

平成21年度補正予算事業  
戦略的基盤技術高度化支援事業

「金属ガラス・ナノ結晶合金の急冷遠心鑄造技術の研究開発」

研究開発成果等報告書

(概要版)

平成22年6月

委託者 経済産業省東北経済産業局

委託先 株式会社インテリジェント・コスモス研究機構





## 目次

1. 研究開発の背景・研究目的及び目標.....	1
( 1 ) 研究の目的 .....	1
( 2 ) 研究の概要 .....	1
( 3 ) 実施内容.....	1
( 4 ) 所在地.....	4
2. 研究体制.....	5
( 1 ) 研究組織及び管理体制.....	5
( 2 ) 研究員及び管理員（役職・実施内容別担当） .....	8
( 3 ) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名 .....	10
( 4 ) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項 .....	11
3. 実施した委託業務の成果概要.....	12
3.1 設定課題と成果概要 .....	12
3.2 実施計画日程 .....	14
3.3 各研究機関での成果概要 .....	15
( 1 ) 本田精機（株）で実施した委託業務の概要 .....	15
( 2 ) 東北大学で実施した委託業務の概要 .....	16
( 3 ) 弘前大学で実施した委託業務の概要.....	18
4. 知的財産権等の取り組み状況.....	20
5. 投稿論文等 .....	20
6. 当該研究開発の連絡窓口 .....	21

## 1. 研究開発の背景・研究目的及び目標

### (1) 研究の目的

金属ガラスやナノ結晶合金は、高強度（＝破壊強度／剛性）、高耐蝕性、高耐摩耗性、高転写性、磁歪特性等高い機能性を備えており、ハイテク分野を中心に幅広い応用製品が期待される素材である。しかしながら、加工時の摩擦熱や圧力、衝撃等でその性質が変性しやすく加工が困難である。また、合金の材料となる金属元素には高価な希少金属が使われており、材料コストが高いという難点がある。以上のことにより、この合金の実用化には加工工程の簡略化、低コスト化が不可欠であり、これら課題を解決するため、半自動化急冷遠心鑄造装置(試作機)及び急冷遠心鑄造技術を研究開発することを目的とする。

### (2) 研究の概要

その物性の実現に急冷凝固が不可欠である金属ガラス・ナノ結晶合金製品の加工において、従来のダイキャスト鑄造法で急冷凝固を行うと鑄型へ溶湯が充填される前に溶湯の流動性が悪くなる為、細かいモールド部分への鑄込みが不完全になってしまい複雑形状品の成形は困難である。また、複雑形状品の加工方法として粉末焼結法も研究されているが、材料を一旦粉末化するという工程が入りコスト高となる。更に焼結後の急冷却が機械構造上難しく物性品質の維持管理に問題がある。本提案技法の急冷遠心鑄造法では、高遠心力下で金属溶湯を瞬時に注型し、同時に熱容量と熱伝導率の大きい鑄型に吸熱させることで急冷凝固する事が可能となり、上記の従来技法の欠点を克服できるものである。実際、製品形状の複雑化においては医療機器メーカーの内視鏡部品の試作でその要求をほぼ満たすことが出来た。また、自動車メーカーからは操舵システムのトルクセンサーとして合金の磁歪特性を利用する計画があり、今後はメーカーへの製品供給を想定して、より良好な鑄造条件の探索、回転鑄型の並列化、複層化、溶湯注型の連続化、供給溶湯の大容量化等を図り、本素材製品の量産を可能にする半自動化装置の試作機を開発する。

### (3) 実施内容

金属ガラス・ナノ結晶合金部材の評価・試験、製品化

(本田精機株式会社、弘前大学、東北大学金属材料研究所)

これまで、本田精機(株)所有の急冷遠心鑄造装置を用いて鑄型や湯道の材質や形状や構成、鑄型の回転速度等の研究を行い、鑄型や湯道の材質・形状を鑄造条件としてコントロールするノウハウを得た。

このノウハウを踏まえ、製品化に向けたより良好な成型製品の形状再現性と金属ガラス・ナノ結晶合金としての物性再現性を目指して、上記急冷遠心鑄造装置を使って、本事業で新たに製作する半自動化急冷凝固遠心鑄造装置（試作機）（にて記述）の設計用基礎データを収集する。

なお、弘前大学及び東北大学金属材料研究所は、装置の設計アドバイスと成型製品の物性評価を行う。

#### - 1 基礎データの収集

本事業で新たに製作される半自動化急冷凝固遠心鑄造装置（試作機）の運用開始前の評価試験用各種試料作成には、本田精機(株)所有設備を運用する。併せて研究用回転鑄型（にて記述）の基礎評価試験及び、本事業で製作する半自動化急冷凝固遠心鑄造装置（試作機）の仕様決定と設計の為の基礎データ(強度、出力特性、気密性、安全性、動作安定性、チャンバー内寸法形状、部品・機材レイアウト等の評価・検討結果)の収集も行う。

（本田精機株式会社・弘前大学・東北大学金属材料研究所）

#### - 2 試作試料の評価試験

・材質・形状等を変えた鑄型を複数種類製作し、既存の急冷遠心鑄造装置及び今回製作する半自動化急冷凝固遠心鑄造装置（試作機）を使用して回転数や溶湯温度等の条件を変えながら成型品を試作する。（本田精機株式会社）

・上記で試作した成型品は、金属ガラス・ナノ結晶合金として要求されている物性（- 3にて記述）を本事業で導入する金属顕微鏡を使って解析・評価し、鑄造条件等の妥当性を検討する。（弘前大学・東北大学金属材料研究所）

#### - 3 製品別の製法確立

上記の評価を踏まえて鑄造製法を確立し、作製部材の製品化に向けての課題を協議する。  
（本田精機株式会社・弘前大学・東北大学金属材料研究所）

急冷遠心鑄造装置（試作機）の設計、製作（本田精機株式会社、弘前大学）

収集したデータを基に装置の仕様を決定し、21年度末を目標にして実用化のための半自動化された試作装置の設計及び製作を行う。

#### - 1 真空装置の設計、製作

試作装置の中心となる真空チャンバー(容量約 0.7 m<sup>3</sup>)の設計製作及び、その周辺機器(各種真空ポンプ、バルブ、水冷装置、計測器)等の組付・組立を行う。(本田精機株式会社)

#### - 2 遠心鑄造機構の設計、製作

真空チャンバー内に収容される鑄型回転機構、鑄型操作機構、連続鑄込機(6~20連続)等を設計・製作し、重量1g程度の医療用デバイス部材ならば同時生産6個程度、連続生産で60個を目標とする鑄造成型品量産システムを構築する。(本田精機株式会社)

#### - 3 制御装置の設計、製作

真空装置、遠心鑄造機構、高周波電源装置を個別及び自動でリモート制御できる制御装置の設計及び仕様書作成を行い、製作(外注)する。(本田精機株式会社)

#### - 4 総合運転試験

高周波電源装置、制御装置、水冷装置を接続した急冷遠心鑄造装置試作機全体を総合的に運転して動的観察及び計測データを踏まえ問題点を抽出する。最大機能として、鑄型回転数 10,000rpm(max)、発生遠心力 10,000G、動バランス偏心率  $e=3\ \mu\text{m}$ 、真空度 3 mPa を目標とする。(本田精機株式会社・弘前大学)

#### 回転鑄型の製法技術の研究開発

(本田精機株式会社、弘前大学、東北大学金属材料研究所)

前記の各種評価結果を踏まえ確立された製法をもとに、実用モデルとして実際に日産自動車(株)、工藤電機(株)等で使用されている自動車部品及びオリンパス(株)の内視鏡部品、カメラ等の光学機械部品のニアネットシェイプ成形製品鑄型の製造、試験、評価を繰り返し、精密鑄型作りの基本技術を研究開発する。

#### - 1 実用モデル鑄型の設計・製作

鑄型の急冷に適した内部構造、加工方法等の研究開発を実施し、実用モデル鑄型の設計・製作を行う。(本田精機株式会社、弘前大学、東北大学金属材料研究所)

## - 2 実用モデルの鑄造試験

上記の鑄型を用いた鑄造実験・試験において寸法公差  $\pm 0.05\text{mm}$  を目指す。  
(本田精機株式会社、弘前大学、東北大学金属材料研究所)

## - 3 実用モデルの評価

前記に述べた各種の実験によって作製された鑄造成型品の評価とデータ作成を行う。数値的には Zr 系金属ガラス製品では 2000MPa 以上の強度と従来素材の 100 倍以上の耐蝕性を持つ高耐久製品を、Fe 系金属ガラス製品では透磁率  $3 \times 10^4$  at 1kHz 以下、飽和磁束密度 1.2Tesla 以上の軟磁気特性製品を、FeGa 系ナノ結晶合金では 1000Mpa 以上の強度を持った磁気シールド材料や磁気-力センサー用材料を、Zr 系ナノ結晶合金では 1500MPa 以上の強度を持つ生体医療デバイス用精密成型材を開発することを目標とする。  
(本田精機株式会社、弘前大学、東北大学金属材料研究所)

プロジェクトの運営、管理 (株式会社インテリジェント・コスモス研究機構)

研究を円滑に推進する為、研究開発推進委員会等により各研究開発項目の研究進捗、課題抽出、検討し、研究開発目標の達成を図る。

### - 1 進捗管理

研究項目ごとに必要な打ち合わせ等を定期的を実施し、早期の課題解決に取り組み、研究の進捗状況を把握する。

### - 2 研究推進会議の開催

研究推進のための委員会を定期的を開催し、全体的な研究進捗状況を確認するとともに今後の研究開発課題抽出および課題解決のための討議をする。

### - 3 成果のとりまとめ

上記の結果を報告書としてまとめプロジェクトを総括する。

## (4) 所在地

事業管理者

株式会社インテリジェント・コスモス研究機構 (最寄り駅: JR 東北新幹線 仙台駅)

〒989-3204 宮城県仙台市青葉区南吉成6丁目6-3



研究実施場所（主たる研究実施場所については、下線表記のこと。）

本田精機株式会社 本社工場（最寄り駅：JR 仙石線 陸前高砂駅）  
〒983-0034 宮城県仙台市宮城野区扇町4丁目6-7

国立大学法人弘前大学大学院理工学研究科（最寄り駅：JR 奥羽本線 弘前駅）  
〒036-8561 青森県弘前市文京町3

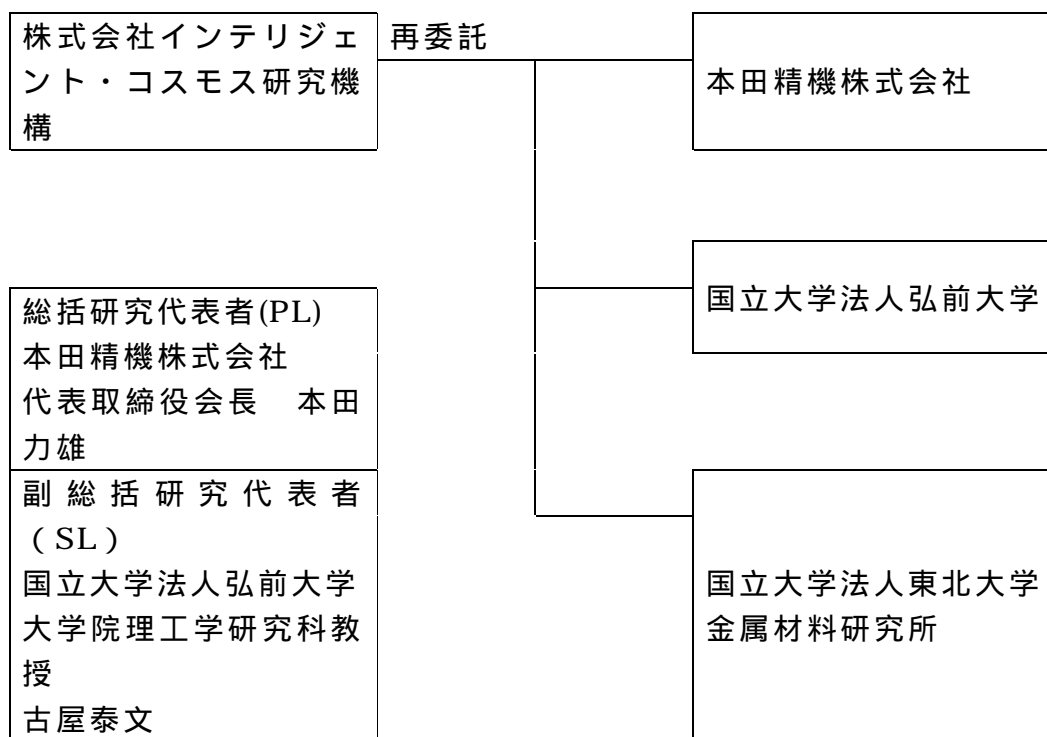
国立大学法人東北大学金属材料研究所（最寄り駅：JR 東北新幹線 仙台駅）  
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1

## 2. 研究体制

### （1）研究組織及び管理体制

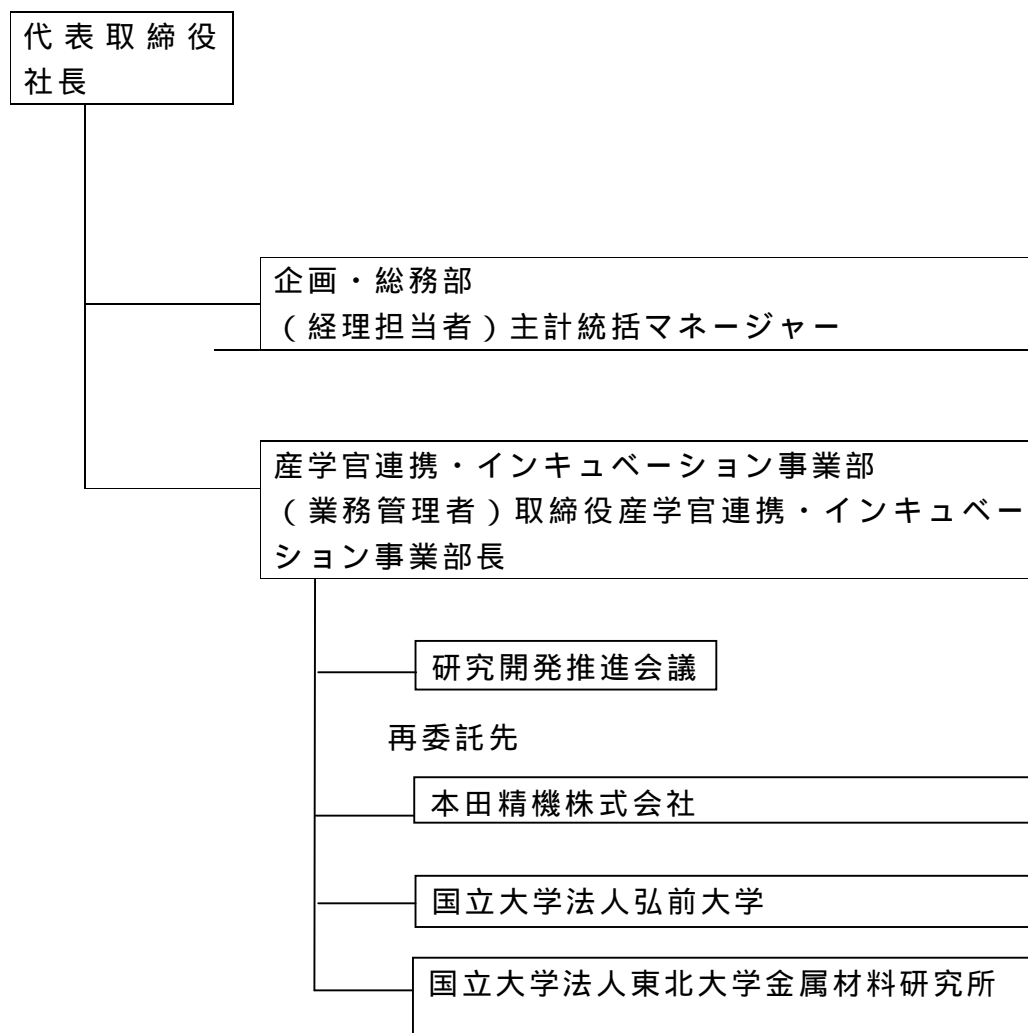
#### 1）研究組織（全体）

（プロジェクト管理法人）

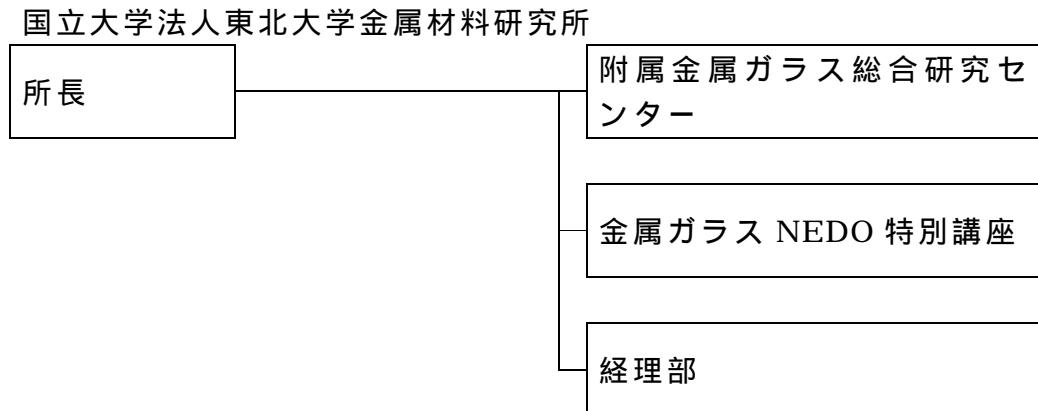
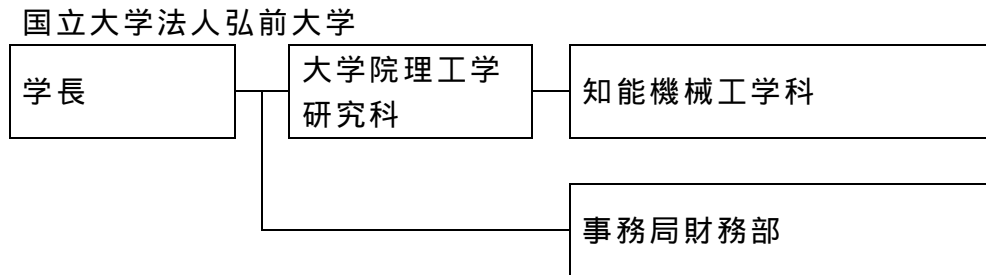
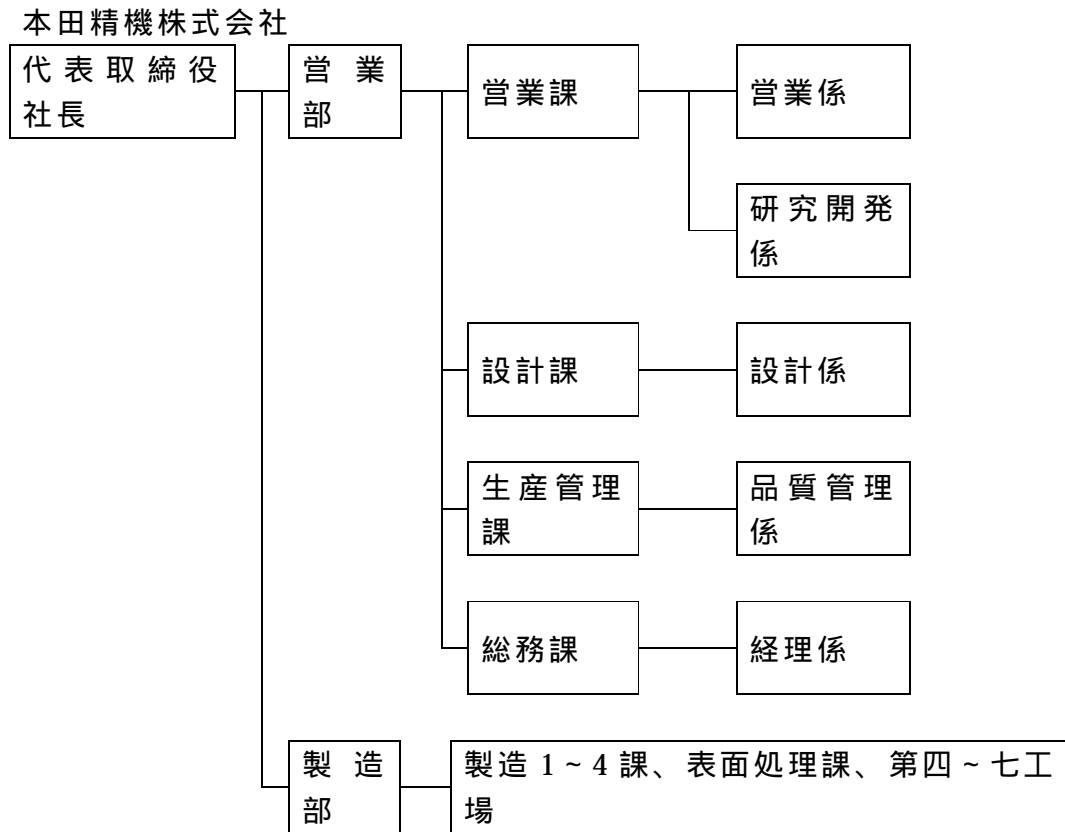


## 2) 管理体制

事業管理者 [ 株式会社インテリジェント・コスモス研究開発機構 ]



(再委託先)



( 2 ) 研究員及び管理員 ( 役職・実施内容別担当 )

【事業管理者】(プロジェクト管理委員)

管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
庄司 一夫	取締役産学官連携・インキュベーション事業部長	
高橋 行男	産学官連携・インキュベーション事業部 部長	
猪股 則夫	産学官連携・インキュベーション事業部 統括 マネージャー	
澁谷 俊昌	産学官連携・インキュベーション事業部 マネ ージャー	
富松 博	産学官連携・インキュベーション事業部 マネ ージャー	
池田 由美	部員	
三浦 未紀枝	部員	

【再委託先（研究員）】

本田精機株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
本田 力雄	代表取締役会長	2 3
佐々木 三千英	取締役工場長	
佐藤 斉也	技術顧問	
遠藤 一輝	営業部 営業課 研究開発係	
八鍬 久美子	営業部 設計課 設計係	
遠藤 慎一	営業部 設計課長	
大森 良次	営業部 生産管理課 品質検査係	

国立大学法人弘前大学

氏名	役職・所属	実施内容（番号）
古屋 泰文	大学院理工学研究科 教授	4
岡崎 禎子	大学院理工学研究科 研究機関研究員	2
佐藤 裕之	大学院理工学研究科 准教授	

国立大学法人東北大学金属材料研究所

氏名	役職・所属	実施内容（番号）
木村 久道	准教授	
山浦 真一	准教授	

( 3 ) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理者】

株式会社インテリジェント・コスモス研究機構

( 業務管理者 ) 取締役産学官連携・イノベーション事業部長 庄司 一夫

( 経理担当者 ) 企画・総務部 主計統括マネージャー 高橋 徹

【再委託先】

本田精機株式会社

( 経理担当者 ) 総務課長 高橋 渉

( 業務管理者 ) 技術顧問 佐藤 斉也

国立大学法人弘前大学

( 経理担当者 ) 大学院理工学研究科 総務グループ研究協力担当係長

佐々木 美津子

( 業務管理者 ) 大学院理工学研究科 知能機械工学科 教授 古屋 泰文

国立大学法人東北大学金属材料研究所

( 経理担当者 ) 経理課経理係 千葉 賢次

( 業務管理者 ) 准教授 木村 久道

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

研究推進会議 委員

氏名	所属・役職	備考
本田 力雄	本田精機株式会社 代表取締役会長	PL
古屋 泰文	国立大学法人弘前大学 大学院理工学研究科 教授	SL
本田 典明	本田精機株式会社 代表取締役社長	
佐藤 斉也	本田精機株式会社 技術顧問	委
遠藤 一輝	本田精機株式会社 営業部 営業課 研究開発係	委
佐々木三千英	本田精機株式会社 取締役工場長	委
大森 良次	本田精機株式会社 営業部 生産管理課 品質管理係	委
遠藤 慎一	本田精機株式会社 営業部 設計課長	委
八鍬 久美子	本田精機株式会社 営業部 設計課 設計係	委
岡崎 禎子	国立大学法人弘前大学 大学院理工学研究科研究機関 研究員	
佐藤 裕之	国立大学法人弘前大学 大学院理工学研究科 准教授	
木村 久道	国立大学法人東北大学 金属材料研究所 准教授	
山浦 真一	国立大学法人東北大学 金属材料研究所 准教授	
庄司 一夫	株式会社インテリジェント・コスモス研究機構 取締役産学官連携・インキュベーション事業部長	
高橋 行男	産学官連携・インキュベーション事業部 部長	委
猪股 則夫	産学官連携・インキュベーション事業部 統括マネージャー	
澁谷 俊昌	産学官連携・インキュベーション事業部マネージャー	委
富松 博	産学官連携・インキュベーション事業部マネージャー	委
池田 由美	産学官連携・インキュベーション事業部 部員	委
三浦 未紀枝	産学官連携・インキュベーション事業部 部員	委
島田 宗勝	日産自動車株式会社 総合研究所 シニアエンジニア	アドバイザー

アドバイザー

氏名	主な指導・協力事項
島田 宗勝	磁気センサーに関する実験指導と試料提供・評価
工藤 治夫	高周波加熱電源及び制御装置の設計指導
土野 雅道	医療機器研究開発指針と販路拡大対策
須田 信行	医療機器に関する実験協力と評価

### 3. 実施した委託業務の成果概要

#### 3.1 設定課題と成果概要

本プロジェクト：「金属ガラス・ナノ結晶合金の急冷遠心鑄造技術の研究開発」において、遠心鑄造プロセス成形法における製品化部材では、溶湯を金属製回転鑄型内部に注入して、回転鑄型遠心力加圧下で急速に冷却成形をする短時間連続成形に特長がある。遠心鑄造法では、成型品金属材料の性質（溶解温度、粘性、目標形成金属組織、雰囲気活性度等）やその応用用途、製品部品の形状による冷却条件や湯流れ性の向上を考慮して鑄型の設計や、材料の鑄込み温度、射出圧力、鑄型回転速度等の様々な条件を決めていく必要がある。

この課題に対して、理論系計算や有限要素法 3次元伝熱モデル解析には、多額な委託研究費と期間を要するので、本プロジェクト期間と予算枠ではできない。

そこで現実的な方法として、本田精機(株)と弘前大学、東北大学のチームでは議論の上で、まず、(1)既設(本プロジェクト申請時前の)の設備を用いて、東北大学金属材料研究所と弘前大学との協同作業で試作試料の評価試験などの基礎的な実験とデータの収集を行った。新しく製作される急冷遠心鑄造装置(試作機)の製作期間中に、製品モデル(医療機器用デバイス、自動車用機能部材)の製法について材料の熔融温度や鑄型の材質、急冷凝固速度等のノウハウを得た。次に、(2)急冷凝固遠心鑄造装置(試作機)の設計、製作を本田精機(株)で行った。本装置は真空チャンバーの大型化、真空ポンプ・高周波加熱装置・冷却装置等の機能強化、鑄型着脱機能を持った鑄型回転機構とターンテーブルを使った鑄型交換機構や大容量化された坩堝と量をコントロールできる注湯機構の採用等によって連続鑄造による量産機能の実現を図った。さらに、本田精機(株)主体で(3)回転鑄型の製法技術及び回転鑄型による鑄造技術の研究開発を行った。各種金属ガラス・ナノ結晶合金モデルの鑄造実験によって回転鑄型の製法技術及び回転鑄型による鑄造技術の研究開発を行った。特に医療器具部品の近似モデル(金属ガラス合金)や磁歪リングモデル(ナノ結晶合金)等の実用モデルに重点を置いて実験をし、湯流れや成型の状態を見ながら湯口・湯道等の改良を繰り返し、鑄型の回転数や溶湯の温度等の条件を調整した結果、効率よく良好な成型品を鑄造するノウハウを得ることが出来た。最後に、(3)金属ガラス・ナノ結晶合金の急冷遠心鑄造モデル部材の性能評価とユーザー企業側への新開発機器および量産化機能部品の商品化提供への技術課題などを含む研究総括を行った。全体を通して、急冷凝固遠心鑄造装置(試作機)は目標性能を達成(達成度=95%以上)、急冷遠心鑄

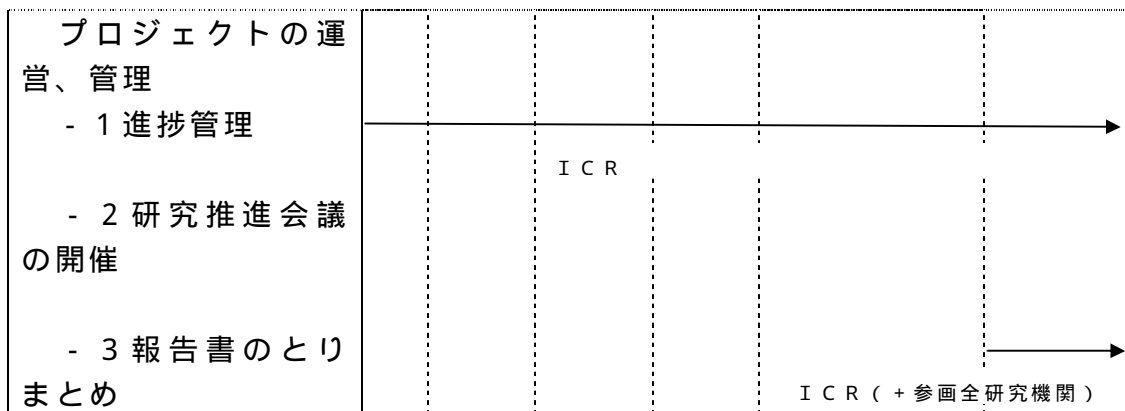


造製品化モデルに要求される部材成形性（100%）と機能性（90%）が達成できた。

本研究プロジェクトの全体計画表(研究項目、担当機関)を以下の第 1.3.1 図に示す。また、参画した各機関ごとの成果概要を以下に示す。

### 3.2 実施計画日程

実施内容	1 2 月	1月	2月	3 - 4 月	5月	6月
金属ガラス・ナノ結晶合金部材の評価・試験、製品化 - 1 基礎データの収集 - 2 試作試料の評価試験 - 3 製品別の製法確立	<p>素材毎の回転数、鑄型材質、溶湯滴下温度の確立 (弘前大で基礎実験 + 本田精機で試験機器作製)</p> <p>東北大(物性評価)、弘前大(組織、強度、耐久性)</p> <p>本田精機 ( N I S S A N、オリンパス )</p>					
急冷遠心鑄造装置の設計、製作 - 1 真空装置の設計、製作 - 2 遠心鑄造機構の設計、製作 - 3 制御装置の設計、製作 - 4 総合運転試験	<p>本田精機</p> <p>本田精機、弘前大 (+ オリンパス)</p> <p>本田精機、弘前大 ( 工藤電機、 N I S S A N、オリンパス )</p> <p>本田精機 ( 工藤電気 )</p> <p>本田精機 ( 工藤電気 )</p>					
回転鑄型の製法技術の研究開発 - 1 実用モデル鑄型の設計・製作 - 2 実用モデルの鑄造試験 - 3 実用モデルの評価	<p>本田精機、弘前大 (+ オリンパス、 N I S S A N )</p> <p>本田精機、弘前大</p> <p>本田精機、弘前大 (+ オリンパス、 N I S S A N )</p>					



### 3.3 各研究機関での成果概要

#### (1) 本田精機(株)で実施した委託業務の概要

##### 1) 金属ガラス・ナノ結晶合金部材の評価、試験、製品化

新しく製作される急冷遠心鑄造装置(試作機)の製作期間中に既設の設備を用いて東北大学金属材料研究所と弘前大学との協同作業で試作試料の評価試験などの基礎的な実験とデータの収集を行い製品別の製法について材料の熔融温度や鑄型の材質等のノウハウを得た。

##### 2) 急冷凝固遠心鑄造装置(試作機)の設計、製作

連続鑄造による金属ガラス・ナノ結晶合金製品の量産機能を持った急冷凝固遠心鑄造装置(試作機)の設計、製作を行った。本装置は真空チャンバの大型化、真空ポンプ・高周波加熱装置・冷却装置等の機能強化、鑄型着脱機能を持った鑄型回転機構とターンテーブルを使った鑄型交換機構や大容量化された坩堝と量をコントロールできる注湯機構の採用等によって連続鑄造による量産機能の実現を図っている。

本装置の製作は H21 年 10 月から始まり H22 年 2 月 26 日に当初の設計仕様通りのものが完成した。しかしながら予備実験により連続鑄造を行うには坩堝を始めとした注湯機構に大幅な見直しが必要なことが判明し、その改良には H22 年 6 月 3 日までかかった。その間は単発鑄造による実験を行った。

##### 3) 回転鑄型の製法技術及び回転鑄型による鑄造技術の研究開発

2)で述べた急冷凝固遠心鑄造装置(試作機)を使用した各種金属ガラス・ナノ結晶合金モデルの鑄造実験によって回転鑄型の製法技術及び回転鑄型による鑄造技術の研究開発を行った。特に医療器具部品の近似モデル(金

属ガラス合金)や磁歪リングモデル(ナノ結晶合金)等の実用モデルに重点を置いて実験をし、湯流れや成型の状態を見ながら湯口・湯道等の改良を繰り返し、鋳型の回転数や溶湯の温度等の条件を調整した結果、効率よく良好な成型品を鋳造するノウハウを得ることが出来た。

#### 4) 急冷凝固遠心鋳造装置(試作機)による連続鋳造技術の研究開発

2)で述べた事情の為、H22年6月に入ってから本装置による連続鋳造の実験が出来るようになったが、時間的な事情でナノ結晶合金を使った基礎試験までしか行えなかった。その結果ある程度の連続鋳造は行えたが湯口への注湯が不確実で更なる改良が必要であることがわかった。

#### 5) まとめ(本田精機(株))

単発の鋳造実験においては、3)で述べた研究で良好な成型品を得る為の各種条件や金型の仕様についての知見は得られた。しかし、4)で述べた通り連続鋳造による成型製品の量産技術を確立するには確実に湯口に注湯できる機構の開発等更なる改良が必要である。今回の研究事業終了後も弊社独自に研究を続けていきシステムの完成を目指していく。

### (2) 東北大学で実施した委託業務の概要

#### 1) 本所担当した研究課題

本プロジェクトは、平成21年度補正予算事業・戦略的基盤技術高度化支援事業の「金属ガラス・ナノ結晶合金の急冷遠心技術の研究・開発」であり、我々東北大グループの分担研究を下記する。この担当研究を抽出すると、

- 2 - 金属ガラス・ナノ結晶合金部材の評価・試験、製品化
  - 2 - - 1 基礎データの収集
- 2 - 回転鋳型の製法技術の研究開発
  - 2 - - 3 実用モデルの評価(金属ガラスのみ)

これら三つの研究課題について、本所において主たる研究課題として実施した。

#### 2) 研究方針

本研究では金属ガラスの産業への応用の一例として、信頼性が高く、また低コストで量産できるバルク金属ガラス部材の作製プロセス開発を目的として、銅等の鋳型の高い冷却速度と遠心力を併用した「急冷遠心鋳造法」により、単純形状バルク金属ガラスの作製と特性評価を行い、ガラス形成

に影響を与える因子の基礎的調査・検討を行った(2-1)。さらにこの基礎的知見を用いて、3次元複雑形状のニアネットシェイプを目標とし、金属ガラス応用の一環として複雑形状バルク金属ガラスの作製を試みた(2-3)。

### 3) 本プロジェクトによる成果

#### 2.1.1 基礎データの収集

本題目では、単純形状バルク金属ガラスの作製と特性評価を行い、ガラス形成に影響を与える因子の基礎的調査・検討を行った。

構造解析、熱的安定性の結果から、いずれの作製条件においても $T_g$ を有し、金属ガラスであった。作製条件の材質1 鋳型では遠心力が大きくなるにつれ、ガラス形成能のわずかな増加傾向を確認し、3種の鋳型材質でのガラス形成能はほぼ同程度であった。また材質3におけるガラス形成能は同材質の遠心力無しでの作製条件と大きな違いが見られた。これらから遠心鋳造法では鋳型材質によらず、ほぼ同等のガラス形成能を有する部材作製の可能性が考えられる。以上のように、金属ガラス作製に一般的に用いられる金型鋳造と比較してガラス形成能が向上する可能性をあり、急冷遠心鋳造法はバルク金属ガラスの作製に関して非常に有用であり、これらの詳細原因の研究発展も考えられる。

#### 2.3.3 実用モデルの評価(金属ガラスのみ)

本題目では急冷遠心鋳造法により複雑形状試料の作製を行い、遠心鋳造条件との関係性を調査した。

その結果、作製した部材の形状は負荷遠心力を増加させるに従い鋳型形状に近づき、ガラス形成能も若干向上する傾向が得られた。また高い遠心力負荷した際には全ての鋳型材質でほぼ鋳型通りの形状が得られ、構造解析結果においてもガラス相を維持した試料が得られたが、試料の外縁部では湯回り不良等の鋳造欠陥が確認された。その上、鋳型面を試料表面の傷としてよく転写する傾向も認められ、鋳型の精度を向上させることにより、より高品質なバルク状部材を作製できる可能性が示唆された。

### 4) まとめ(東北大学)

本研究は、単純形状バルク金属ガラスの作製・特性評による基礎的調査・検討を行い、金属ガラスの複雑形状応用部材の作製・評価を実施した。これにより、上述した各種の結果や考察・作製技術の習得などの幅広い知見が得られ、これらの知見から遠心鋳造法または遠心鋳造複雑形状部材はイノベーション創出となる製品の一つとなり得ると思われる。

### (3) 弘前大学で実施した委託業務の概要

#### 1) 研究目的概要：

本プロジェクト：「金属ガラス・ナノ結晶合金の急冷遠心鑄造技術の研究開発」において、

遠心鑄造プロセス成形法における製品化部材では、溶湯を金属製回転鑄型内部に注入して、回転鑄型遠心力加圧下で冷却成形をする短時間連続成形に特長がある。遠心鑄造法では、成型品の材料金属の性質（溶解温度、粘性、目標形成金属組織、雰囲気活性度等）やその応用用途、製品部品の形状による冷却条件や湯流れ性の向上を考慮して鑄型の設計や、材料の鑄込み温度、射出圧力、鑄型回転速度等の様々な条件を決めていく必要がある。この課題に対して、理論系計算や有限要素法 3次元伝熱モデル解析には、多額な委託研究費と期間を要するので、本プロジェクト期間と予算枠ではできない。そこで現実的な方法として、本田精機と弘前大学、東北大学のチームでは議論の上で、それぞれの条件要素を分析できるような試料モデルを鑄造実験で作製し、その結果や実験現場で得られたノウハウをもとに条件の設定を行ってきた。ここでは、基礎研究用試料モデルをまず作製し、それを踏まえたプロセス条件を精査したあとで実用化部材モデルの試作に取り組んだ。特に、弘前大学の分担は、トルクセンサ用磁歪リング部材の開発であるので、多結晶金属結晶組織を有する鉄基新 FeGa 系磁歪合金(弘前大学特許申請中)のうち、自動車用操舵系・転舵系トルクセンサ部品として有望視されている、高強度の5元素系  $Fe_{80}Ga_7Al_3Zr_5C_5$  合金の特性評価用センサ部材モデルのための遠心回転鑄型とそのプロセス条件を中心に研究開発した。そして、試作した磁歪リング部材デバイスの特性評価として、強度・磁気特性評価、磁歪リング式トルクセンサの感度試験を実施して、今後の実用化に向けての技術課題を抽出した。以下に各項目の課題と主な結果および全体の成果概要を示す。

#### 2) 実施研究課題と成果概要：

本プロジェクトに於ける弘前大学の分担研究項目は以下の2大項目（、）である。

金属ガラス・ナノ結晶合金部材の評価・試験、製品化

（小項目：1.基礎データの収集 3.製品別の製法確立）

回転鑄型の製法技術の研究開発

（小項目：1.実用モデルの鑄造試験 3.実用モデルの評価(磁歪リング)）

## A. 基礎データの収集

本田精機で新しく改良・設計する急冷遠心鑄造装置（試作機 = 号機）の製作期間中、本プロジェクト申請前に使用していた、単一の回転鑄型を用いた高周波溶解による金属素材用の急冷遠心鑄造装置（既設の設備 = 号機）を用いて、急冷遠心鑄造プロセス条件を変えた場合などの金属ガラス・ナノ結晶合金部材の基礎的な実験とデータの収集を行った。

## B. 製品別の製法確立

目標とする試作製品は（１）内視鏡アクチュエータ部品（金属ガラス）と（２）磁歪センサ部品（ナノ結晶合金）に大別される。弘前大学では、自動車やロボット製品内での回転シャフト部品でのトルクセンサ用の磁歪リング部材の作製を行った。急冷遠心鑄造プロセスでの、熔融温度、鑄型（金型）形状、回転速度、注湯方法、鑄型材質等を変えながら、磁歪リングの試作実験・検証した。次のようなプロセス条件の特徴が見られた

### ３）磁歪センサ部品（ナノ結晶合金）プロセスと磁歪リング特性評価：

熔融温度：原材料の組成配合にもよるが、目標とした FeGa 系合金（５元素、FeGaAlZrC 合金）では、概ね 1,600 前後である。

湯流れ：金属ガラスよりも結晶質は粘性が大きく、型成形性や鑄型接触面での転写表面性状は悪いので、２次加工（切削加工）で仕上げることが要る。

鑄型材質：金属ガラスに較べて冷却速度の要求が緩やかなので、Cu 鑄型よりも硬度が高く、耐久性の高い SUS 材や SKD 材が適用可能である。この結果は実用鑄型の開発に非常に有意義である。

磁歪リング金属組織：鑄型接触面では急冷効果による微細化柱状結晶が形成され、その長手方向は磁歪リング半径方向であり、また、回転遠心力が作用したので結晶粒が半径方向からある程度の角度（ ）をもってリング円周方向に傾いた急冷遠心鑄造特有の微細結晶組織形態が明らかになった。この特有な FeGa 系合金組織形成は漏れ磁束の発生を増やしトルク感度向上に有効となる。

リング材の強度：湯流を改良し、充填度挙げた急冷遠心鑄造板材を素材として、３点曲げ試験により、破壊応力が 1000 MPa を超える、従来にない最大級の FeGa 系磁歪合金強度を達成した。

磁気特性（磁歪、保磁力）とトルク感度：急冷遠心リングは微細組織のために、未熱処理段階であるが、磁歪は普通の鑄造プロセス材料で大結晶素材よりもやや小さく50ppm、保磁力(Hc)は、微細結晶化により、通常の粗大結晶鑄造合金組織よりも3倍以上向上し、Hc増大効果が現れた。これら2つのパラメータも相乗的に関係するとされる、トルクセンサ感度については、依然5分の1以下に留まっており、未熱処理素材段階での現状ではまだ低く、目標達成に至っていない。

#### 4) まとめ(弘前大学)

急冷遠心鑄造法による磁歪リングの作製プロセス(成形加工性)と合金組織形態制御と材料強度は目標達成した。しかし、磁気特性において、磁歪値の増加とトルクセンサ感度向上策が引き続き必要である。改善策としては、適切な後熱処理条件(内部欠陥低減化、結晶内ランダム的内部応力除去)、磁化着磁方法改善(Hc、残留磁束密度Br向上策)、シャフト装着たが応力調整(磁歪の応力依存性利用)などが挙げられる、今後、自動車会社側ユーザーと共同研究を進めることで、次世代電気自動車に採用が有望視されている、ステアバイワイヤー操舵系システム組込みデモ実験の早期実現は期待できる。

#### 4. 知的財産権等の取り組み状況

「金型の湯道形状」及び「連続鑄造用鑄型交換ターレット」について、特許出願予定。

#### 5. 投稿論文等

「急冷遠心鑄造プロセスで成形制御した磁歪 Galfenol リングセンサ部材の微細化組織と特性」 弘前大学 古屋、東北大学金研 横山等  
2010 秋 金属学会

「寒冷積雪地用電気自動車(EV)へのスマート電磁エネルギー変換材料の適用課題」 弘前大学 古屋、日産 島田

「急冷遠心鑄造法によるバルク金属ガラス部材の創製と特性評価」  
弘前大学 三浦、古屋、東北大学金研 横山等  
2010 秋 金属学会



6. 当該研究開発の連絡窓口

宮城県仙台市青葉区南吉成六丁目 6 番地の 3  
株式会社インテリジェント・コスモス研究機構  
プロジェクト・マネージャー

澁谷俊昌

電話： 0 2 2 - 2 7 9 - 8 8 1 1

FAX .: 0 2 2 - 2 7 9 - 8 8 8 0

E-mail : shibuya@icr-eq.co.jp



