

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高機能焼結機械部品の一体形状生産技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月 3 1 日

委託者 関東経済産業局

委託先 J F E テクノリサーチ株式会社



## 目次

第1章	研究開発の概要	1
1.1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1.2	研究体制	3
1.3	成果概要	6
1.4	当該プロジェクト連絡窓	6
第2章	本論	7
2.1	鉄系金属粉末中に埋設したロッド付ボール部を金型中で一体成形・焼結する技術	7
2.1.1	工法考案	7
2.1.2	材料の選択	8
2.1.3	金型の設計	11
2.1.4	ロッド付ボールを用いた実際のインサート実験	12
2.2	一体成形したホルダー部とロッド付ボール部が焼結時に固着することを防ぐ技術	17
2.2.1	ボールの表面処理の選択	17
2.3	焼結後のホルダー部とボール部間のクリアランスの低減、及びホルダー表面部緻密化のためのサイジング技術	19
2.3.1	サイジング条件の設定	19
2.3.2	クリアランス測定治具の作成	21
2.3.3	測定及び測定結果	21
2.4	小タイプの焼結ボールジョイントのサンプル提出	24
2.5	ボールジョイントに関する特許出願動向調査	25
第3章	まとめ	29



## 第1章 研究開発の概要

本開発では、金属粉末中にロッド付鋼球を埋め込み、金型中で一体成形した後に、そのまま焼結し、更に、金属粉末焼結材の軸受部を金型中で再加圧（サイジング）することにより軸受部（以後、「ホルダー」という。）と鋼球部（以後、「ボール」という。）間の がた を低減するとともに、金属粉末焼結材のホルダーに潤滑油を含浸させてホルダーに自己潤滑性を付与する技術を開発する。これにより、ボールとホルダー間の潤滑用グリースを保持するための金属キャップやゴムブーツなどの部品を削減して生産性を向上させる。

本工法「高機能焼結機械部品の一体形状生産技術」の今年度の取り組みは以下のとおりである。

鉄系金属粉末中に埋設したロッド付ボール部を金型中で一体成形・焼結する技術の開発

（実施：ナパック株式会社）

- ・原料条件、成形条件及び焼結条件の開発：

焼結後の密度が焼結前の成形物の94%未満で、焼結後にホルダーとロッド付ボール部が固着しないよう原料及び圧縮成形条件、焼結雰囲気、温度等を研究する。

- ・一体成形用金型及び周辺ツールの開発：

鉄系金属粉末中の所定位置にロッド付ボールを設置することができる多段成形金型及び金型機構技術を研究する。

一体成形したホルダー部とロッド付ボール部が焼結時に固着することを防ぐ技術の開発

（実施：ナパック株式会社）

- ・固着抑制層の開発：

ホルダー部とロッド付ボール部が焼結時に固着することを防ぐため、ボール表面部へ表面処理を行うことにより、固着防止が可能か否かを研究する。

焼結後のホルダー部とボール部間のクリアランスの低減とホルダー表面部を緻密化するサイジング技術の開発（実施：ナパック株式会社）

- ・サイジング工法の開発：

一体成形焼結部品のサイジングに適したサイジングプレスを選択と開発を行う。

- ・サイジング用金型及び周辺ツールの開発：

焼結後のホルダー部とボール部間のクリアランスの低減、及びホルダー部表面に含浸させた潤滑油の滲出を防止するために相対密度94%以上の緻密化層を形成するためのサイジング用ダイアッシイとその機構技術を研究する。

ボールジョイントに関する特許出願動向調査（実施：JFEテクノロジー株式会社）

- ・近年におけるボールジョイントの製造方法に関する特許出願動向調査を行い、本事業の研究開発成果の独自性の権利化を促進する。

## 1.1 研究開発の背景・研究目的及び目標

### 1.1.1 研究開発の背景

現在流通している産業用ロボット・工業計測・加工用制御プラットフォーム分野では、シリアルリンク構造が多用されているが、小形化や機械制御が難しいなどの課題があり、より高精度の3次元位置制御が容易な関節用ジョイントを使ったパラレルリンク機構のジョイントが提案されている。従来の鋳造法や樹脂成型法によるボールジョイントは、がた、低耐久性、構造が複雑などの課題があり、ジョイントを多用するパラレルリンク機構では不利であった。

本研究開発では、粉末冶金法を用いてパラレルリンク機構用の、部品点数が少なく生産性が高く、構造が簡単で がた が小さい高精度のボールジョイントの製造技術を開発する。

### 1.1.2 研究目的及び目標

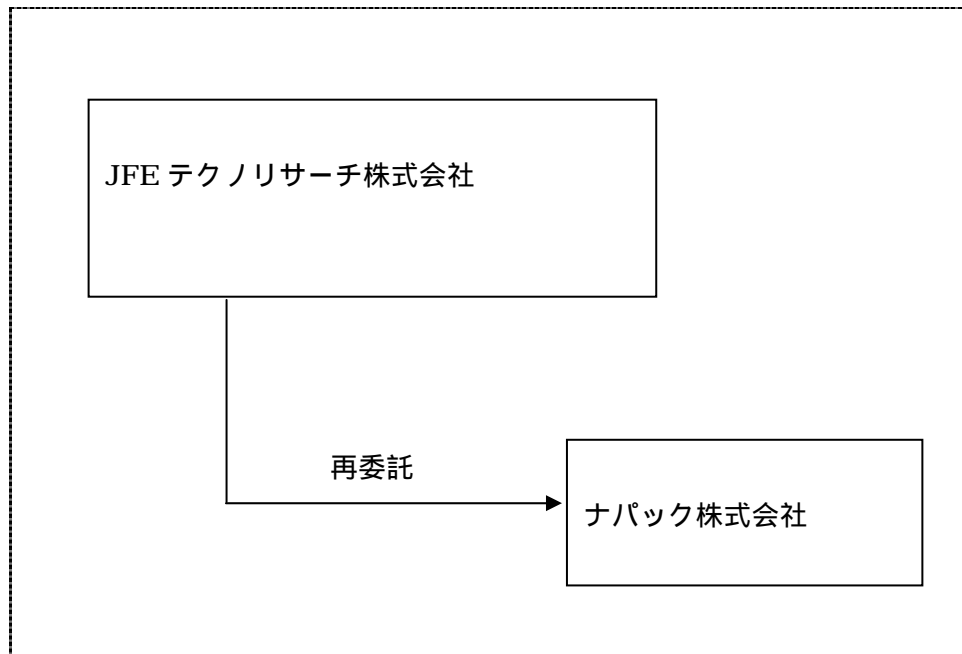
本研究開発では、今後も需要の伸長が期待されるロボット用など、可動部にリンク機構が多用される高精度のボールジョイントを効率よく製造する技術を確立することを目的にして、部品点数の削減と高精度化のための高機能焼結機械部品の一体形状生産工法を開発する。具体的には、以下の要素技術を開発することを目標とする。

- ( ) 鉄系金属粉末中に埋設したボール部を金型中で一体成形・焼結する技術
- ( ) 一体成形したホルダー部とボール部が焼結時に固着することを防ぐ技術
- ( ) 焼結後のホルダー部とボール部間の がた の低減、及びホルダー部に含浸させた潤滑油の滲出を抑制する緻密化層を形成するためのサイジング技術の開発

## 1.2 研究体制

### 1.2.1 研究体制及び管理体制

#### (1) 研究組織

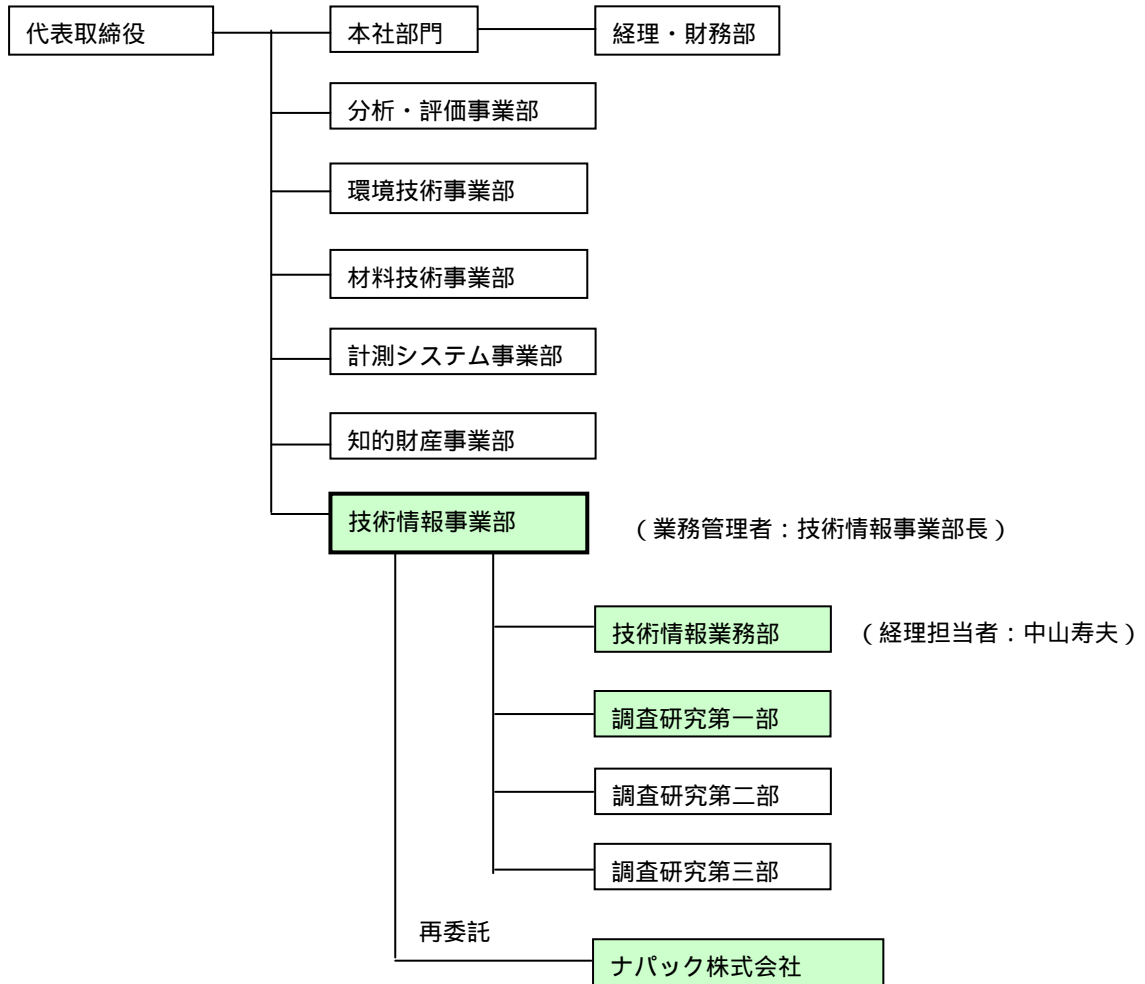


総括研究代表者 (PL)
ナパック株式会社
技術営業部 副部長 黒田 直人

副総括研究代表者 (SL)
ナパック株式会社
技術営業部 技術課 秋山 好広

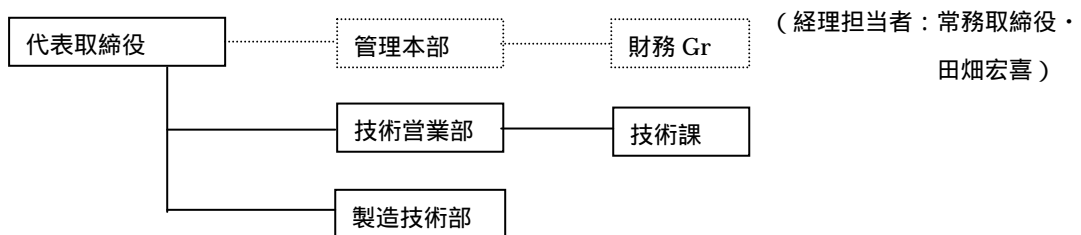
(2) 管理体制  
事業管理者

【JFE テクノリサーチ株式会社】



再委託先

【ナパック株式会社】





### 1.2.2 管理員及び研究員（役職は平成22年3月1日現在）

（事業管理者）

【JFE テクノリサーチ株式会社】

（ ） 管理員

長野 誠規	技術情報事業部	調査研究第一部	主査
高嶋 わか菜	同上	同上	担当

（ ） 研究員

加藤 嘉英	技術情報事業部	調査研究第一部	部長
長野 誠規	同上	同上	主査

（再委託先）

【ナパック株式会社】

黒田 直人	技術営業部	副部長
秋山 好広	技術営業部	技術課 主任

### 1.2.3 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

（事業管理者）

【JFE テクノリサーチ株式会社】

（経理担当者）	技術情報事業部	技術情報業務部	主査	中山 寿夫
（経理管理者）	同上	常務取締役事業部長		大村 雅紀

（再委託先）

【ナパック株式会社】

（経理担当者）	常務取締役	田畑 宏喜
（業務管理者）	常務取締役	田畑 宏喜

### 1.2.4 他からの指導・協力者

（アドバイザー）

中田 一彦	株式会社世界最速試作センター	代表取締役
滝澤 秀一	長野県工業技術総合センター	材料技術部門 金属材料部長

### 1.3 成果概要

今回のロッド付ボールを埋め込んだ焼結部品を製造するに当たって、ロッド付ボールを成形時にセットしてホルダーを粉体成形する方法を考案した。

鉄系金属粉末あるいは銅系金属粉末を原料として形成するホルダー部と、ロッド付ボールを一体成形し、これを焼結した後にロッド付ボールが固着することなく可動する材料条件、成形条件及び焼結条件を見出した。鉄系材料は、Fe-Cu-C系を選択し、成形条件として、密度を 6.8 Mg/m<sup>3</sup>とし、焼結条件として温度 1140 及び雰囲気N<sub>2</sub>を選択した。銅系材料は、Cu-Sn-Fe-C系及びCu-Sn系を選択し、成形条件として密度は 6.4、6.8、7.2 Mg/m<sup>3</sup>の 3 水準のいずれも可とし、焼結条件として温度 780 及び雰囲気H<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>を選択した。なおいずれの密度も真密度の 94%以下である。

選択した材料をもとに成形金型、サイジング金型を設計し、それを用いたインサート成形を行い、実際に可動可能なボールジョイントを製作できるか実験を行った。その際、ホルダーとボールが固着しない表面処理の検討も行き、組み合わせ条件を調べた。その結果、小サイズ部品では、銅系材料Cu-Sn-Fe-C系、密度 7.2 Mg/m<sup>3</sup>、コーティングボールの組み合わせが最適であることがわかった。中サイズ部品においては、鉄系材料Fe-Cu-C系、密度 6.8 Mg/m<sup>3</sup>、焼入れ無しボールの組み合わせが最適であった（注：Mは 100 万を意味する）。

次に、これをサイジングすることによって、ホルダー部とボール部のクリアランスを 10 μm 以下の適正化に最適化する技術を確認した。また密度が 94%以下であることにより、通常の含油軸受と同様に含油を行ってホルダー部とボール部の潤滑性を向上させることが可能となる。

以上の実験結果により、部品点数が少なく高精度のボールジョイントを効率よく製造できる可能性を見出した。今後、ロボット用の可動部のリンク機構などへの利用が期待できる。

ボールジョイントに関する特許調査の結果によれば、本工法でのボールジョイント製造方法に類似した申請及び権利化はされておらず、新規性があることがわかった。

### 1.4 プロジェクト連絡窓口

JFE テクノリサーチ株式会社

技術情報事業部 調査研究第一部 主査 長野 誠規

TEL 03-3510-3414

FAX 03-3510-3475

E-mail nagano@jfe-tec.co.jp

## 第2章 本論

### 2.1 鉄系金属粉末中に埋設したロッド付ボール部を金型中で一体成形・焼結する技術

#### 2.1.1 工法考案

通常の成形工法において2部品を組み合わせる方法としては、焼結された部品と結合したい部品を、カシメや圧入などの物理的な方法により結合するものが一般的である(工法1)。さらに焼結部品の特徴としては、成形体同士を組み合わせて両部品を焼結すると同時に、焼結時の収縮率の差による焼き嵌め効果により、結合させる方法(工法2)もよく行われている。

今回のロッド付きボールを埋め込んだ焼結部品を製造するに当たっては、ロッド付きボールを成形時にセットしてホルダーを粉体成形する方法を考案した(工法3)。工法1の方法に対する利点としては、カシメや圧入のような後工程が不要になること、また工法2の方法は二部品を強く接合することを目的としており、ロッド付きボールをホルダーの内部にて可動状態に保持するためには不適切である。工法3の方法においては粉末成形・焼結を行うホルダー部の収縮率をコントロールできれば焼き嵌め状態(図2.1-1参照)にすることなくロッド付きボールを可動状態(図2.1-2参照)にすることが可能であると考えられる。

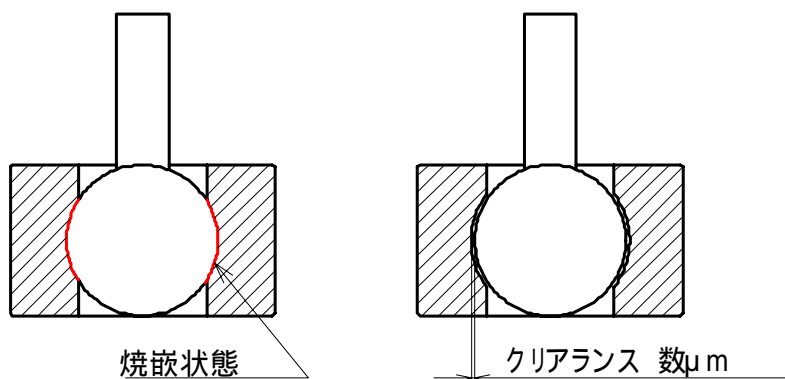


図 2.1-1

図 2.1-2

図 2.1-1 収縮率が大きく焼き嵌め状態になったポンチ図

図 2.1-2 収縮率をコントロールしクリアランスがあるポンチ図

本工法におけるポイントは、次の2点である。

- (a) 材料の収縮率を0%～+1%程度にコントロールすること
- (b) ホルダー部に囲まれるボールとホルダー自身との凝着の有無

以上のポイントを確認するためにまずホルダー用の金属粉末材料の選択を行った。

### 2.1.2 材料の選択

量産を前提に考えたときにはホルダー用の金属粉末として鉄系材料がもっとも安価になるため、鉄系材料で製作することが望ましい。ただし、鉄系材料で上記のポイント(a)、(b)が満足できない場合を考えて、あわせて銅系材料での製造が可能かどうかを検討を行う。実験用金型としては 19 穴無しプランク金型を使用して行った。

#### ・材料候補

鉄系材料：Fe-Cu-C 系（記号 FK28NS），Fe-Cu-C 系（記号 FK28N）

銅系材料：Cu-Sn 系（記号 BT-0010-R），Cu-Sn-Fe-C 系（記号 BT-0710-S）

Cu-Sn 系（記号 LR-3），C 社青銅粉

#### ・成形密度

鉄系材料 6.0 Mg/m<sup>3</sup>，6.4 Mg/m<sup>3</sup>，6.8 Mg/m<sup>3</sup>

銅系材料 6.4 Mg/m<sup>3</sup>，6.8 Mg/m<sup>3</sup>，7.2 Mg/m<sup>3</sup>

#### ・焼結温度(雰囲気条件)

鉄系材料 1090 (H<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>)，1120 (N<sub>2</sub>)，1140 (N<sub>2</sub>)

銅系材料 700 (H<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>)，780 (H<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>)，820 (H<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>)

#### ・成形体寸法： 19 mm × (L8.3 ± 0.2) mm 円柱形状

#### ・目標

収縮率：0 から +1%程度

ボールとホルダーとの凝着なきこと

結果を図 2.1-3～図 2.1-8 に示す。それぞれの図は、密度を変えて成形した円柱形の成形物（初期外径 19 mm）を所定の温度で焼結したときの外径（mm）及び厚さの変化率（%）を示している。

#### 【鉄系材料】

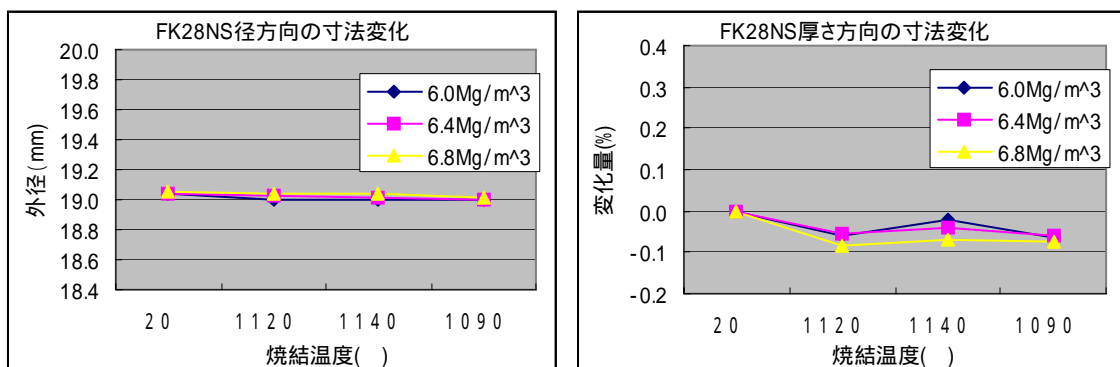


図 2.1-3 鉄系材料 FK28NS の焼結後の寸法変化

【鉄系材料】

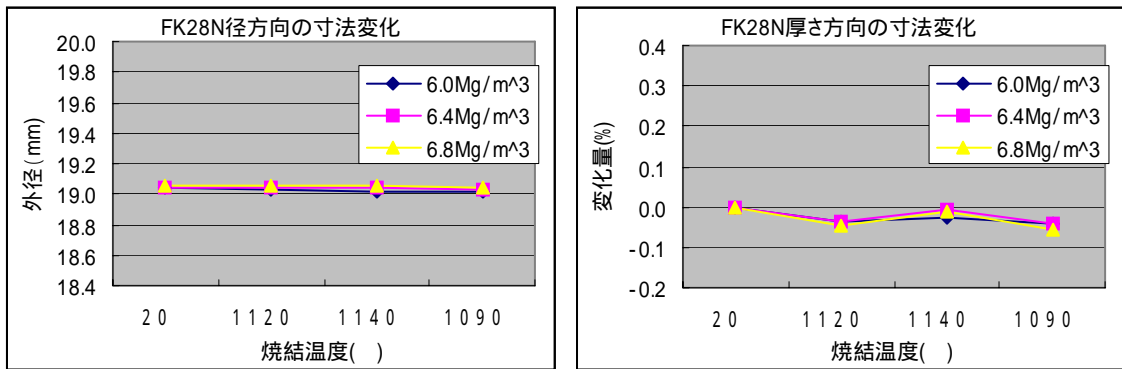


図 2.1-4 鉄系材料 FK28N の焼結後の寸法変化

【銅系材料】

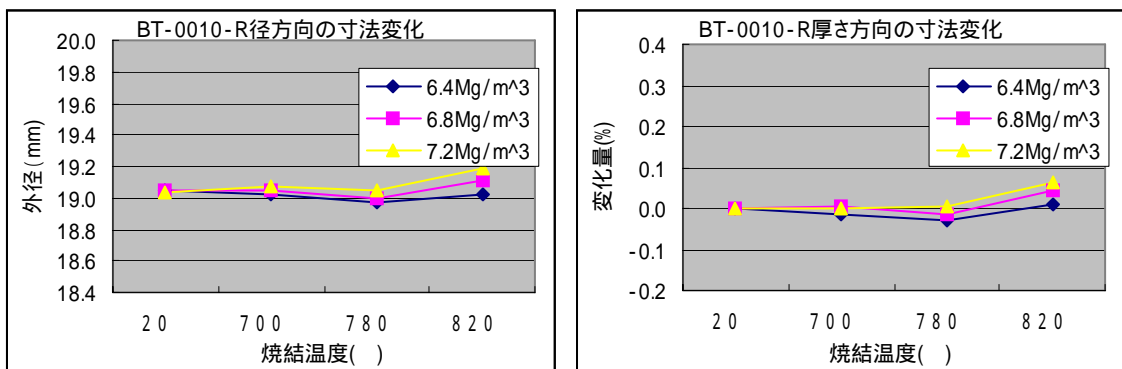


図 2.1-5 銅系材料 BT-0010-R の焼結後の寸法変化

【銅系材料】

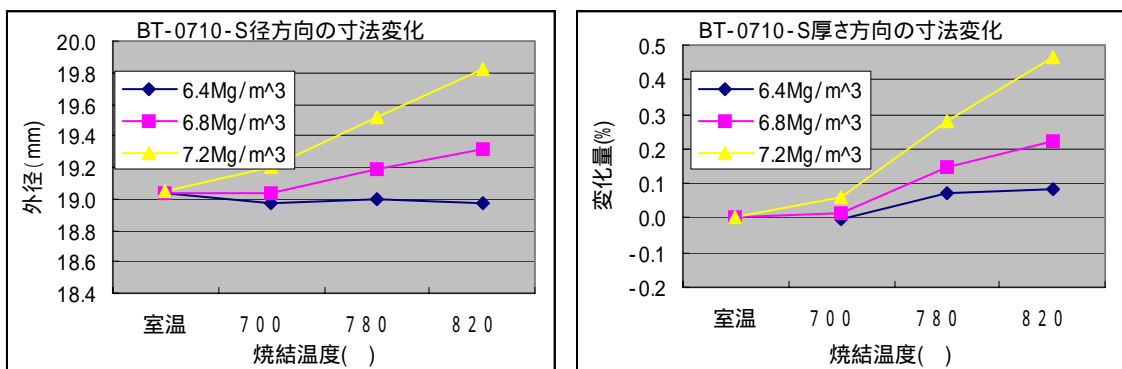


図 2.1-6 銅系材料 BT-0710-S の焼結後の寸法変化

【銅系材料】

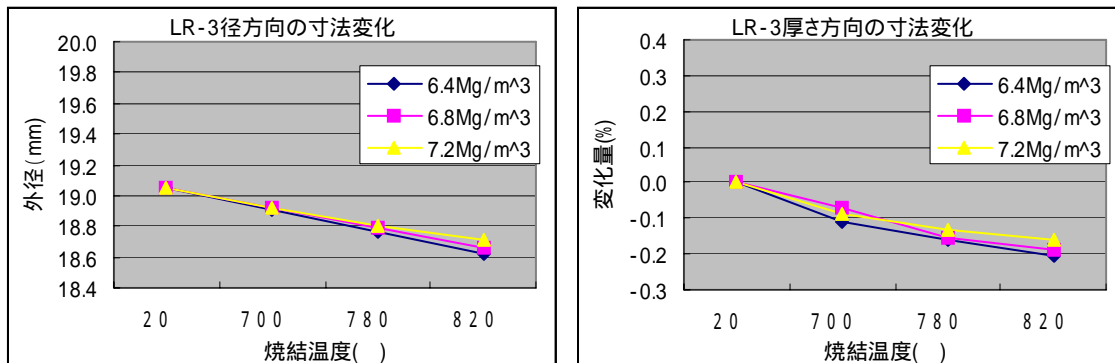


図 2.1-7 銅系材料 LR-3 の焼結後の寸法変化

【銅系材料】

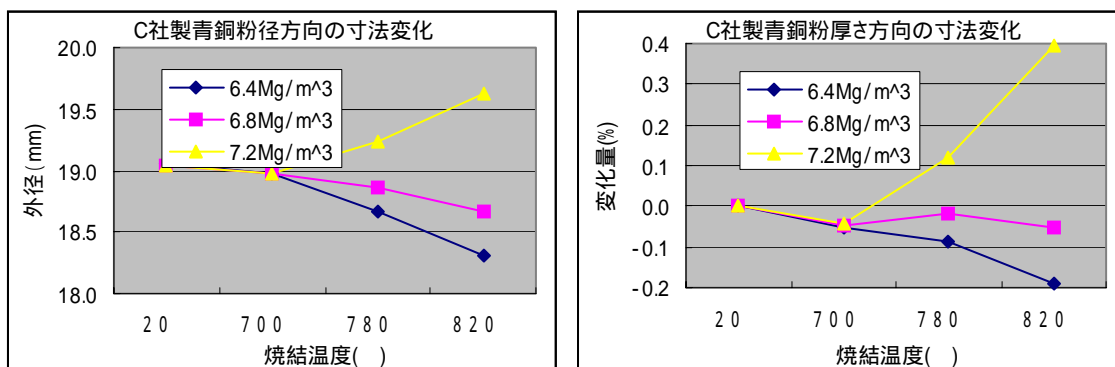


図 2.1-8 銅系材料 C 社製青銅粉の焼結後の寸法変化

鉄系材料を使用した図 2.1-3 及び図 2.1-4 の結果によれば、FK28NS と FK28N のいずれも外形寸法変化率がほぼ 0%前後という結果であったため、標準材料の FK28N を選択した。

銅系材料では、図 2.1-5 ~ 図 2.1-8 に示したように、膨張傾向を示す BT-0710-S 及び BT-0010-R を選択した。成形条件及び焼結条件として鉄系材料では一般的機械部品の製造条件と同じく、密度は 6.8 Mg/m<sup>3</sup> の 1 水準、焼結温度 1140 °C、焼結雰囲気 N<sub>2</sub> を選択した。また、銅系材料では、密度は 6.4、6.8、7.2 Mg/m<sup>3</sup> の 3 水準、焼結温度 780 °C、焼結雰囲気 H<sub>2</sub>+N<sub>2</sub> を選択した。

次に、選択した候補に対して実際にインサート成形を行い、焼結後のロッド付ボールが可動状態になるか否かを確認することとした。

### 2.1.3 金型の設計

実際のユーザとなる可能性のある(株)世界最速試作センターより、第1次の希望の形状図が提案された(図 2.1-9 参照)。

今回実際に成形をするにあたって再度製造上の問題点がないか検討を行ったところ、本形状をそのまま製作しようとする、金型破損のリスクが高いことがわかった。実験を進めるにあたっての時間的な制約等も考えると、リスク低減が必要であるとの結論に達し、(株)世界最速試作センターでの組み込み方法の変更等を検討してもらうことにより、本開発におけるホルダー形状を単純化することとし(図 2.1-10 参照)、これに基づいて金型設計を行った。ポイントはロッド付きボールを本来コアが位置する部分にセットし、下パンチでそれを支える形状としたことである。周辺ツールとして金型を成形機に取り付けるホールド治具の設計と、ロッド付ボールをセットするためのコアフロート機構使うことにより行うこととした(中サイズの場合)。

小サイズの成形に当たっては成形機が単純機構の為、シリンダーによる持ち上げ機構を構想したが、時間の制約上、実際の成形は手動による持ち上げ方式を取った。

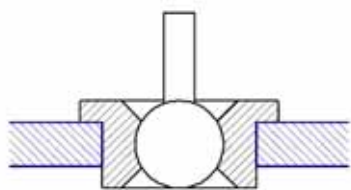


図 2.1-9 金型設計図(当初提案)

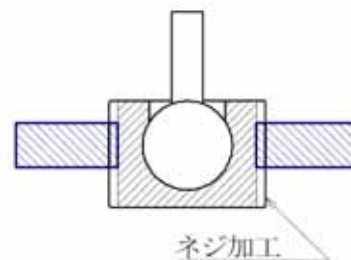


図 2.1-10 金型設計図(変更後)

実際の成形の方法を図 2.1-11 に示す。

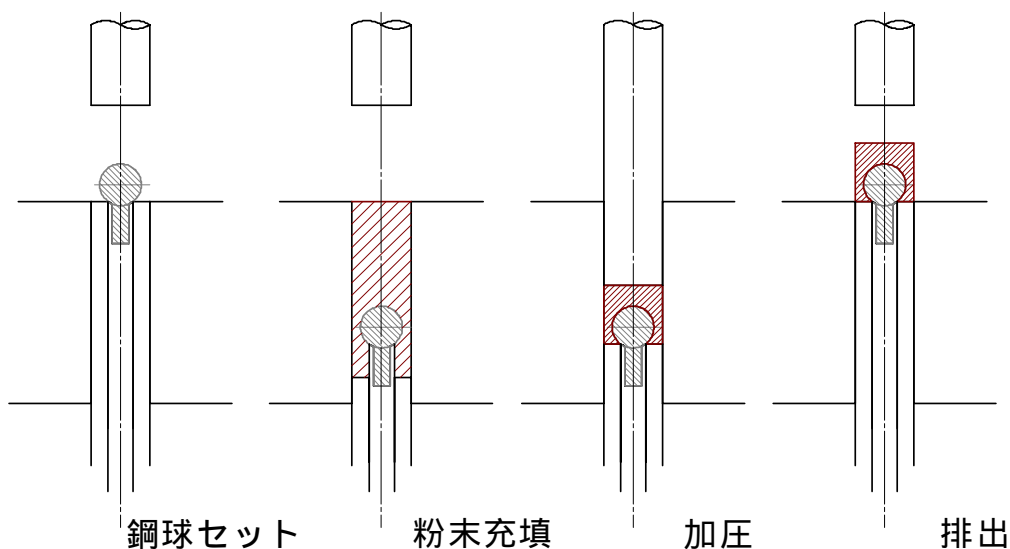


図 2.1-11 成形方法の概要

#### 2.1.4 ロッド付ボールを用いた実際のインサート成形実験

2.1.3 の設計に基づいて発注・購入した金型を用いて、実際の成形を行った。ブランク金型を用いて検討した 2.1.2 の知見に基づき、実際の成形に使用した材料及び成形条件を表 2.1-1 に示した。

小サイズボールの材料は、焼入れ無し品（ステンレス鋼）及びステンレス鋼にコーティングを行ったものについて実験を行った。（銅系ホルダーについては顧客要求により焼き入れ品（冷間圧造用炭素鋼）及びガス窒化処理品についてもあわせて実験を行った）

中サイズボールの材料は、焼入れ無し品（ステンレス鋼）及び焼入れ品（高炭素クロム軸受鋼）で実験を行った。

表 2.1-1 インサート成形実験条件

ロッド付ボール		ホルダー		
サイズ	ボール材料	金属粉末材料		成形条件（密度）
小	焼入れ無し(ステンレス鋼) コーティング(ステンレス鋼)	鉄系 FK28N	銅系 BT-0010-R	6.8
	ガス窒化処理(ステンレス) 焼入れ(冷圧炭素鋼)		銅系 BT-0710-S	6.4, 6.8, 7.2
中	焼入れ無し(ステンレス鋼) 焼入れ(高炭素クロム)	鉄系 FK28N		6.8

使用したロッド付ボールの形状（小サイズ、中サイズ）の形状を図 2.1-12 に示した。

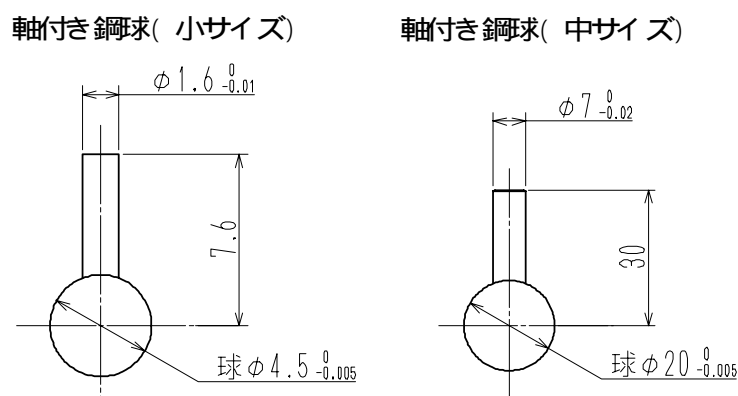


図 2.1-12 ロッド付ボールの形状



小サイズ品の成形体及び焼結体の外観写真を、図 2.1-13 及び図 2.1-14 にそれぞれ示す。



a) 鉄系



b) 銅系

図 2.1-13 小サイズ成形体（一例）



a) 鉄系



b) 銅系

図 2.1-14 小サイズ焼結体（一例）

小サイズの焼結体について、実際の手でロッド付きボールが動くかどうか可動状態の確認を行った。鉄系ホルダーの結果を表 2.1-2 a)及び b)に、又、銅系ホルダーの結果を表 2.1-3 a),b),c),及び d)に示す。表中の記号はそれぞれ、「○」：動く、「△」：固いが動く、及び「×」：動かない」を意味する。各条件で 4 個の焼結体を製作して確認した。

表 2.1-2 小サイズ鉄系焼結体の可動確認結果

a) ステンレス鋼焼入れ無し

焼入れ無し 密度(Mg/m <sup>3</sup> )	6.8	FK28N
1		若干可動するも動かすのが困難
2		若干可動するも動かすのが困難
3		若干可動するも動かすのが困難
4		若干可動するも動かすのが困難

b) ステンレス鋼 コーティング

コーティング	FK28N	
密度(Mg/m <sup>3</sup> )	6.8	
1		若干可動するも動かすのが困難
2		若干可動するも動かすのが困難
3		若干可動するも動かすのが困難
4		若干可動するも動かすのが困難

表 2.1-3 小サイズ銅系焼結体の可動確認結果

a) ステンレス鋼 焼入れ無し

焼入れ無し 密度(Mg/m <sup>3</sup> )	BT-0710-S			BT-0010-R		
	6.4	6.8	7.2	6.4	6.8	7.2
1	x	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x	x
4	x	x	x	x	x	x

b) 冷間圧造用炭素鋼 焼入れ

焼入れ 密度(Mg/m <sup>3</sup> )	BT-0710-S			BT-0010-R		
	6.4	6.8	7.2	6.4	6.8	7.2
1	x	x	x		x	
2	x	x		x	x	x
3	x			x	x	x
4	x	x		x	x	x

c) ステンレス鋼 ガス窒化

ガス窒化 密度(Mg/m <sup>3</sup> )	BT-0710-S			BT-0010-R		
	6.4	6.8	7.2	6.4	6.8	7.2
1	x	x		x	x	x
2	x	x		x	x	x
3	x	x		x	x	x
4	x	x		x	x	x

d) ステンレス鋼 コーティング

コーティング 密度(Mg/m <sup>3</sup> )	BT-0710-S			BT-0010-R		
	6.4	6.8	7.2	6.4	6.8	7.2
1	x			x	x	x
2	x			x	x	x
3	x			x	x	x
4	x			x	x	x

表 2.1-2 に示すように鉄系の小サイズの焼結体については、焼入れ無し品、コーティング品ともに若干可動するものの大きな力をかけないと動かない状態であった。表 2.1-3 に示した銅系については、焼入れ品のほうが固いが動く状態であり、焼入れ無し品では動かすことができなかった。またガス窒化処理品及びコーティング処理品はともに可動状態が得られたが、コーティングのほうが可動する密度範囲が広く、より有効であると考えられる。

次に鉄系の中サイズの成形体と焼結体の外観写真を図 2.1-15 及び図 2.1-16 に示す。



図 2.1-15 中サイズ成形体（鉄系の一例）



図 2.1-16 中サイズ焼結体（鉄系の一例）

小サイズの焼結体と同様に、中サイズ品の焼結体について、実際の手でロッド付きボールが動くかどうか可動状態の確認を行った。結果を表 2.1-4 a)及び b)に載せた。

表 2.1-4 中サイズ鉄系焼結体の可動確認結果

a) ステンレス鋼 焼入れ無し

焼入れ無し	FK28N
密度(Mg/m <sup>3</sup> )	6.8
1	
2	
3	
4	

b) 高炭素クロム鋼 焼入れ

焼入れ	FK28N
密度(Mg/m <sup>3</sup> )	6.8
1	×
2	×
3	×
4	×

表 2.1-4 より、鉄系の中サイズの焼結体の場合は、焼入れ無し品の状態がよく、スムーズな稼動が可能であったが、焼入れ品は不可動であった。

両者の可動状態の違いの原因を調査するために、焼結体の断面の観察を行った。結果を図 2.1-17 及び図 2.1-18 に示す。

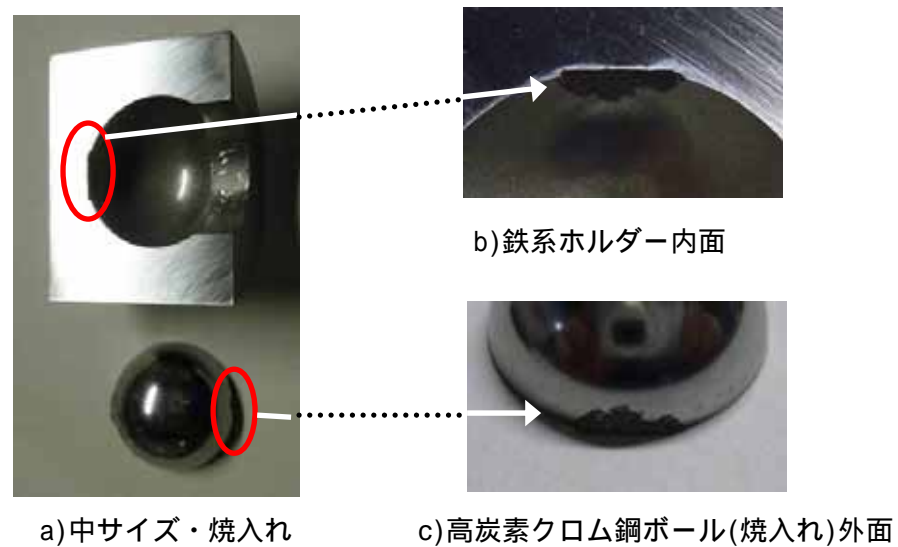


図 2.1-17 中サイズ鉄系焼結体（焼入れ品）の断面写真



図 2.1-18 中サイズ鉄系焼結体（焼入れ無し）の断面写真

焼入れ品を割って内部の観察を行った結果、図 2.1-17 に示すようにホルダーとボール部の一部が凝着を起こしている。これが可動しなかった原因と考えられる。

比較のため、観察した焼入れ無し品の内部の状態を見たところ、凝着らしき現象は現れていなかった(図 2.1-18 参照)。

これらの結果より、中サイズの場合はロッド付きボールが焼入れ無し品であればこのままでも使用可能である可能性が高い。

## 2.2 一体成形したホルダー部とロッド付ボール部が焼結時に固着することを防ぐ技術

### 2.2.1 ボールの表面処理の選択

中サイズホルダーに対しては焼入れ無し(ステンレス鋼)ボールが十分な可動ができ、また小サイズでは銅系ホルダーに対してはコーティングが有効であることがわかった。一方、小サイズ鉄系ホルダーに対しては焼入れ無し(ステンレス鋼)ボールもコーティングボールも強い力をかければ動くが実用にはならないことが懸念された。そこで小サイズ鉄系ホルダーに対し、ロッド付ボールを以下の a) 又は b) の条件で処理を行ったものを用い可動させることが可能かどうかを実験する。

- a) コーティングされた小サイズボールに対し、
  - b) ステアリン酸亜鉛(粉末成形用潤滑材)を塗布
  - c) ダイカスト鑄造用焼付防止剤であるノンシーズペーストを塗布

小サイズのステンレス鋼ボールに、a) コーティングをしたボール、b) a) にステアリン酸を塗布したボール、及び c) a) にノンシーズペーストを塗布したロッド付ボールを使った小サイズ鉄系焼結体の外観写真を図 2.2-1 に示す。



a) コーティング                      b) ステアリン酸塗布                      c) ノンシーズペースト塗布

図 2.2-1 表面処理を施したボールを使用した小サイズ鉄系焼結体

コーティングしたボールに加えてステアリン酸塗布及びノンシーズペースト塗布でボールを表面処理した小サイズ鉄系の焼結体について、実際の手でロッド付きボールが動くかどうか可動状態の確認を行った。結果を表 2.2-1 b) 及び c) に示す。表中の記号はそれぞれ、「○ : 動く」、「△ : 固いが動く」、及び「× : 動かない」を意味する。

表 2.2-1 表面処理したボールを使った小サイズ鉄系焼結体の可動確認結果

#### b) ステンレス鋼 ステアリン酸

コーティング + ステアリン酸塗布	FK28N
密度(Mg/m <sup>3</sup> )	6.8
1	
2	
3	
4	

c) ステンレス鋼ノンシーズペースト

コーティング+ノンシーズペースト	FK28N
密度(Mg/m <sup>3</sup> )	6.8
1	
2	
3	
4	

いずれの処理も処理無し品（表 2.1-2 b 参照）に比較するとより可動する状態にはなったが、まだスムーズな動きとまでにはいたらなかった。

次に中サイズ焼結体に関してボールの表面処理の効果の確認を行った。表 2.1-4 に示したように、中サイズのロッド付ボールについては焼入れ無し品については可動状態になることがわかったので、不可動状態であった鉄系焼入れ品(高炭素クロム鋼)にステアリン酸塗布及びノンシーズ塗布の実験を行い、これらの表面処理により状況の改善が見られるか確認した。図 2.2-2 は、中サイズのロッド付ボール（高炭素クロム鋼）にステアリン酸塗布及びノンシーズペースト塗布を施した状態を示す。



a) 処理前



b) ステアリン酸塗布



c) ノンシーズ塗布

図 2.2-2 表面処理を施した中サイズのロッド付ボール（高炭素クロム鋼）

中サイズの無処理のボール（高炭素クロム鋼）にステアリン酸塗布及びノンシーズペースト塗布で表面処理した中サイズ鉄系の焼結体について、実際の手でロッド付きボールが動くかどうか可動状態の確認を行った。結果を表 2.2-2 b)及び c)に示す。表中の記号はそれぞれ、「○：動く」、「△：固いが動く」、及び「×：動かない」を意味する。

表 2.2-2 表面処理したボールを使った中サイズ鉄系焼結体の可動確認結果

b) 高炭素クロム鋼 ステアリン酸

ステアリン酸塗布	FK28N
密度(Mg/m <sup>3</sup> )	6.8
1	×
2	×
3	×
4	×

c) 高炭素クロム鋼 ノンシーズペースト

ノンシーズペースト	FK28N
密度(Mg/m <sup>3</sup> )	6.8
1	x
2	x
3	x
4	x

以上の可動確認結果によれば、

< 小サイズの場合 >

最も良好な結果が得られる条件はホルダーに銅系材料を用い、表面処理としてコーティングを施した場合であった。

ホルダーに鉄系材料を使った場合は十分な結果を得ることができなかった。

< 中サイズの場合 >

鉄系ホルダーでは焼入れ無しボール品のみが稼動状態になるという結果が得られた。

焼入れを行ったボールではホルダーとの間に凝着が起こり稼動しない状態になることが推察されたが、さらに表面処理を行ってもこの状況は改善されなかった。

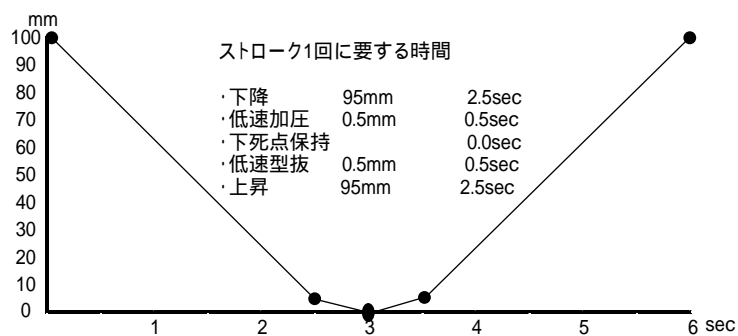
## 2.3 焼結後のホルダー部とボール部間のクリアランスの低減、及びホルダー表面部緻密化のためのサイジング技術

### 2.3.1 サイジング条件の設定

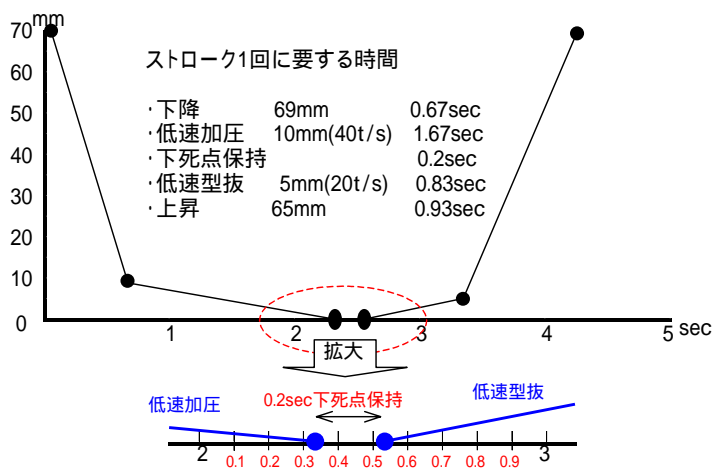
ここでは、可動状態を維持しつつ、クリアランスのコントロールを行う可能性について述べる。一般にサイジング工法は焼結部品の精度アップのために行われる。その場合金型によって各部位を挟み込む形によりその部位の精度を上げる方法をとる。

今回はインサート部品を中に持つため、一般の部品のようにコアによる内径仕上げはできない。インサート部品のボール部そのものがコアの役割を果たし、ホルダー部内径がそのボールと外側のダイスに挟み込まれることにより精度向上を行うことが可能であると考え実験を行った。この場合通常のインパクトプレスによる衝撃がインサート部品とホルダーを破壊するリスクを考慮して油圧かサーボ制御により徐々に圧力をかけながら低速サイジングを行うものとする。

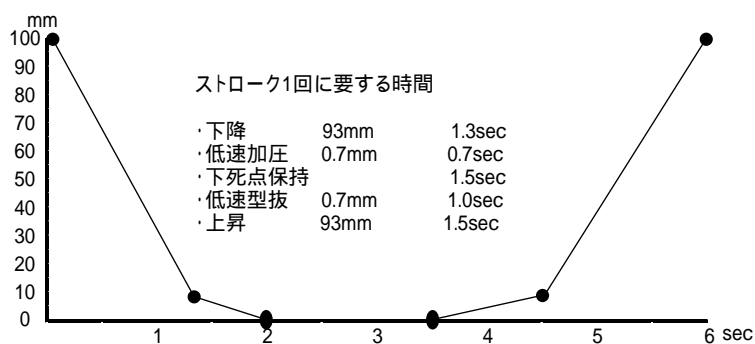
また精度を保持するためにサイジングトン数を中サイズは 100 トン、小サイズは 40 トンのサイジング機で行う。図 2.3-1 に a)通常のサイジング機、b)40 トンサイジング機及び c)100 トンサイジング機のカムチャート図を示す。本事業で設置した 100 トンサイジング機の特徴は、サーボモータによる加圧方式により、下死点保持時間を長く取れることである。これにより、破壊リスクを低減すると同時に精度を向上させることが可能となる。



a) 通常のサイジング機のカムチャート図



b) 油圧40tサイジング機カムチャート図



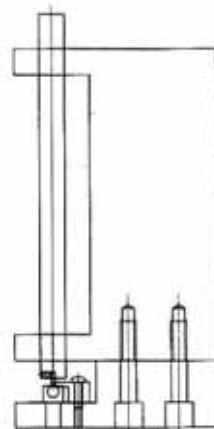
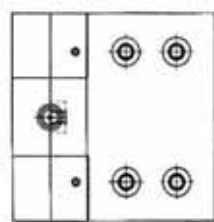
c) 100t新サイジング機のカムチャート図

図 2.3-1 サイジング機のカムチャート図



### 2.3.2 クリアランス測定用治具の作成

サイジング工程の精度向上効果としてホルダーとボールのクリアランスをどのように測定すればよいか検討を行ない、軸方向のクリアランスをホルダーを破壊することなく測定する治具を作成することにより行うことにした。図 2.3-2 に考案製作したロッド付鋼球ガタ測定治具の外観を示す。測定の原理は、ホルダーとロッド付ボールの一体焼結体を治具にセットして、ロッドと同軸になるようにセットした押し棒を上下方向に動かしたときの押し棒の変位をダイヤルゲージで読み取ることにより、スラスト方向のボール外周とホルダー内面とのクリアランスを測定するもので、0  $\mu\text{m}$  ~ 100  $\mu\text{m}$  の範囲の測定が可能である。



(設計図ポンチ絵)



(現物写真)

図 2.3-2 ロッド付鋼球ガタ測定治具

### 2.3.3 測定及び測定結果

小サイズのボールジョイントについては、もっとも状態のよかった以下の組み合わせの製品について、油圧 40 トンサイジング機を用いてサイジング実験を行い、ロッド付鋼球ガタ測定治具でクリアランスを測定した。

\* ホルダー材料 : 銅系材料 (BT-0710-S)

\* ボール部材質及び表面処理 : ステンレス鋼 + コーティング

押し量を変化させることによるクリアランスの変化を図 2.3-3 に示した。

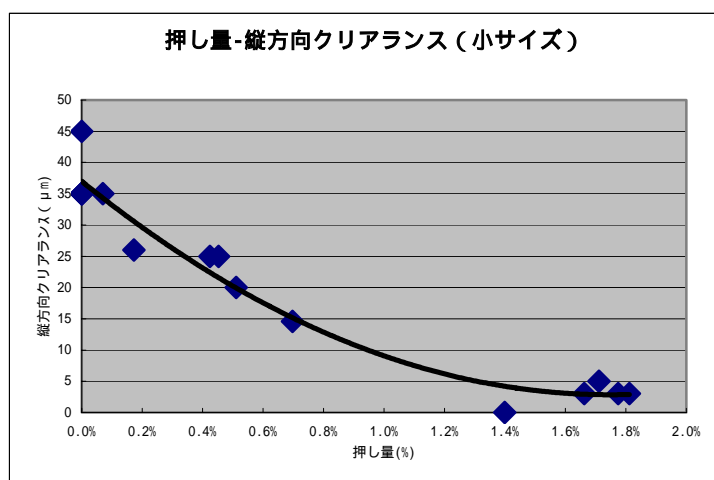


図 2.3-3 小サイズのボールジョイントのサイジング実験結果

この結果より、押し量をコントロールすることによりクリアランスをコントロールすることが可能であることがわかる。特に押し量を 1.0%以上にするによりクリアランスを 10 μm以下にすることが可能である。

中サイズのボールジョイントについては、ホルダー材質が鉄系材料(FK28N)、ボール部材質が焼入れ無し品（ステンレス鋼）の組み合わせによって製作した焼結体のサイジングを、100 トンサイジング機(サーボモータ式)を用いて行った。結果を図 2.3-4 に示す。

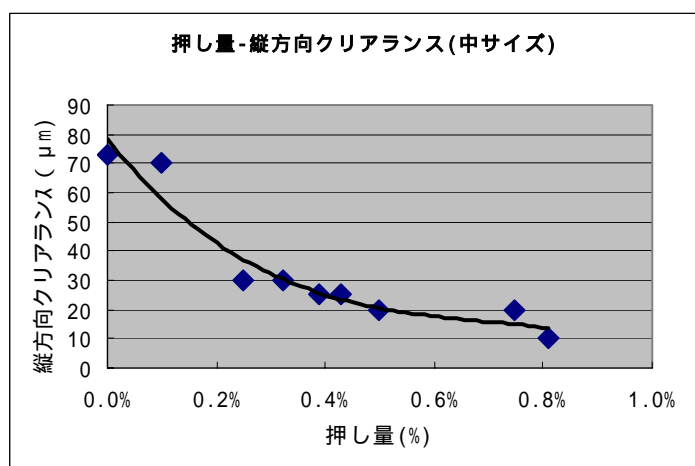
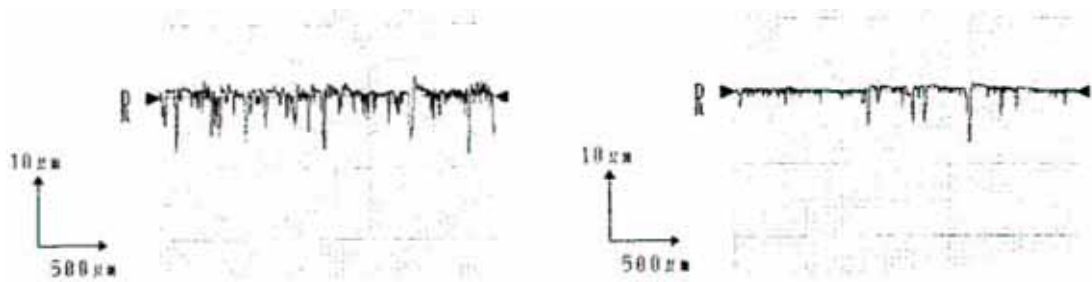


図 2.3-4 中サイズのボールジョイントのサイジング実験結果

この結果から、中サイズ製品においても押し量をコントロールすることによりクリアランスをコントロールすることが可能であることがわかる。押し量を 0.5%にすることによりクリアランスを 20μm 前後にすることができ、1.0%以上にするによりクリアランスを 10 μm以下にすることが可能であることがグラフから読み取ることができる。これは小サイズの結果と同様の結果である。

また、ホルダー部の表面の緻密化については、表面粗さ計による測定の結果を下に示す。サイジング前に比べて表面の粗さがよくなっており、緻密化がされていることがわかる。



a)サイジング前

b)サイジング後

図 2.3-5 サイジング前後のホルダー部の表面粗さの比較

さらに中サイズ鉄系のサイジング品(押し量 0.8%)に対し、昭和シェル製のテラス 6 8 オイルの含油を行ったところ、含油率は 11%であった。焼結ホルダーが含油軸受としての機能を併せ持つことがこれにより判る。押し量 0.8%でクリアランスが 10  $\mu\text{m}$  近くなるとボールの動きが少し硬くなり時折摺動音の発生も見られるが、含油することにより摺動音の発生は抑制され、スムーズな動きになる。

#### 2.4 小タイプの焼結ボールジョイントのサンプル提出

本開発の焼結ボールジョイントのサンプル 50 個を(株)世界最速試作センターへ提供し、同センターで開発中の 6 軸力覚センサーに組み込んだ。提供品は、ホルダー材質は銅系の BT-0710-S(Cu-Sn-Fe-C 系)、ロッド付ボールはステンレス鋼にコーティングを施した品で、780 で焼結を行った後、サイジング押し量 1%のものである(図 2.4-1 参照)。



図 2.4-1 試供ボールジョイント外観

今後。試供品を組み込んだ力覚センサーの実験結果をフィードバックしてもらい、実用を目指して改善を継続していく。

## 2.5 ボールジョイントに関する特許出願動向調査

ボールジョイントに関する特許出願の動向を、独立行政法人工業所有権情報・研修館が提供している特許電子図書館(IPDL)を活用して検索し、得られた特許情報を整理した。検索は国際特許分類(IPC)よりF16C11/06(注<sup>1</sup>)を選択し、この分類記号を含み、かつ、出願先が日本となっている特許を抽出することにした。

注<sup>1</sup>) F16C11/06の記号の意味は、表2.5-1による。

表 2.5-1 ボールジョイント特許抽出のための IPC 分類

		IPC 記号	説明
セクション		F	機械工学；照明；加熱；武器；爆破
	クラス	F16	機械要素または単位；機械または装置の効果的機能を生じ維持するための一般的手段
	サブクラス	F16C	軸；たわみ軸；クランク軸機構の要素；電動装置の要素以外の回転体；軸受
	メイングループ	F16C11/00	ピボット；枢着
	サブグループ	F16C11/06	玉継手；1°以上の角自由度をもつ他の継手、すなわち自在継手

上記の IPC 分類により 978 件の公開特許(平成 5 年以降)を抽出し、その中から、「ボールジョイント」、又は「ボールジョイントの製造方法」に関する特許を選別した。一次選別の方法として、F16C11/06 の他に、発明の名称、F ターム (File forming Term) を活用した。

F タームは一定の技術分野を限定して、IPC 分類箇所の所定範囲を対象としたテーマコードとテーマ名のリストを設定して検索を行うシステムであり、検索した個々の特許ごとに、特許情報として付記されている。選別の指標とした F タームは「3J105」(ピボット及び枢着)である。すなわち、一次選別は、ボールジョイント又はボールジョイントの製造方法に関する特許名称をもつもので、かつ、分類記号に、F16C11/06 及び 3J105 を含んでいるものを優先的に選んだ。その結果、978 件中 516 件を一次選別した。続いて、特許情報に記載された発明の名称、要約、特許請求の範囲及び図面を精査して、本事業に関与すると思われる特許を絞り込む作業を進め、2 次選別として 431 件、最終選別として 267 件の公開特許を抽出した。最終選別した公開特許情報の一部(公開番号、発明の名称、出願人)を別紙に示す。

最終選別した 267 件の公開特許を出願人別、及び出願年別に整理して、表 2.5-2 及び表 2.5-3 にそれぞれ示す。これによれば、平成 5 年以降に日本に出願された、ボールジョイントに関する特許のうち、出願件数が多い国内企業 5 社をあげると、武蔵精密工業株式会社(90)、株式会社ソミック石川(46)、株式会社オティクス(13)、株式会社リズム(12)及び日本発条株式会社(11)であり、事業内容は輸送用機器や自動車用部品製造が主であった。外国企業はドイツのいずれも自動車部品会社が出願している。これを出願年別にみると、過去 17 年で出願件数が最大の武蔵精密工業は

直近4年の出願数が減少しているのに対して、ソミック石川と日本発条は2000年以降の出願数の増加が顕著である。出願の内容について、金属粉末の成型・焼結に関する要求事項を掲げているものはなかった。

表 2.5-2 ボールジョイントに関する出願人の出願件数ランキング

公開特許件数	出願人 (企業名)	事業内容
(国内企業)		
90	武蔵精密工業株式会社	輸送用機械器具の製造・販売
46	株式会社ソミック石川	自動車部品の開発・設計・製造・販売
13	株式会社オティクス	自動車部品製造
12	株式会社リズム	自動車用金属部品の製造・加工
11	日本発条株式会社	自動車用・電子部品用スプリング等の製造
10	株式会社ジェイテクト	機械・自動車部品製造
7	THK株式会社	機械要素部品の開発・製造・販売
7	トヨタ自動車株式会社	自動車部門 他
5	本田技研工業株式会社	輸送機器、機械工業メーカー
4	村田機械株式会社	ロジスティクス&オートメーション、工作機械、他
3	株式会社日立製作所	総合電機メーカー
2	NOK株式会社	シール製品、工業機械部品、油圧機器
2	井原精機株式会社	ボールジョイント及び制動・操舵・伝達系部品
2	株式会社ニフコ	エンジニアリングプラスチック製品
2	株式会社ブリジストン	タイヤ部門、多角化部門
2	中央発條株式会社	自動車・航空機他産業用ばね、ケーブル製造
1	東洋ゴム工業株式会社、他15社	
(外国企業)		
9	ZF Friedrichshafen AG	自動車部品
8	ZF Lemfoerder Metallwaren AG	自動車部品
6	TRW Inc.	自動車部品
4	TRW Fahrwerksysteme GmbH & Co KG	自動車部品
2	Sachsering Automobiltechnik AG	自動車部品
1	Mannesmann VDO AG 他3社	自動車部品
計	249件 (+18件)	

表 2.5-3 ボールジョイントに関する出願人別・出願年別リスト

特許件数 (公開)	出願人 (企業名)	公開年																	備考
		'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	
	<国内企業>																		
90	武蔵精密工業株式会社	6	1	3	7	8	9	5	5	11	15	6	5	5	4				
46	株式会社ソミック石川			1	1			2	10	4	4		3	1	7	4	4	5	
13	株式会社オティクス	1		1	2		2	1	2	3					1				
12	株式会社リズム	1		2		1				3			1		1	2	1		
11	日本発条株式会社											2	1	1	1	1	1+1	1	2
10	株式会社ジェイテクト																		10
7	THK株式会社				1	2						1		1				1+1	
7	トヨタ自動車株式会社		1		2		1									1	1	1	
5	本田技研工業株式会社											2					1		2
4	村田機械株式会社																		4
3	株式会社日立製作所																		
2	NOK株式会社									2									
2	井原精機株式会社				1	1													
2	株式会社ニフコ		2																
2	株式会社ブリジストン						1		1										
2	中央発條株式会社					1		1											
1	東洋ゴム工業株式会社、他15社																		
	<外国企業>																		
9	ZF Friedrichshafen AG																		
8	ZF Lemfoerder Metallwaren AG												5		2			6	3
6	TRW Inc.	3	1	1				1											
4	TRW Fahrwerksysteme GmbH & Co KG				1	1			1						1				
2	Sachsering Automobiltechnik AG										2								
1	Mannesmann VDO AG 他3社																		
計	249件 (+18件)																		

同様の手法を使って特許の動向を調査した。IPC 分類で検索・抽出した 283 件の特許の中から、発明の名称に「ボールジョイント」又は「玉継手」を含む特許を精査して 114 件を最終選別した。最終選別した公開特許情報の一部（公開番号、発明の名称、出願人）を同じく別紙に示した。採集選別した特許を特許検者別ランキングとして表 2.5-4 に示す。武蔵精密工業の特許数が突出しているが、金属粉末の冶金的処理によるボールジョイントについて権利化している例はなかった。

表 2.5-4 ボールジョイントに関する特許権者ランキング

特許件数	特許権者（企業名）	事業内容	
(国内企業)	35 武蔵精密工業株式会社	輸送用機械器具の製造・販売	
	8 株式会社ソミック石川	自動車部品の開発・設計・製造・販売	
	5 日本発条株式会社	自動車用・電子部品用サスペンション等の製造	
	4 株式会社オティクス	自動車部品製造	
	4 THK株式会社	機械要素部品の開発・製造・販売	
	4 株式会社ニフコ	エンジニアリングプラスチック製品	
	4 株式会社リズム	自動車用金属部品の製造・加工	
	3 日産自動車	自動車部門 他	
	3 本田技研工業株式会社	輸送機器、機械工業メーカー	
	2 トヨタ自動車株式会社	自動車部門 他	
	2 東海TRW株式会社	ステアリング、サスペンション	
	1 NOK株式会社 他20社	シール製品、工業機械部品、油空圧機器	
		75件 (+20件)	
(外国企業)	9 ZF Lemfoerder Metallwaren AG	自動車部品	
	6 TRW Inc.	自動車部品	
	1 TRW Fahrwerksysteme GmbH & Co KG他3件	自動車部品	
		16件 (+3件)	
計	91件 (+23件)		





### 3章 まとめ

今回のロッド付ボールを埋め込んだ焼結部品を製造するに当たって、ロッド付ボールを成形時にセットしてホルダーを粉体成形する方法を考案した。

鉄系金属粉末あるいは銅系金属粉末を原料として形成するホルダー部とロッド付ボール部を一体成形し、これを焼結した後にロッド付ボールが固着することなく可動する材料条件、成形条件及び焼結条件を見出した。鉄系材料はFe-Cu-C系（FK28N）を選択し、一般的機械部品の製造条件と同じく、成形密度 6.8 Mg/m<sup>3</sup>、焼結温度 1140、焼結雰囲気N<sub>2</sub>を適正条件とした。銅系材料は、Cu-Sn-Fe-C系（BT-0710-S）及びCu-Sn系（BT-0010-R）を選択し、密度は 6.4、6.8、7.2 Mg/m<sup>3</sup>の 3 水準をいずれも可とし、焼結温度 780、焼結雰囲気H<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>を選択した。なおいずれの密度も真密度の 94%以下である。

選択した材料をもとに成形金型、サイジング金型を設計し、それを用いたインサート成形を行い、実際に可動可能なボールジョイントが作成できるか実験を行った。その際、ホルダーとボールが固着しない表面処理の検討も行い、組み合わせ条件を調べた。その結果、小サイズ部品では、銅系材料BT-0710-S、密度 7.2 Mg/m<sup>3</sup>、コーティングボールの組み合わせが最適であることがわかった。中サイズ部品においては、鉄系材料FK28N、密度 6.8 Mg/m<sup>3</sup>、焼入れ無しボールの組み合わせが最適であった（注：Mは 100 万を意味する）。

次に、これをサイジングすることによって、ホルダー部とボール部のクリアランスを 10μm 以下に適正化する技術を確立した。また密度が 94%以下であることにより、通常の含油軸受と同様に含油を行ってホルダー部とボール部の潤滑性を向上させることが可能となる。

以上の実験結果により、部品点数が少なく高精度のボールジョイントを効率よく製造できる可能性を見出した。今後、ロボット用の可動部のリンク機構などへの利用が期待できる。

ボールジョイントに関する特許調査の結果によれば、本工法でのボールジョイント製造方法に類似した申請及び権利化はされておらず、新規性があることがわかった。

本事業の成果の適用例として、特に小サイズの銅系焼結ボールジョイントについては実際に 6 軸力覚センサーへの組み込み実験が行われている。その結果をフィードバックしてもらうことにより、改善を進め実用化にこぎつけたい。

r

**リサイクル適性 (A)**

この印刷物は、印刷用の紙へ  
リサイクルできます。