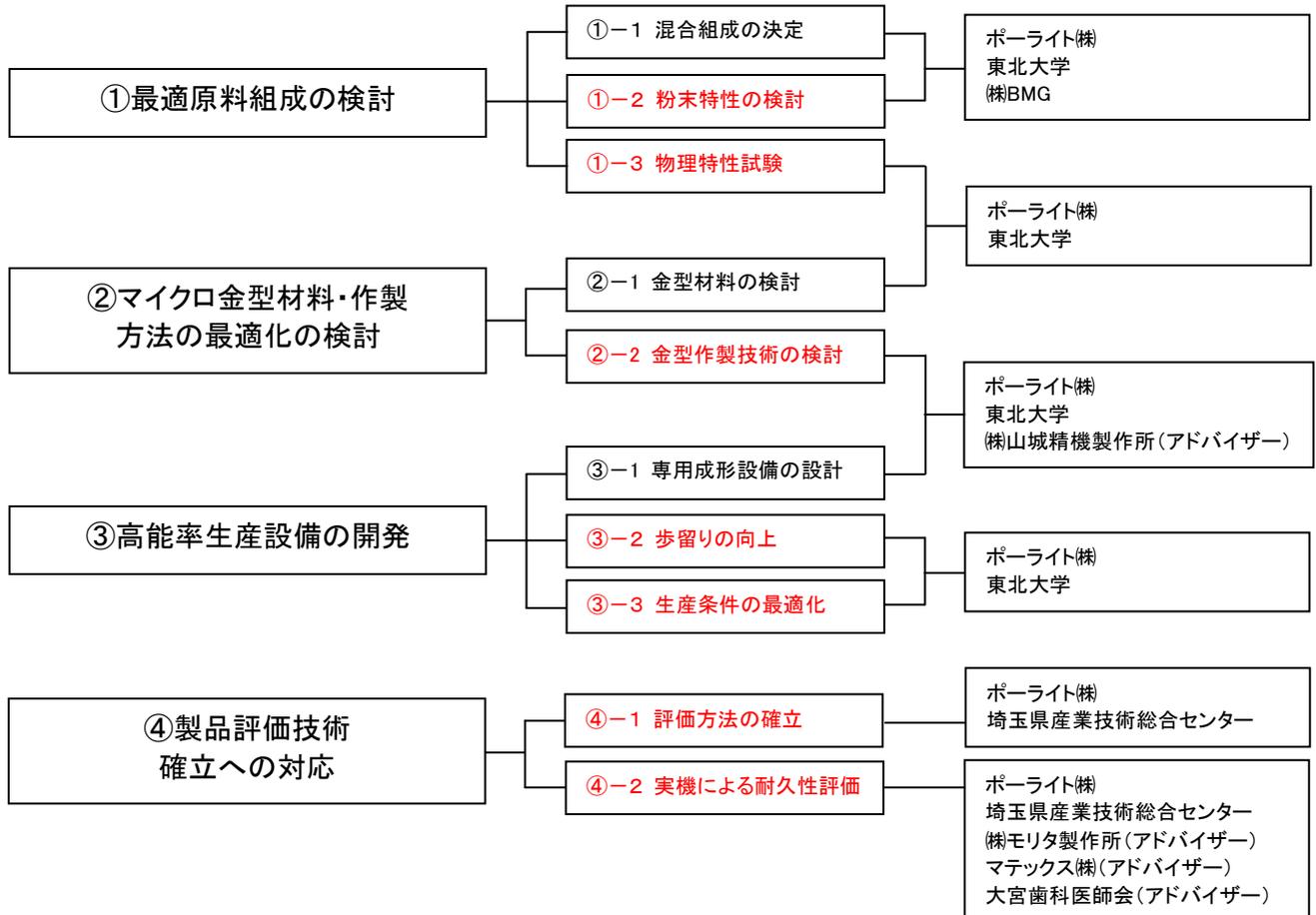


図 11 開発項目と実施体制図

2-2 研究内容及び成果

①最適原料組成の検討

①-2 粉末特性の検討

(1) 水アトマイズによる粉末の検討

昨年度の研究開発により、FeMo 基の金属ガラス粉末において良好な圧粉体成形結果が得られている。よって、本年度は、昨年度と同一の Fe 基金属ガラス粉末を用いて、圧粉体成形品形状の最適化の検討を行った。

1) 原料

原料：FeMo 基

原料作製方法：水アトマイズ

2) 使用設備

圧粉体成形は、油圧サーボ式万能試験機を用いて単軸圧縮により行った。

図 12 に作製した圧粉体成形用金型外観写真を示す。



図 12 圧粉体成形用金型外観写真

3) 試験結果

図 13 に圧粉体成形品外観写真を示す。

作製した圧粉体成形品は、抜出時にも形状を維持しており、ハンドリング可能な程度に固化されている。



図 13 圧粉体成形品外観写真

(2) 開発粉末の検討

歯科用ハンドピースの駆動部品であるギヤ製品の耐久性向上のために、高強度な金属ガラスが求められる。しかし、Fe 基金属ガラスは、Zr 基金属ガラスに比べて過冷却液体領域が狭いこともあり、十分な成形が得られず、成形品は鋳造材に比べて強度も低くなってしまふ。そこで、成形性に優れ高強度な金属ガラス成形体を得られる可能性がある粉末の検討を行った。

1) 圧粉体成形試験

開発粉末の圧粉体成形試験を行った。

図 14 に圧粉体成形品外観写真を示す。外観写真より、圧粉体成形品は拔出時にも形状を維持しており、ハンドリング可能な程度に固化されていることがわかる。



図 14 圧粉体成形品外観写真

(3) Ni 基金属ガラス粉末の検討

高耐摩耗性の報告がある Ni 基金属ガラス粉末について調査を行った。Ni 基金属ガラス粉末は耐食性に優れ、水アトマイズによる作製も可能である。また、Zr 基に比べ非常に安価（Zr 基の 1/100）である。加えて、ガラス遷移域が比較的広いのも特徴である。

1) 原料

原料：Ni 基

原料作製方法：ガスアトマイズ

図 15 に粉末の SEM 写真を示す。

粉末は、ガスアトマイズ後に目開き 38 μm の篩で分級したものを使用した。粉末の形状は、球状である。

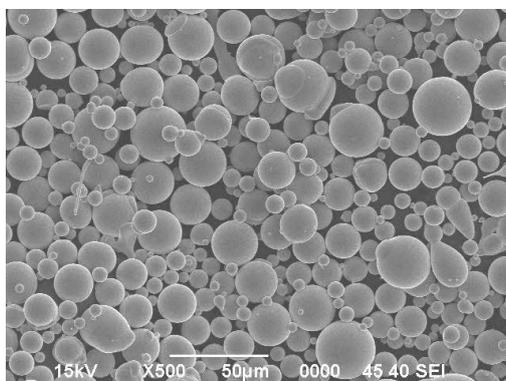


図 15 粉末 SEM 写真

①-3 物理特性試験

金属ガラスにおいて、物理特性として広く用いられている圧縮強度にて強度面の評価を行った。耐久性については、ラボ的な評価方法にてステンレスとの比較で評価を行った。

(1) 圧縮破壊強度試験

歯科用ハンドピースの駆動部品であるギヤ製品の従来材は SUS420F である。Zr 基金属ガラス及び従来材 SUS420F の圧縮破壊強度比較を行うことによって、Zr 基金属ガラスの特性を把握する。また、高強度化を狙い作製した 2 種（開発材及び Ni 基）の成形サンプルについても評価を行った。

1) 使用設備

圧縮破壊強度試験は、油圧サーボ式万能試験機を使用した。

2) 試験条件

試験サンプルは、SUS420F 鋳造材より切り出した試験片と Zr 基金属ガラス粉末を使用し、加熱圧縮装置によって作製した試験片及び鋳造材より切り出した試験片を使用した。

試験片形状： $\phi 5 \times L5$

クロスヘッド移動速度：4mm/min

3) 試験結果

図 16 に圧縮破壊強度試験における応力-変位曲線を示す。SUS420F 鋳造材の降伏点と 2 種の Zr 基サンプルの圧縮破壊強度はほぼ同等であった。図 17 に Zr 基加熱圧縮成形品の断面および破壊試験後の破断面を示す。Zr 基加熱圧縮成形品の断面は顕著な空孔や結晶の存在は確認できず、破断面には金属ガラス特有のベインパターンが確認できる。このことから、Zr 基加熱圧縮成形品が金属ガラス部材としての欠陥がなく鋳造材と同等の特性を有していることは明らかである。すなわち、粉末合金系の変更以外、これ以上の強度および耐久性の向上が見込められないことを意味しており、更なる耐久性向上のためには、合金系自体が高強度を示す金属ガラスを用いる必要があることが判明した。

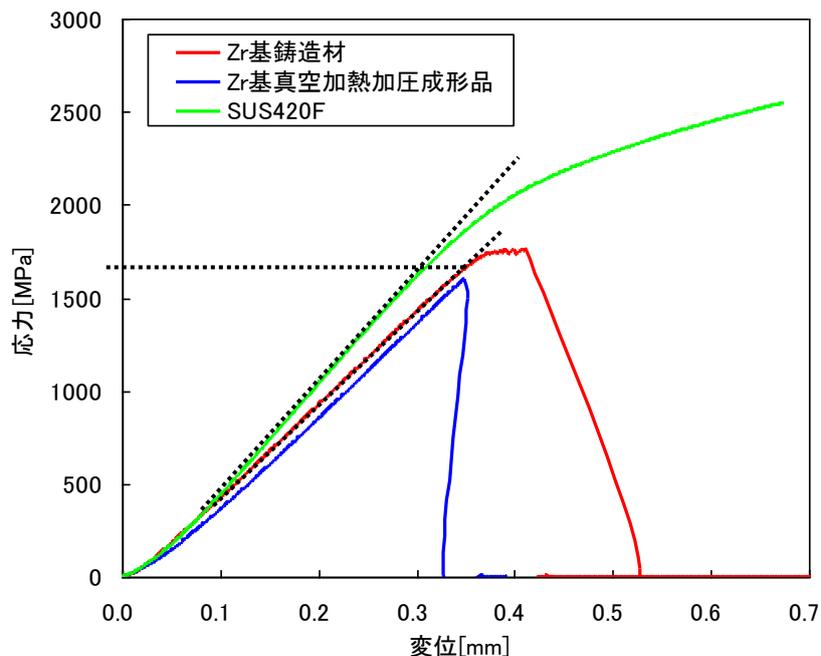


図 16 Zr 基金属ガラスおよび従来材 SUS420F の圧縮破壊強度比較

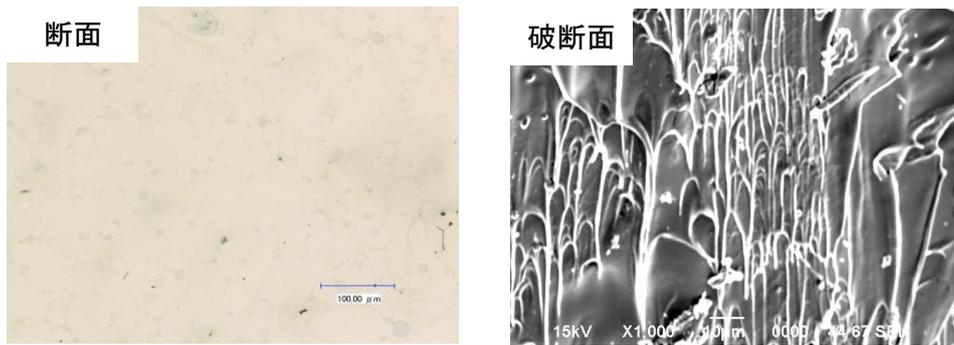


図 17 Zr 基加熱圧縮成形品断面及び破断面

4) 開発粉末の加熱圧縮成形

上述の開発粉末を用いた圧粉体の加熱圧縮成形を行った。

加熱圧縮成形は条件の最適化を行い、サンプルを作製した。図 18 に開発粉末を用いた圧粉体の加熱圧縮成形を行った試料の外観を示す。外観は金属光沢を有しておりこれまでの成形体とは違いが見られない。

図 19 に圧縮破壊強度試験結果を示す。比較材として、FeMo 基および FeGa 基成形サンプルの試験結果も併せて示す。開発粉末成形サンプルは、約 2000MPa の強度を達成し、FeMo 基成形サンプルよりも高強度の成形体である。



図 18 開発粉末成形サンプル外観写真

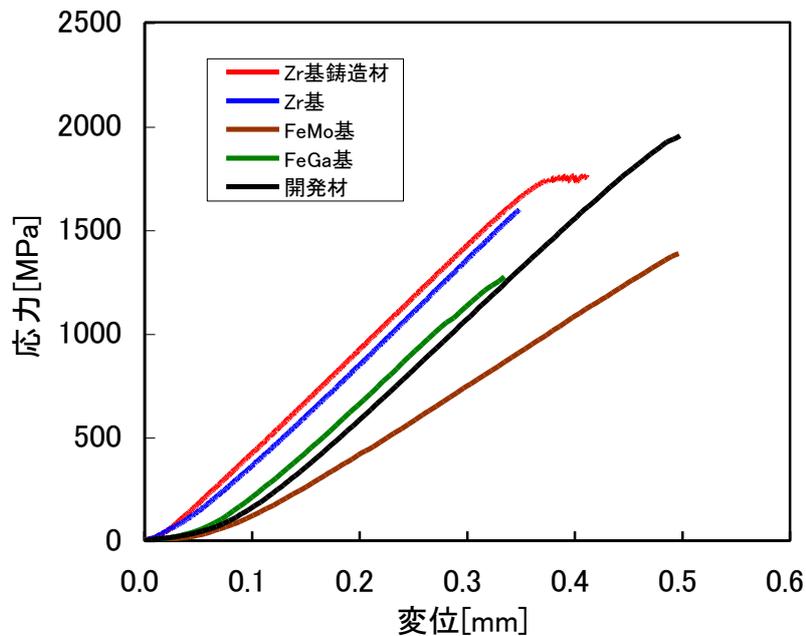


図 19 圧縮破壊強度試験結果

5) Ni 基金属ガラス

Ni 基粉末から作製した金属ガラスサンプルの圧縮破壊強度試験を行った。Ni 基は耐摩耗性が良好との報告があり、高強度の期待が持てる。試験条件は、前項の圧縮破壊強度試験と同様である。加熱圧縮成形は条件の最適化を行い、サンプルを作製した。

図 20 に圧縮破壊強度試験結果を示す。

圧縮破壊強度の試験結果より、Ni 基成形サンプルは、約 2200MPa の高強度を達成した。この結果は、開発粉末成形サンプルよりも高強度である。

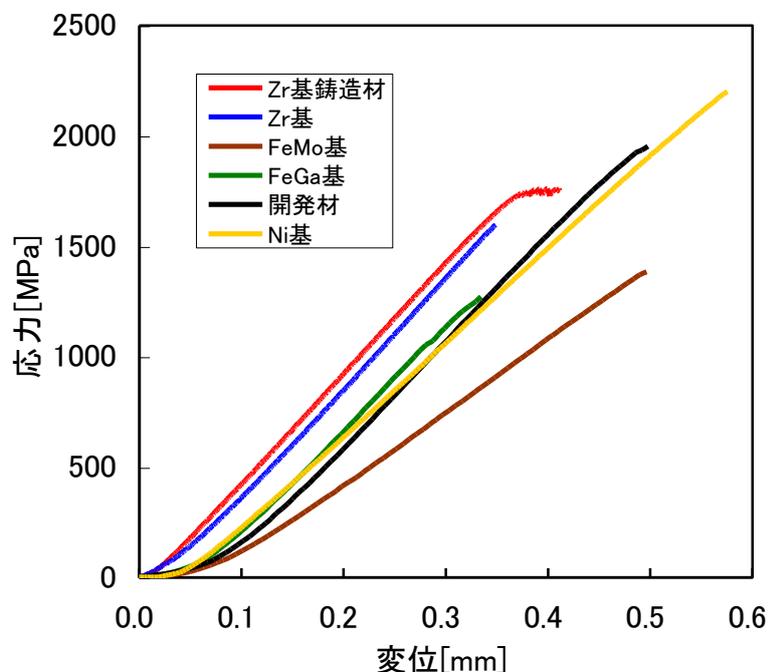


図 20 Ni 基成形サンプル圧縮破壊強度試験結果

(2) 耐食性試験

金属ガラスで作製したサンプルの耐食性を確認した。サンプルを 5%塩水に浸し、放置した。

1) 試験条件

水の種類：塩水
試験温度：20°C（室温）
試験時間：48hr

図 21 に塩水試験結果を示す。試験サンプルは、条件の最適化を行い、作製した。尚、Fe Ga 基は、圧縮破壊強度試験後のサンプルを使用した。

浸漬時間 24hr で、FeGa 基、FeMo 基及び開発材の酸化が確認された。SUS420F は、浸漬時間 48hr で酸化が確認されたが、Zr 基及び Ni 基は酸化が確認されず、耐食性が良好なことが確認できた。以上の結果より、Ni 基金属ガラス粉末成形体が現行品の SUS420F 以上の耐食性が得られることから、本試験によっても Ni 基金属ガラスの優位性が実証できた。

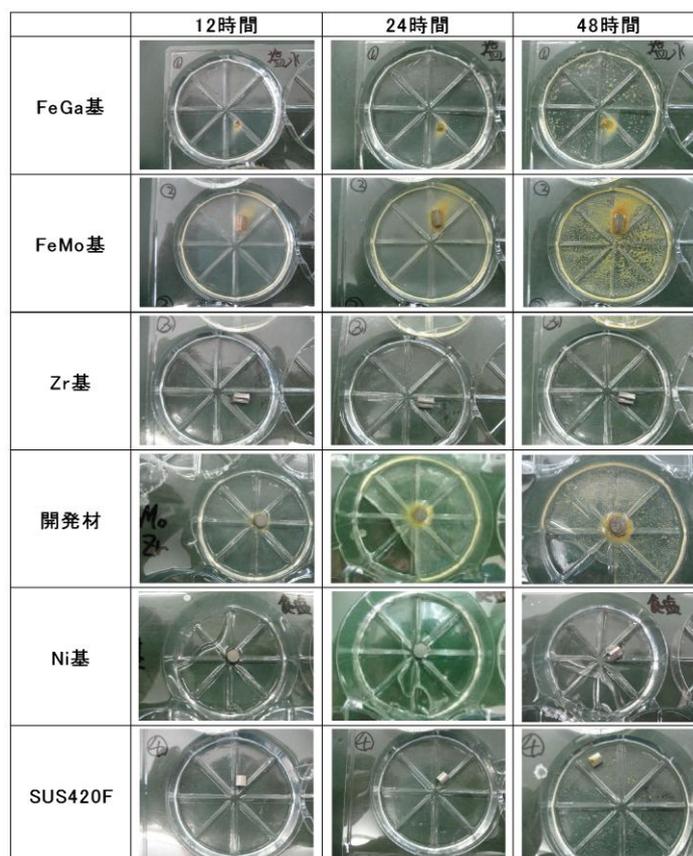


図 21 塩水耐食性試験結果

② マイクロ金型材料・作製方法の最適化の検討

②-② 金型作製技術の検討

加熱圧縮成形用金型の構造を検討することにより、後工程の省略が可能となり、コストの削減ができた。又、原料使用量の削減もでき、歩留りも向上した。

③ 高能率生産設備の開発

③-2 歩留りの向上

(1) 超音波を付加した成形機による圧縮性確認

一般的に、塑性変形がなく単純な圧縮では成形が困難である金属ガラス粉末の成形に超音波成形技術を応用して、粉末と粉末／粉末と金型間の摩擦により発熱させ、結合させる方法を検討した。

1) 使用設備

超音波成形には、平成 20 年度に導入した成形機を用いた。

2) 試験条件

原料：FeMo 基

試験片サイズ：φ5×L8（加圧面積 0.189cm²、重量 0.6g）

設定荷重：8、9、10kN

超音波出力：上パンチ側≒40%、下パンチ側≒38%

3) 試験結果

図 22 に超音波成形機による圧縮性確認試験の結果を示す。

図中の条件①及び②は、成形時の上下パンチの動きを示している。動きの違いにかかわらず、超音波振動の付与により、圧粉体の密度上昇が認められる。また、その密度の上昇は超音波の付与時間が長い程、効果大きい。超音波振動なしに比べ、約 $0.15(\times 10^3\text{kg/m}^3)$ の密度上昇が確認できた。

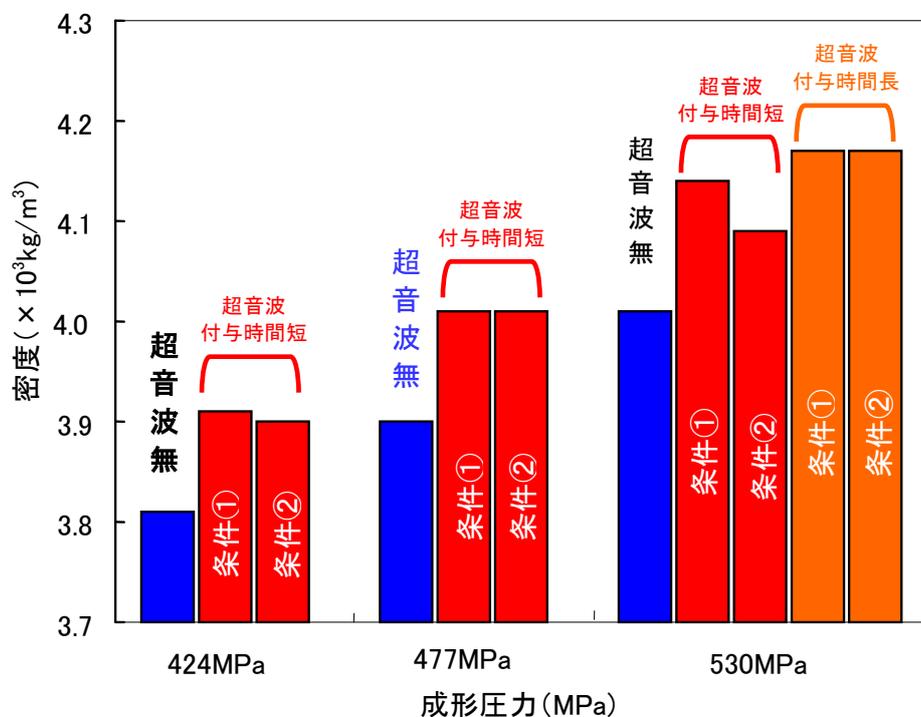


図 22 超音波成形機による圧縮性確認試験結果

③-3 生産条件の最適化

(1) 成形条件の最適化

Zr 基金属ガラス粉末の成形条件を最適化する為に、上下パンチと外枠の構造を有する金型で条件出しを行った。

1) 使用設備

ギヤの成形には、平成 19 年度に導入した加熱圧縮成形機を用いた。

2) 試験条件

図 23 にギヤサンプル形状を示す。

成形を行ったギヤサンプル形状は、高回転化に対応した新設計の形状であり、主にギヤの歯数を 10 枚に変更している点が昨年の形状と主な変更点である。試験条件は、成形圧力、成形温度および保持時間を変更した四水準で行った。



図 23 ギヤサンプル形状

3) 試験結果

図 24 に各条件で作製した成形品外観の走査電子顕微鏡 (SEM) 像を示す。成形圧力および成形温度の上昇に伴いギヤ表面の粉末形状の変形が認められた。試験条件④により得られた成形体は、粉末形状の残存も認められず、良好な成形品が得られた。

表 1 に各成形品の密度、表面粗さ、硬さを示す。成形圧力および成形温度の上昇に伴い成形品の密度が増加している。また、試験条件④で得られた成形品の密度は鋳造材と同等の値を示し、真密度に達している。試験条件④で得られた成形体の表面粗さは金型の表面粗さと同等になっている。成形品の硬さは、成形条件によらず 525~561 の値を示し、鋳造材と同等で結晶化はしていないと考えられる。

図 25 に、試験条件④で作製したギヤサンプルの X 線回折 (XRD) 測定結果を示す。結晶性の鋭いピークがないことから、歯先はガラス相を維持しており、結晶化していないことが確認できた。

以上の結果から、ギヤサンプルの成形条件としては、試験条件④が最適であることがわかった。

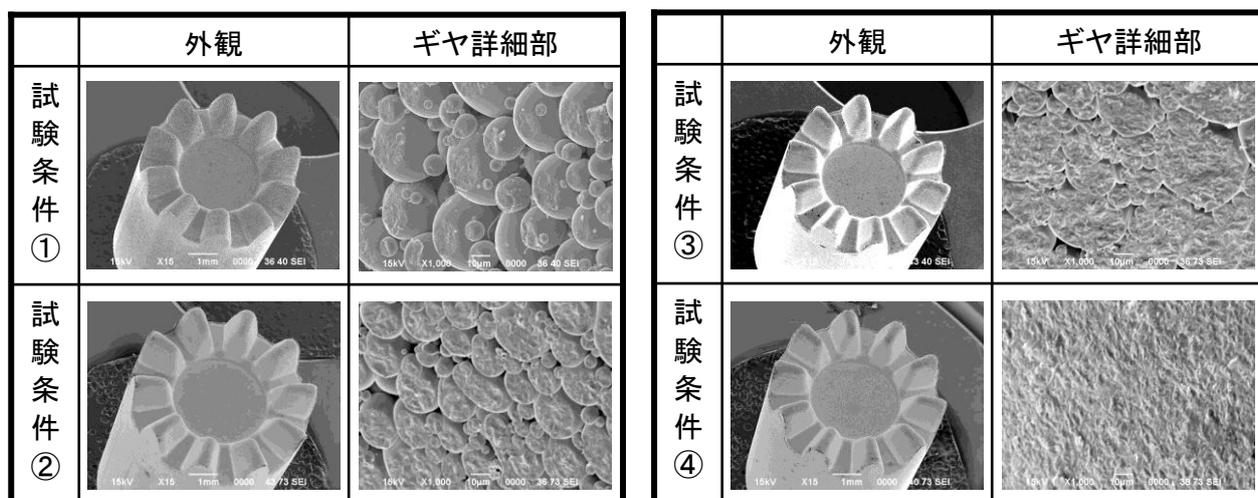


図 24 各条件で作製した成形品の外観とギヤ詳細部

表 1 各条件で作製した成形品の密度、表面粗さ、硬さ

サンプル No.	密度 [$\times 10^3 \text{kg/m}^3$]	表面粗さ (Ra) [μm]	ビッカース硬さ (HV0.2)
現行品 (SUS420F)	-	0.21	709
鋳造材サンプル	6.86	-	526
試験条件①	6.78	-	542
試験条件②	6.72	-	525
試験条件③	6.83	-	533
試験条件④	6.87	0.22	561
金型表面粗さ	-	0.22	-

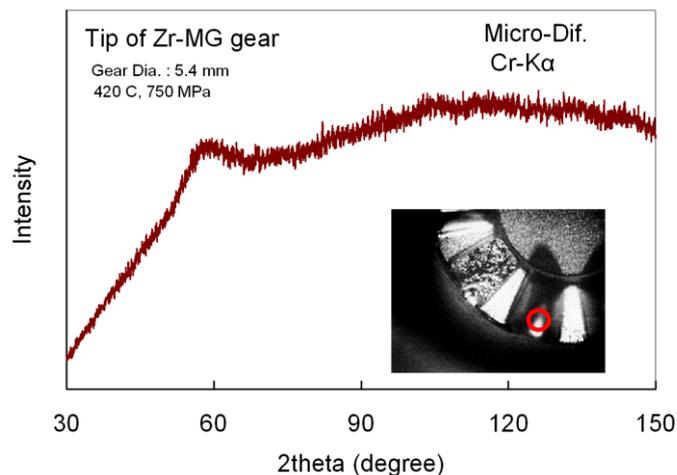


図 25 キヤサンプルの XRD 測定結果

(2) 製造原価減少推移と予想

図 26 に製造原価減少推移と予想を示す。

開発当初は、製造単価が¥3,864 であったが、現在は¥692 まで低下している。今後は、¥108 まで低下させることが可能だと考えられる。

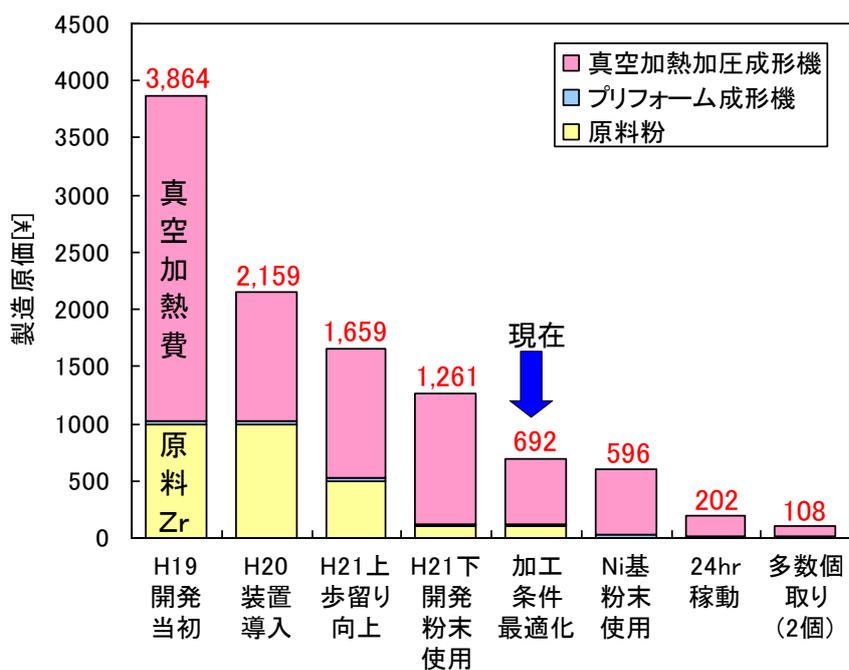


図 26 製造原価減少推移と予想

④ 製品評価技術確立への対応

④-1 評価方法の確立

(1) 非接触三次元測定機によるギヤ形状測定

ギヤ形状金型及び金属ガラスで作製したサンプルのギヤ形状測定を行うため、非接触三次元測定機の検討を行った。金型及びサンプルのギヤ形状精密測定は、工程管理のために必須である。

1) 使用装置

図 27 に非接触三次元測定機の外観写真と主な仕様、図 28 に測定原理を示す。

測定原理は、照射されたレーザ光がワーク表面で反射し、反射した光を対物レンズが捕らえ、その位置情報をもとに座標値を読み込む方式である。(レーザプローブ方式)

主な特徴は、急斜面測定に優れた追従性を発揮することである。



主な仕様

- 1.レーザスポット径 : $1\mu\text{m}$ (100倍時)
- 2.測定ワークサイズ : $\phi 0.02\text{mm}\sim\phi 80\text{mm}$

ステージ部

軸名	移動範囲	分解能
X	120mm	$0.1\mu\text{m}$
Y	90mm	$0.1\mu\text{m}$
Z	130mm	$0.1\mu\text{m}$
AF[R]	40mm	$0.01\mu\text{m}$
θ	360°	0.001°

図 27 非接触三次元測定機の外観写真と主な仕様

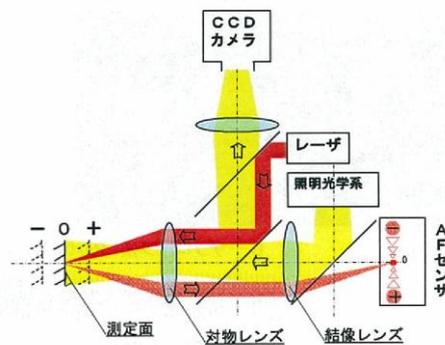


図 28 非接触三次元測定機の測定原理

2) 測定条件

ギヤ形状金型及び金属ガラスで作製したサンプルのギヤ形状を測定した。測定ピッチは金型、サンプルそれぞれで最適化を行った。

3) 測定結果

図 29 にギヤ形状金型の歯形形状測定結果、図 30 に金属ガラスで作製したサンプルの歯形形状測定結果、図 31 に金型及びサンプルの歯形形状拡大図を示す。

金型、サンプル共に歯形形状のトレースができ、ギヤ形状の検査が可能となった。金型を管理する事により、品質を向上させることが出来ると考えられる。また、金型及びサンプルの歯形形状拡大図より、金型とサンプルの形状が一致しており、高精度転写加工されたことがわかる。よって、超精密ギヤが製造出来たことが確認出来た。

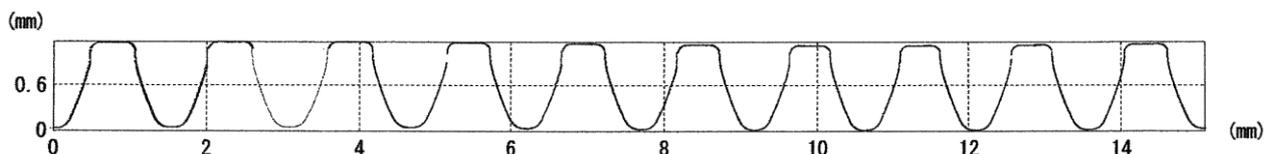


図 29 ギヤ形状金型の歯形形状測定結果

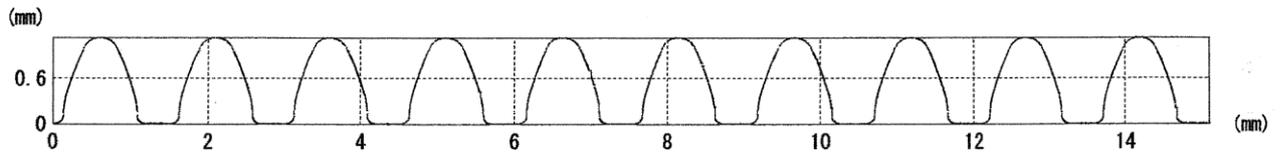


図 30 金属ガラスで作製したサンプルの歯形形状測定結果

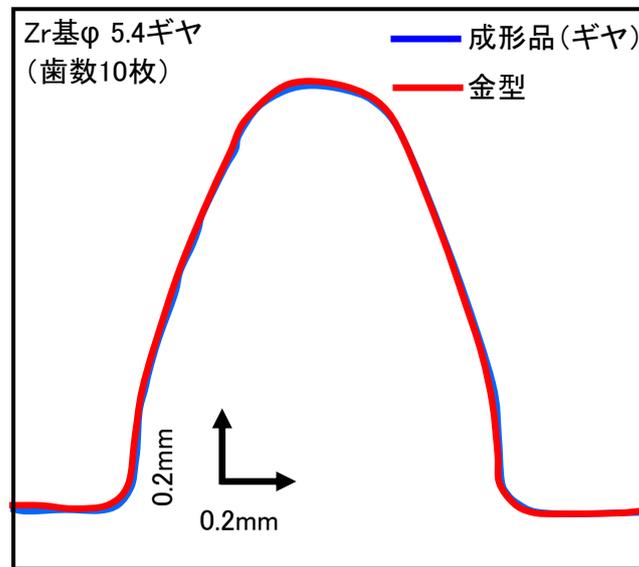


図 31 金型及びサンプルの歯形形状拡大図

④-2 実機による耐久試験

(1) 耐久性加速試験

金属ガラスで作製したサンプルの耐摩耗性評価を行うため、耐久性加速試験機の開発を行った。

図 32 に装置外観、図 33 に嚙合部外観写真を示す。

この設備は、50,000rpm まで回転数を上げられるため、高速での加速試験が可能である。



図 32 耐久性加速試験機外観写真

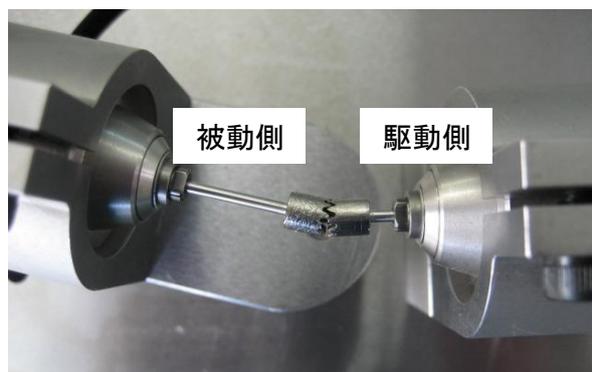


図 33 嚙合部外観写真

1) 試験条件

従来ギヤ (SUS420F φ5) と金属ガラスで作製したギヤ (Zr 基 φ5.4) の比較試験を行った。試験時間は 13hr である。

2) 試験結果

図 34 に従来ギヤ (SUS420F $\phi 5$)、図 35 に金属ガラスで作製したギヤ (Zr 基 $\phi 5.4$) の耐久性加速試験後 SEM 写真を示す。両ギヤとも駆動側及び被動側に同程度の摩耗がみられた。

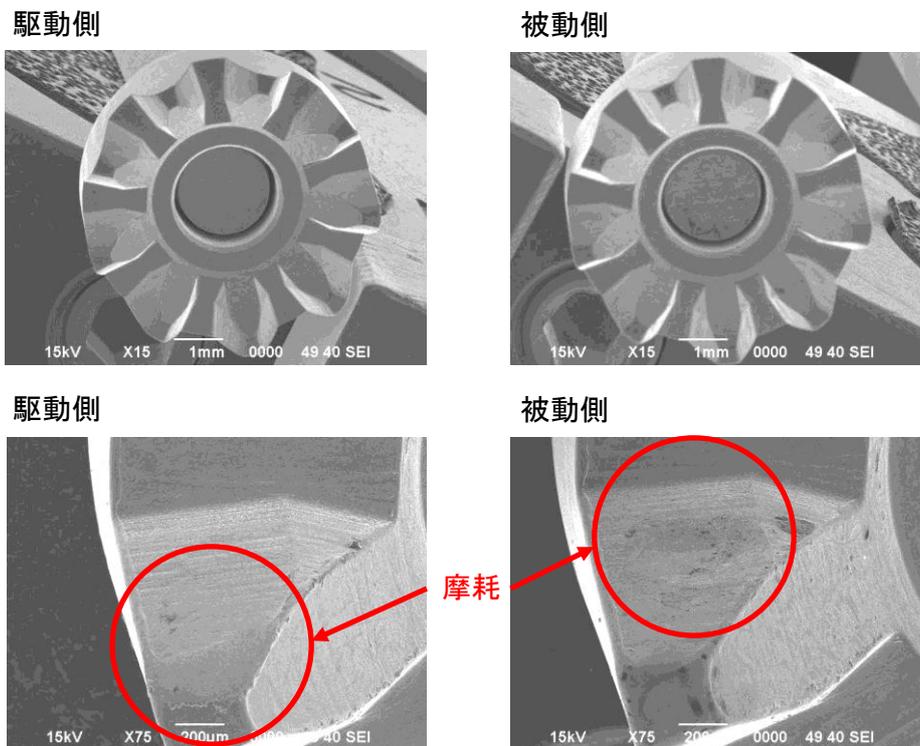


図 34 従来ギヤ (SUS420F $\phi 5$) 耐久試験後外観および歯先表面

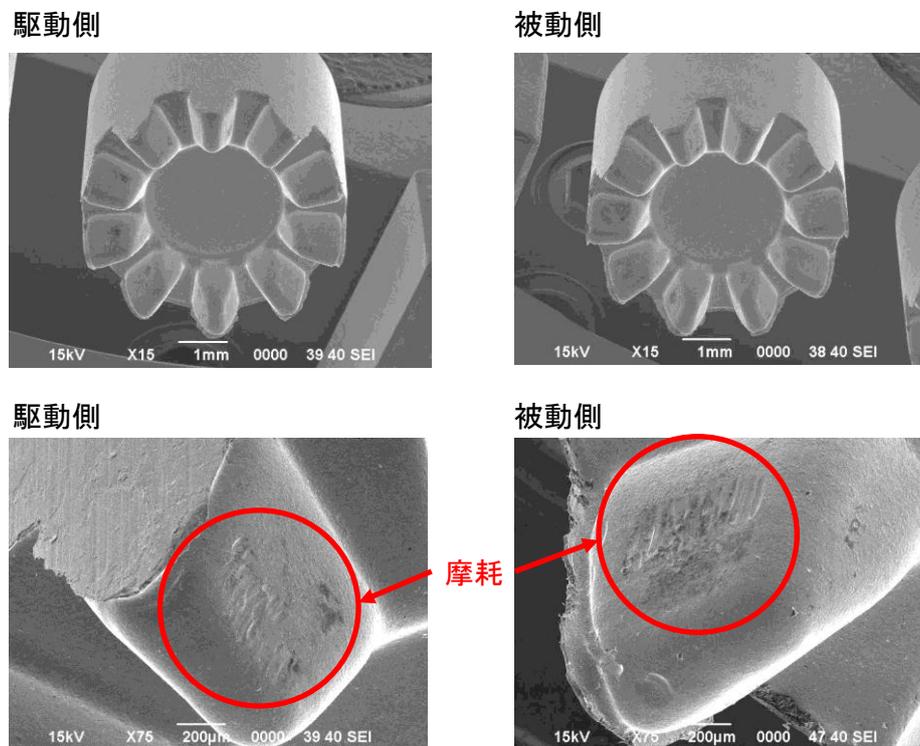


図 35 金属ガラスで作製したギヤ (Zr 基 $\phi 5.4$) 耐久試験後外観および歯先表面

(2) 実機による耐久試験

歯科用ハンドピース実機に、作製した Zr 基金属ガラスサンプルを組み込んで耐久性評価を行った。

1) 使用設備

川下ユーザー（歯科医療機器最大手の(株)モリタ製作所）による実機耐久試験機を使用して耐久性の評価を行なった。

図 36 に実機耐久試験機の外観写真を示す。



図 36 実機耐久試験機外観写真

2) 試験条件

無負荷、負荷のサイクルで 100hr 試験を行った。分解観察時(5, 24, 48hr)に給油を行っている。

試験時間：100hr

給油：分解観察時(5, 24, 48hr)

3) 試験結果

表 2 に実機耐久試験結果を示す。

駆動側、被動側ともに、なじみによる初期摩耗は若干みられるが、摩耗の進行は認められなかった。また、摩耗が進行すると電流値及び電圧値が急激に上昇するが、今回の試験ではその傾向もみられなかった。

表 2 実機耐久試験結果

駆動時間	調整時 駆動電流	調整時 駆動電圧	写真観察	
			駆動側	被動側
0	0.14	9.35		
24	0.13	9.48		
48	0.13	9.59		
100	0.13	9.54		

第3章 全体総括

3-1 全体総括

混合金属ガラス及び原料組成の見直しによる高強度化の検討を行い、Zr 基以上の圧縮破壊強度を有する Zr 基+FeMo 基混合粉及び Ni 基の開発ができた。これらの原料は Zr 基に比べコストが安く、Zr 基+FeMo 基混合粉はプリフォーム成形性、Ni 基は耐食性に於いて優れた特性を有している。

プリフォーム成形の確立、真空加熱加圧成形時の生産条件の最適化等を行うことにより、材料歩留り及び生産速度を向上させた、歯科用ハンドピースの駆動部品であるギヤ製品の新規工程による作製が可能となった。

新規工法により作製したギヤ製品の評価方法を確立した事により、川下企業との取決めを含めた仕様を満足する製品に仕上げることができた。また、耐久性加速試験及びユーザーである川下企業においても実機による耐久試験を行い、ギヤ製品が実用に耐える事が確認できた。

3-2 今後の開発計画

図 37 に今後の開発計画を示す。

H22 年度に Ni 基粉末の検討を進め、H23 年度にサンプルの配布とテストマーケティングを行う。最終的に H24 年度からの事業化を目指す。



図 37 今後の開発計画

3-3 事業化計画

- ① 補完研究終了後、歯科治療機器の中で具体的に要請が出ている「駆動系マイクロ部品」の即事業化を目指す。このため今回の研究開発段階から歯科医療機器メーカーがアドバイザーとして参画しており、テストマーケティングを実施しながら市場の声をフィードバックして製品化する。
- ② 並行して、1) の成果を利用した、血管カテーテルのロータブレードの回転駆動や内視鏡のレンズ駆動、超音波振動子の駆動、マニピュレータの先端駆動、薬液散布ポンプ駆動等への応用技術の開発を行う。(東北大学、(株)BMGの協力を受け、また埼玉県産業技術総合センターから適宜アドバイスを受けながら進める。)
- ③ ②の開発の事業化のための生産体制整備を行う。具体的には、材料供給は(株)BMG、生産設備の整備は(株)山城精機製作所等の協力を、社内の「設計開発」=技術部、「金型作製」=

金型技術部、「生産」＝製造部、「品質管理」＝品管部の体制も、2)の製品供給に対応できる体制にする。

- ④ ポーライト㈱の国内の各営業拠点（本社、熊谷、名古屋、大阪）だけでなく海外の営業拠点（香港、ヨーロッパ（フランス）、アメリカ）の販売ルートを使って取引先約 500 社の中のモータ・ギヤドモータメーカーを中心にグローバルな販売活動を行う。