

平成20年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「環境調和型高機能・高性能鑄造品の製造技術開発」

研究開発成果等報告書

平成21年 3月

委託者 東北経済産業局
委託先 水沢鑄物工業協同組合

目 次

第1章 研究開発の概要	- 1-
1-1 研究開発の背景・研究の目的及び目標	- 1-
1-2 研究体制	- 5-
1-3 成果概要	- 12-
1-4 当該研究開発の連絡窓口	- 14-
第2章 磁気特性強化鋳鉄の開発	- 15-
1. 緒言	- 15-
2. 実験方法	- 15-
3. 実験結果	- 15-
4. 結言	- 16-
5. 成果と達成度	- 16-
第3章 超強靱球状黒鉛鋳鉄の開発	- 17-
1. 緒言	- 17-
2. 実験方法	- 17-
3. 実験結果	- 17-
4. 結言	- 18-
5. 成果と達成度	- 18-
第4章 超軽量薄肉球状黒鉛鋳鉄製厨房用品の開発	- 19-
1. 緒言	- 19-
2. 実験方法	- 19-
3. 実験結果	- 19-
4. 結言	- 20-
5. 成果と達成度	- 20-
第5章 超軽量薄肉片状黒鉛鋳鉄製厨房用品の開発	- 21-
1. 緒言	- 21-
2. 実験方法	- 21-
3. 実験結果	- 21-
4. 結言	- 22-
5. 成果と達成度	- 22-
第6章 超高強度・軽量片状黒鉛鋳鉄品の開発	- 23-
1. 緒言	- 23-
2. 実験方法	- 23-
3. 実験結果	- 23-
4. 結言	- 24-
5. 成果と達成度	- 24-
第7章 全体総括	- 25-

第1章 研究開発の概要

1-1 研究の背景・研究目的及び目標

1) 研究の概要

高付加価値化、軽量化、コスト低減及び環境に配慮した高機能・高性能で環境調和型鑄造品を製造するためには、鑄鉄の薄肉化・軽量化により発生するチル化の問題を解決する必要がある。また、高 Mn 鋼屑のリサイクルを考慮して、鑄鉄鑄造時の原材料として高 Mn 鋼をそのまま使用すると鑄鉄がチル化して機械的特性を低下させる問題が起こるので、その対応も必要となる。さらに低コスト化、高機能化の点では、機械加工した鋼製磁気回路部品に対して、切削性がよい高機能鑄鉄により加工コストを低減し、さらに磁気特性を強化した鑄鉄鑄造品の開発も必要である。

本研究では、鑄鉄溶湯に対して希土類元素の添加や接種による溶湯処理を行いチル化防止の効果と材質を調べ、最適な溶湯処理技術の確立を図り、高機能・高性能鑄造品の製品の製造技術を開発する。また、高 Mn の鑄鉄に対しても希土類元素と硫黄の併用添加により鑄鉄のチル化を抑え、高 Mn 鋼屑のリサイクルに対応する製造技術も研究する。

このような観点から、本プロジェクトでは、環境と調和した高機能・高性能鑄造品と高齢化社会における安全で利便性ある製品の開発のために、希土類元素 (RE) 添加による高強度鑄鉄のシーズと高 Mn 鋼のリサイクル技術を基に、(1) 磁気特性強化鑄鉄、(2) 超強靱球状黒鉛鑄鉄、(3) 超軽量厨房用南部鉄器、(4) 超高強度・軽量片状黒鉛鑄鉄を対象に高強度、軽量化、切削性を達成する新たな技術を開発する。

2) 研究の目的

自動車、工作機械、建設機械、一般産業機械等の川下製造業者への部材供給に対し、様々なニーズに対応するために、高付加価値化、軽量化、コスト低減及び環境に配慮した高機能・高性能で環境調和型鑄造品を製造するための技術開発が望まれている。環境問題と省エネルギーの観点からは、鑄鉄部品を薄肉軽量化して重量負荷を軽減した製品や、高齢者にとって軽量・安全で利便性ある製品開発のニーズがある。ところが、鑄鉄部品を薄肉化すると、チル (Fe_3C) と呼ばれる炭化物を生じるため硬く、脆くなるという問題が起こり、これを解決する技術開発が必要とされている。

また高付加価値化、高機能化の点では、従来の鑄鉄では磁気特性が悪いため、磁気回路部品としては、機械加工した鋼が使用されているが加工コストがかかるという問題があり、自動車用・建設機械用磁気回路部品メーカーより、部品形状に近く、加工コストを低減できる鑄造法により、磁気特性を強化した鑄鉄鑄造品の開発の要求がある。

さらに鑄造業界における環境を配慮したリサイクルとコストダウンの観点から、原材料として高 Mn 鋼プレス屑を用いる鋼屑のリサイクルが望まれている。しかし、高 Mn 鋼に含まれる Mn は鑄鉄ではチル化の原因になるために現在の技術では鑄鉄の原材料としてのリサイクルには問題がある。

そこで、本プロジェクトでは、以上の問題を解決する研究を行うとともに、環境と調

和した高機能・高性能鑄造品と高齢化社会における安全で利便性ある製品の製造技術を開発することを目的とする。

3) 研究の目標

①磁気特性強化鑄鉄の開発（及精鑄造所、岩手大学）

本研究では、従来の鑄鉄品の磁気特性である最大磁束密度 1.4T(テスラー)を超える、1.6T 以上の高性能な鑄造品を開発するために、溶湯処理による黒鉛組織の微細化と基地組織制御による磁気特性に優れた高性能な鑄造品を開発する。

初年度（平成 18 年度）は、希土類元素添加や接種等の溶湯処理による黒鉛組織の微細化と基地組織を変えた試料を作製し、磁気特性を評価する。その結果より 1 つの目標として従来品を超える 1.5T を満たすための条件を確立する。また、溶解条件により添加した希土類元素の歩留が影響すると考えられるので、初年度購入する溶解炉により元素の歩留に及ぼす溶解条件の影響を調べ、溶解条件の最適化を図ることを目標とする。

次年度（平成 19 年度）は、溶湯処理による黒鉛微細化を行い、最大磁束密度 1.6T を満たすための特性を調べることを目標とする。

最終年度（平成 20 年度）は、最大磁束密度 1.6T を満たす実製品開発に向けた最適条件の確立を行うことを目標とする。

②超強靱球状黒鉛鑄鉄の開発（水沢鑄工所、岩手大学）

一般に機械部品に使用されている球状黒鉛鑄鉄の引張強度は 450MPa 程度のものが多い。本研究では、鑄放し（熱処理なし）で JISFCD800（800MPa）を超える鑄鉄品を開発するための方法として、球状黒鉛鑄鉄のチル化を低減させ、球状黒鉛粒数の増加に有効である希土類元素の添加及び引張強さの向上に有効であるマンガン（Mn）等の合金元素の添加により、鑄放し高強度球状黒鉛鑄鉄（引張強度 1000MPa 級）によるマンホール蓋の製品化への研究開発を行う。また、高 Mn 鋼屑のリサイクルを目的に鑄鉄の材質に及ぼす Mn の影響についても調べる。

初年度（平成 18 年度）は、球状黒鉛鑄鉄の強度に及ぼす希土類元素の添加量及びマンガン（Mn）元素の添加量の影響についての基礎実験を行い、1 つの目標として従来品 JIS FCD800（800MPa）を超える引張強さを目指すことを目標とする。

次年度（平成 19 年度）は、球状黒鉛鑄鉄の強度に及ぼす銅（Cu）の添加量、その他パーライトを促進する金属の添加量の影響についての基礎実験を行い、目標として 900MPa を超える引張強さを目指すことを目標とする。

最終年度（平成 20 年度）は、実際に製造ライン上で高強度球状黒鉛鑄鉄による試作マンホール蓋を製造し、実体強度について測定・評価を行うことを目標とする。

③超軽量鑄鉄製厨房用品の開発

③-1 超軽量薄肉球状黒鉛鑄鉄製厨房用品の開発（岩鑄、岩手大学）

高齢化社会における安心・安全で質の高い生活の実現に向けて、軽量で安全な厨房

品が求められている。特に高齢者には安全な暮らしのためにオール電化が見直されている。そのオール電化 200V 対応の厨房用品の多くは強度を上げるために底面を厚くしているので、重量が重い。本研究では、従来 4mm の肉厚を 3mm 以下にして薄肉強靱な軽量厨房製品の製造技術の確立を図る。

初年度（平成 18 年度）は、厨房用鋳鉄品である南部鉄器において、高齢者でも扱い易い製品にするために鋳鉄品の軽量化すなわち薄肉化に関する基礎実験として、薄肉鋳鉄製厨房用品の基礎実験用金型の製作と砂型鋳造法による薄肉鋳鉄製造の基礎実験を行い、肉厚 3mm 適応への基本的技術の方向性を調べることを目標とする。

次年度（平成 19 年度）は、薄肉鋳鉄製厨房用品における、湯流れ性向上のための鋳造方案の開発、および希土類元素を添加して無チル化の球状黒鉛鋳鉄の製造技術を研究開発し、肉厚 3mm 適応の薄肉強靱な軽量厨房鉄器の製造を目指すことを目標とする。

最終年度（平成 20 年度）は、前年度までの実験結果を応用して製品肉厚を 3mm 以下にして、さらなる薄肉軽量の厨房製品の製造技術を確立すると共に、発光分光分析装置を活用し、材質・強度の評価をして電磁調理器に適応する製品の製造を目指すことを目標とする。

③—2 超軽量薄肉片状黒鉛鋳鉄製厨房用品の開発

（及源鋳造、岩手大学、奥州市鋳物技術交流センター）

本研究では、鋳鉄の薄肉化にともなう強度の変化を研究するとともに、厨房品への適応化に関する研究開発を行うために、基礎実験を元に実用的な鍋のデザインを開発し、模型用金型の研究を平行して進めながら薄肉厨房製品の実用化を目指す研究開発を行う。

初年度（平成 18 年度）は、溶解実験において各種の接種剤を用いてキューボラ溶湯の強度とチル化に与える影響を調査する。また、材質に影響する湯流れ性確認のために肉厚を変化させた金型を用いた検証も行い、肉厚 3mm 適応への問題点を把握することを目指す。

次年度（平成 19 年度）は、平成 18 年度に行った溶湯試験や金型試験を元に薄肉鋳鉄製品の厨房用鉄器全般へ応用を展開する。特に鉄瓶、急須類の金型を高精度化する事によって製品の薄肉化の可能性を探る。また鉄瓶、急須類の表面に施されている模様（アラレ模様、刷毛目模様等）は、CAD を利用しての再現が特に困難なことからこの分野でも新たな研究を進めることを目標とする。

最終年度（平成 20 年度）は、平成 18 年度から 19 年度に実施した接種剤の効果を元に調整した溶湯を、薄肉厨房用品への応用を図り製品化の可能性を探ることを目標とする。

④超高強度・軽量片状黒鉛鋳鉄品の開発（及泰、岩手大学）

本研究では、合金や希土類元素を添加した鋳放し超強靱片状黒鉛鋳鉄の研究を行い、JIS 規格 350MPa を超える引張強さを持ち高強度で軽量のバルブ等の一般機械部品の

製造技術の開発を行う。

初年度（平成18年度）は、高周波誘導炉で溶解した溶湯に希土類元素を添加した試料を作製し、その添加量と強度の関係を調べるために強度試験を行う。また、初年度導入する発光分光分析装置により成分分析を行い、350MPaを超えるための元素量を調査し、最適値を把握することを目標とする。

次年度（平成19年度）は、希土類元素の添加により、350MPa以上の強度を有し、かつ切削性に優れた鋳鉄製造技術の開発を行い、製品化応用への検討を行なうことを目標とする。

最終年度（平成20年度）は、試作用の鋳型を用い試作品の鋳造を行ない、製品化の可能性を探るとともに薄肉化したバルブの開発を行ない、その強度や耐久性の確認を行ない製品化を目指すことを目標とする。

⑤プロジェクトの管理・運営（水沢鋳物工業協同組合）

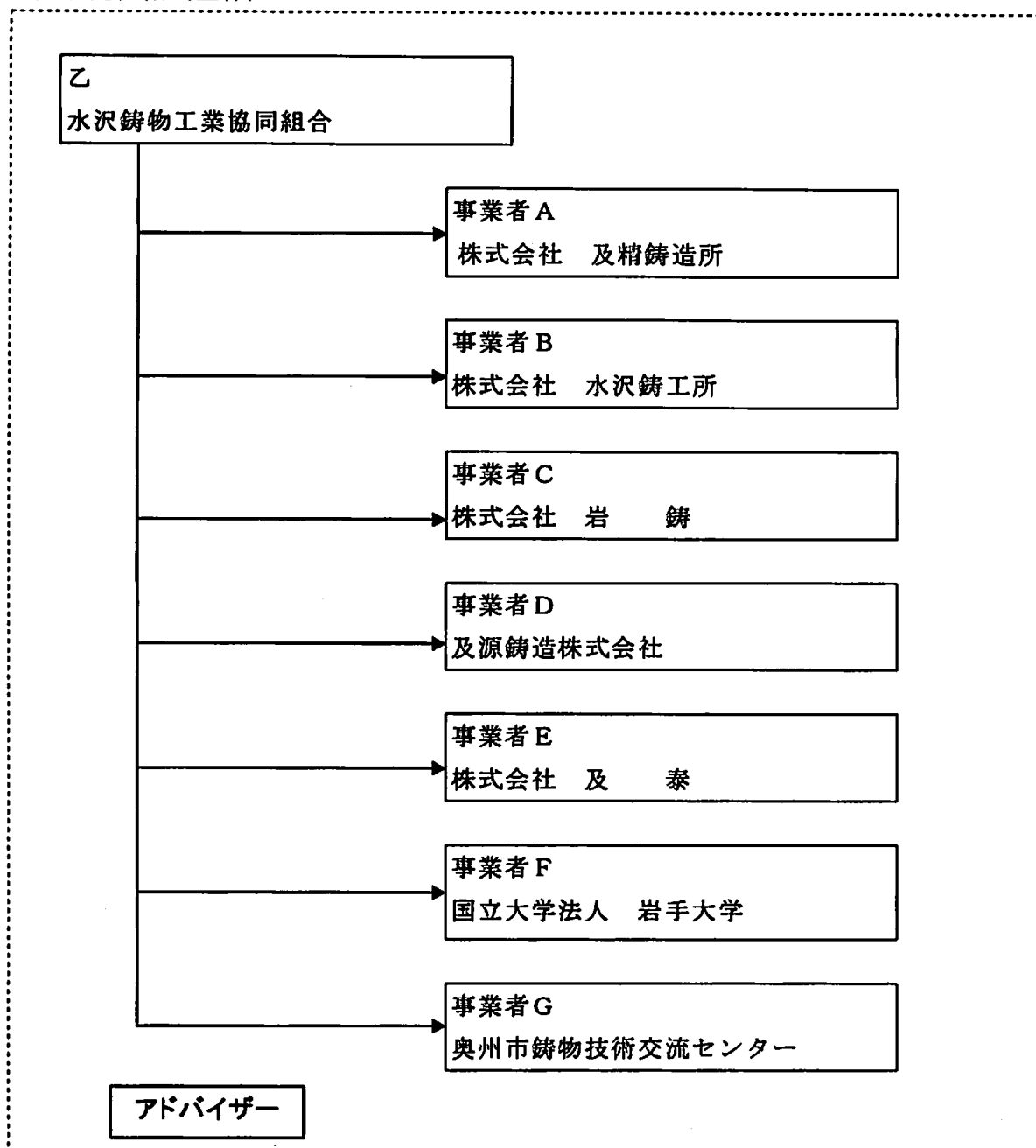
事業管理者は、本研究の円滑な推進を図るため「研究開発推進委員会」の運営等により研究成果の報告等を通じて、各研究開発項目の総括的な課題抽出・検討・研究成果の評価を行う。また、研究開発推進委員会を3回開催し事業の円滑な推進を図るとともに研究報告書の作成も行う。

なお、総括研究代表者（PL）は、研究プロジェクトの進捗状況の把握を行うとともに研究成果の事業化に向けて産業界のニーズ等に基づく研究開発の方向性の提示等研究開発プロジェクトの円滑な実施を積極的に推進する。また、副総括研究代表者（SL）は、研究成果の事業化に向けて（PL）を補佐しながら参画企業を支援する。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）



総括研究代表者(PL)

所属組織名:国立大学法人岩手大学

所属役職:工学部 教授

氏 名:平塚 貞人

副総括研究代表者(SL)

所属組織名:株式会社 水沢鑄工所

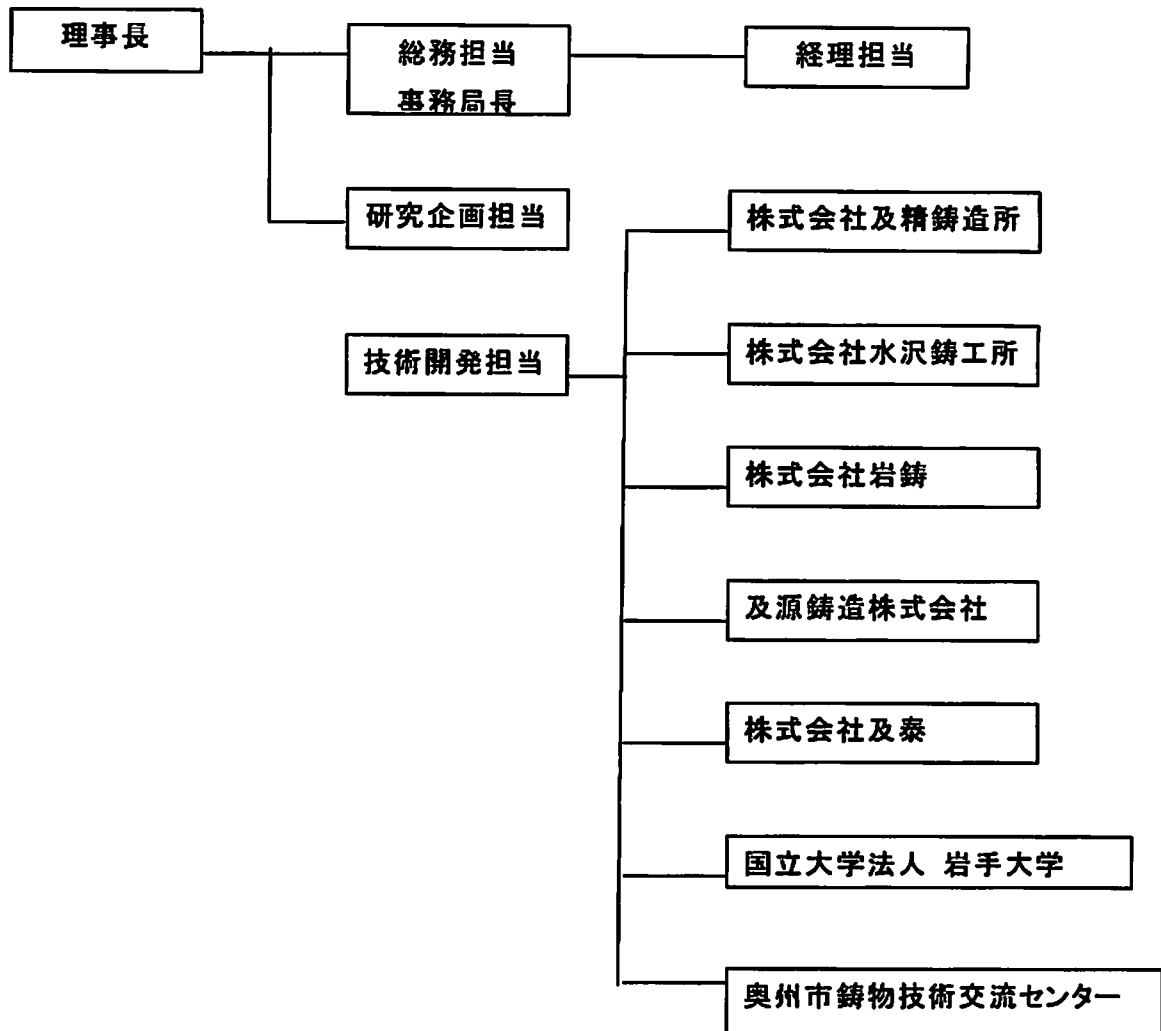
所属役職:代表取締役

氏 名:及川 寿明

2) 管理体制

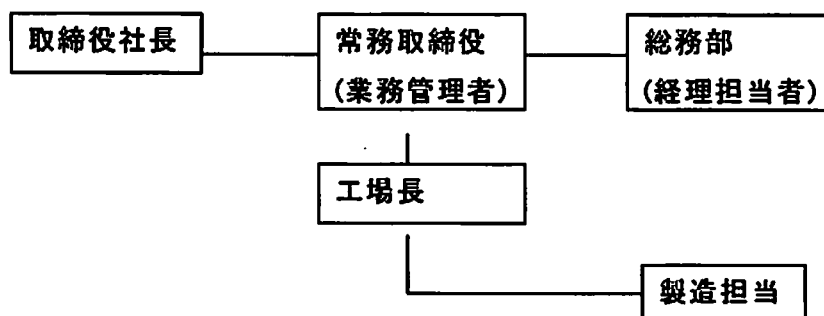
①事業管理者

[水沢鑄物工業協同組合]

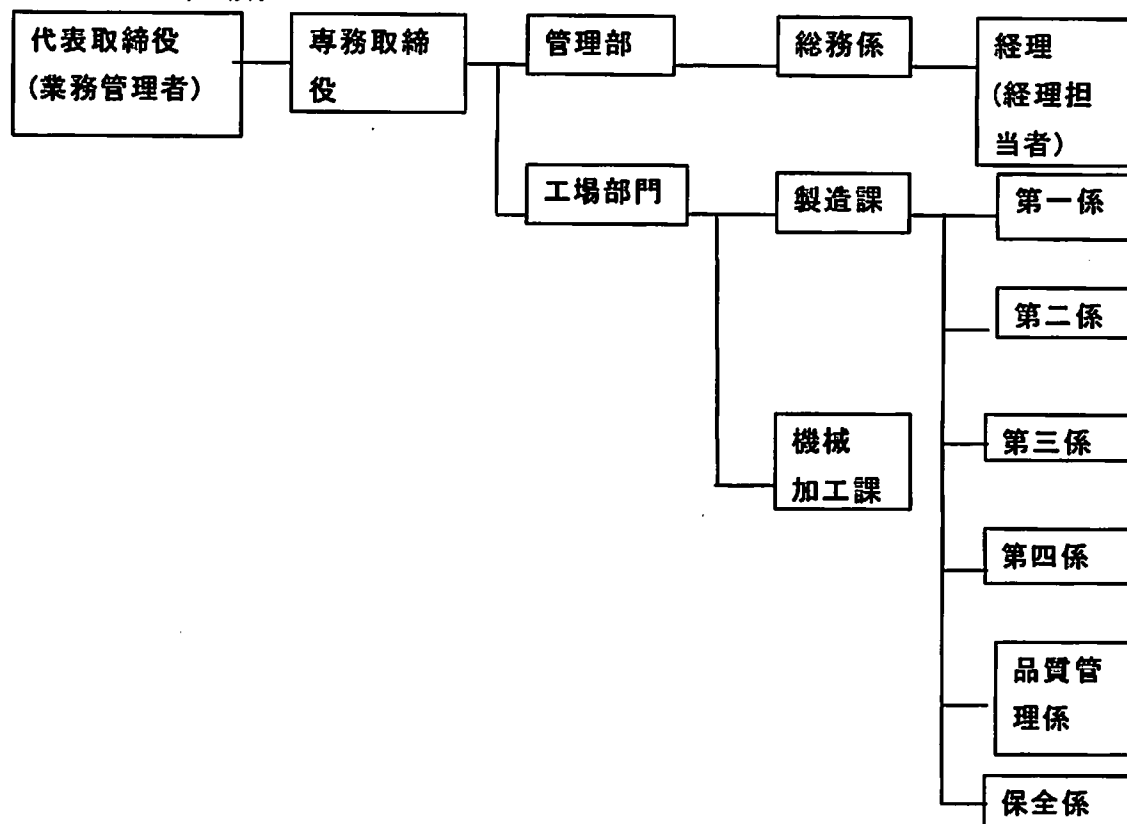


②（再委託先）

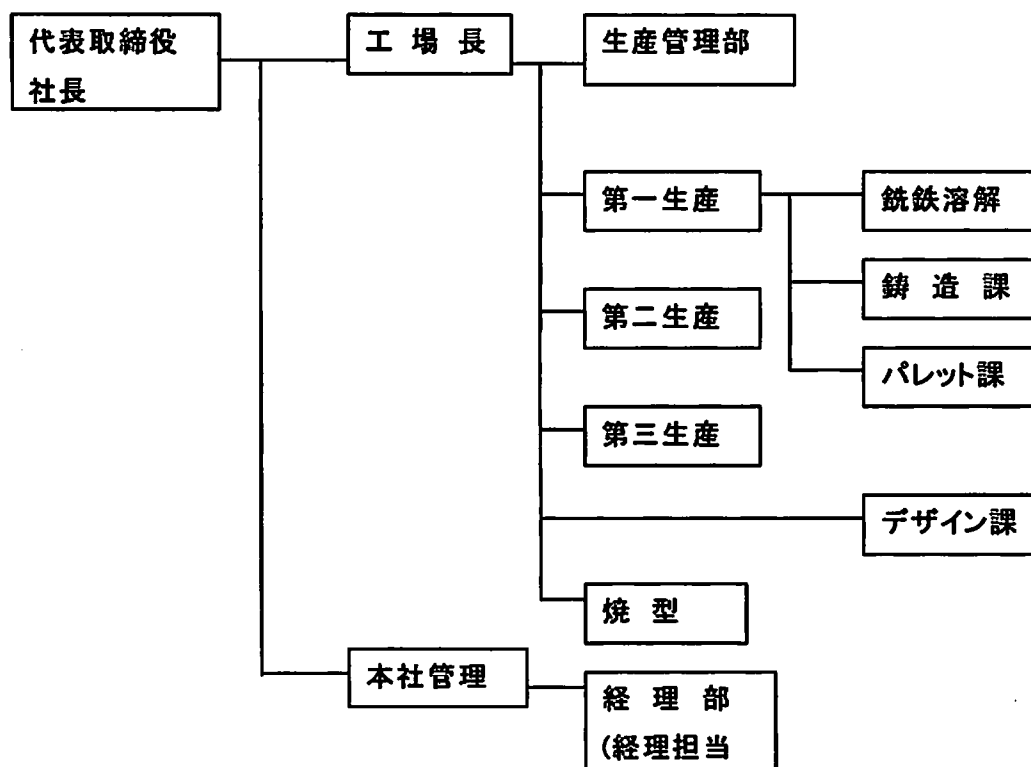
[株式会社及精鑄造所]



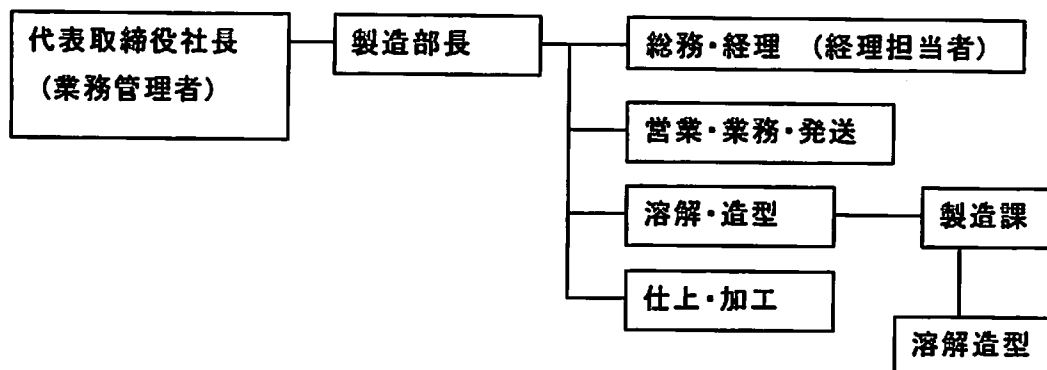
〔株式会社水沢鑄工所〕



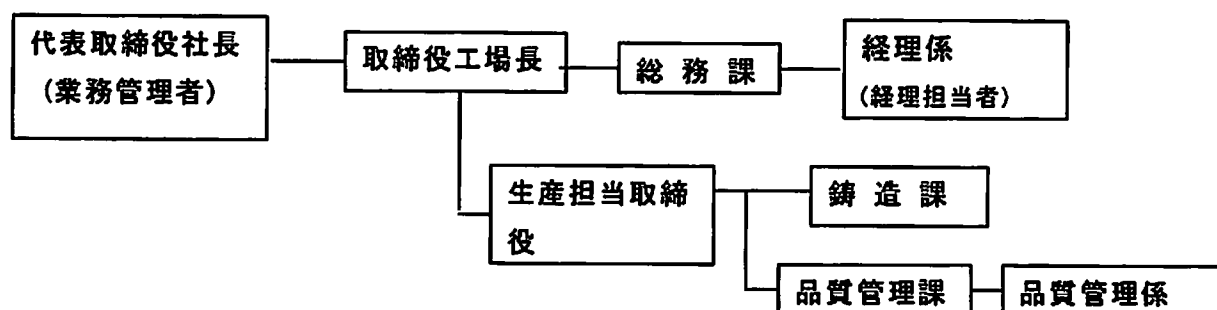
〔株式会社岩鑄〕



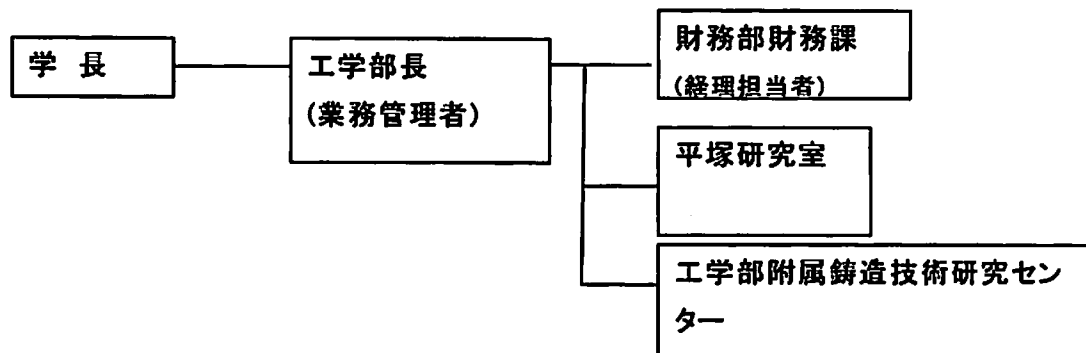
〔及源鑄造株式会社〕



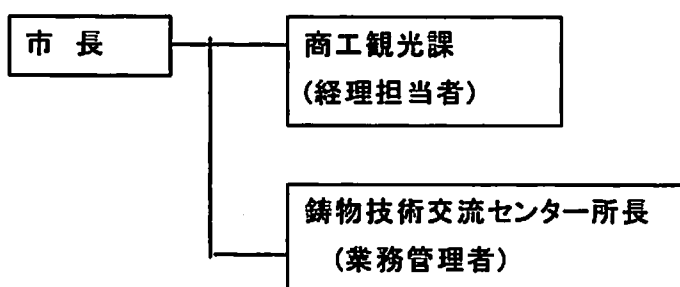
〔株式会社及泰〕



〔国立大学法人 岩手大学〕



〔奥州市鑄物技術交流センター〕



3) 所在地

①事業管理者

水沢鋳物工業協同組合（最寄り駅：JR 東北新幹線水沢江刺駅）

〒023-0132 岩手県奥州市水沢区羽田町字明正 131 番地

②研究実施場所（主たる研究実施場所については、下線表記）

株式会社水沢鋳工所（最寄り駅：JR 東北本線水沢駅）

〒023-0827 岩手県奥州市水沢区太日通り一丁目 8 番 15 号

株式会社及精鋳造所（最寄り駅：JR 東北新幹線水沢江刺駅）

〒023-0132 岩手県奥州市水沢区羽田町明正 147 番地

株式会社岩鋳（最寄り駅：JR 東北新幹線盛岡駅）

〒020-0863 岩手県盛岡市南仙北 2 - 2 3 - 9

及源鋳造株式会社（最寄り駅：JR 東北新幹線水沢江刺駅）

〒023-0132 岩手県奥州市水沢区羽田町堀ノ内 45

株式会社及泰（最寄り駅：JR 東北新幹線水沢江刺駅）

〒023-0002 岩手県奥州市水沢区水沢工業団地 2-42

国立大学法人 岩手大学（最寄り駅：JR 東北新幹線盛岡駅）

〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4 丁目 3 - 5

奥州市鋳物技術交流センター（最寄り駅：JR 東北新幹線水沢江刺駅）

〒023-0132 岩手県奥州市水沢区羽田町字明正 131 番地

(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 水沢鋳物工業協同組合

①管理員

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
及 川 敬	理 事 長	⑤
後藤 安彦	総務担当 事務局長	⑤
高橋 敬志	技術開発担当 主任	⑤
菅野 ひら子	経理担当 主任	⑤

【再委託先】※研究員のみ

株式会社及精鑄造所

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
及川 敬	代表取締役	①
及川 敬一	常務取締役	①

株式会社水沢鑄工所

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
及川 寿明	代表取締役	②
田村 直人	製造課・第三係	②
佐藤 勝利	製造課・第三係	②

株式会社岩 鑄

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
佐藤 正光	生産管理部 部長	③－ 1
八幡 詳永	第一生産部 次長	③－ 1
相内 吉春	第一生産部 鑄造課 係長	③－ 1
吉田 和俊	生産管理部 次長	③－ 1

及源鑄造株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
及川 秀春	取締役専務	③－ 2
清川 直身	製造課長	③－ 2
遠藤 敬蔵	溶解・造型リーダー	③－ 2

株式会社及泰

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
及川 清	代表取締役社長	④
及川 篤	生産担当取締役	④
佐々木 徹	品質管理課品質管理係	④

国立大学法人 岩手大学

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
堀江 皓	工学部附属鑄造技術研究センター・客員教授	④
平塚 貞人	工学部材料物性工学科・教授	①、③－ 2
小綿 利憲	技術部・技術専門員	②、③－ 1
竹本 義明	工学部附属鑄造技術研究センター・客員教授	③－ 1、④

奥州市鑄物技術交流センター

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
米倉 勇雄	副所長	③－ 2

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

水沢鋳物工業協同組合

経理担当者	主任	菅野 ひら子
業務管理者	事務局長	後藤 安彦

(再委託先)

株式会社及精鋳造所

経理担当者	総務部・部長	千葉 文雄
業務管理者	常務取締役	及川 敬一

株式会社水沢鋳工所

経理担当者	取締役(総務係)	及川 絹子
業務管理者	代表取締役社長	及川 寿明

株式会社岩鋳

経理担当者	経理部	宮崎 勝徳
業務管理者	代表取締役社長	岩清水 晃

及源鋳造株式会社

経理担当者	総務部	鈴木 卓也
業務管理者	代表取締役社長	及川 源悦郎

株式会社及泰

経理担当者	総務課経理係	千田 千賀子
業務管理者	代表取締役社長	及川 清

国立大学法人 岩手大学

経理担当者	財務部財務課長	阿部 幸治
業務管理者	工学部長	堺 茂樹

奥州市鋳物技術交流センター

経理担当者	商工観光課	佐藤 茂利
業務管理者	所長	千葉 祐

1-3 成果概要

①磁気特性強化鋳鉄の開発

初年度（平成18年度）は、希土類元素添加や接種等の溶湯処理による黒鉛組織の微細化と基地組織を変えた試料を作製し、磁気特性を評価した。その結果より従来品を超える1.5Tを満たすための条件を確立した。また、溶解条件により添加した希土類元素の歩留が影響すると考えられるので、初年度購入した溶解炉により元素の歩留に及ぼす溶解条件の影響を調べ、溶解条件の最適化を図った。

次年度（平成19年度）は、希土類元素添加や接種等の溶湯処理による黒鉛組織の微細化と基地組織を変えた試料を作製し、磁気特性を評価した。その結果より1つの目標として従来品を超える1.6Tを満たすための条件を明らかにした。

最終年度（平成20年度）は、平成19年までの2年間で確立した基礎実験により、希土類元素添加や接種等の溶湯処理による黒鉛組織の微細化と基地組織制御技術を製品化に応用し、磁気特性を評価した。その結果より従来品を超える1.6Tを満たす磁気特性強化鋳鉄材料の開発に成功した。

②超強靱球状黒鉛鋳鉄の開発（水沢鑄工所、岩手大学）

初年度（平成18年度）は、球状黒鉛鋳鉄の強度に及ぼす希土類元素の添加量及びマンガ（Mn）元素の添加量の影響についての基礎実験を行い、引張強さを測定した。

次年度（平成19年度）は、高マンガ球状黒鉛鋳鉄にCu、Sn、Sbを単独、併用添加時の機械的性質への影響を調査した結果、Sn添加と比較してSb添加では少量でパーライトを促進することを明らかにした。また薄肉（φ10の試料）では、Cu-Sn、Cu-Sb併用することにより引張強さ1000MPa以上と、鑄放しでADI並みの引張強さを得ることができた。

最終年度（平成20年度）は、H19年度の結果を踏まえ、超強靱球状黒鉛鋳鉄による軽量マンホール蓋の試作鑄造を行った。既製品である蓋は、13.4kgであるが、試作軽量蓋は10.6kgと-2.8kgと21%の軽量化することに成功した。また、軽量化のみならず、製品規格も満たすことできた。また、もう一つの目標である引張強さ1000MPaも同時に達成することが出来た。

③超軽量鋳鉄製厨房用品の開発

③-1 超軽量薄肉球状黒鉛鋳鉄製厨房用品の開発（岩鑄、岩手大学）

初年度（平成18年度）は、厨房用鋳鉄品である南部鉄器において、高齢者でも扱い易い製品にするために鋳鉄品の軽量化すなわち薄肉化に関する基礎実験として、薄肉鋳鉄製厨房用品の基礎実験用金型の製作と砂型鑄造法による薄肉鋳鉄製造の基礎実験を行い、肉厚3mm適応への基本的技術の方向性を調べた。

次年度（平成19年度）は、厨房用鋳鉄品である南部鉄器において、高齢者でも扱い易い製品にするために鋳鉄品の軽量化すなわち薄肉化に関する鑄造実験として、薄肉球状黒鉛鋳鉄の溶湯処理技術の確立と湯流れ性向上のための鑄造方案に関する実験を行い、肉厚3mm適応への製品実現性を調べた。その結果、薄肉球状黒鉛鋳鉄による無チル組織のフライパンが鑄造できた。

最終年度（平成20年度）は、厨房用鑄鉄品である南部鉄器において、高齢者でも安心安全に扱い易い製品にするために、電磁調理器への適応性について製品形状に関する実験を行い、肉厚3mm以下の製品実現性を調べた。その結果、金型の底面を内側に湾曲（逆ゾリ）させて鑄造し、さらに底裏面にリブを取付けて強度を増すことにより、薄肉球状黒鉛鑄鉄による電磁調理器対応のフライパンが肉厚2.5mmで製造できた。

③-2 超軽量薄肉片状黒鉛鑄鉄製厨房用品の開発

（及源鑄造、岩手大学、奥州市鑄物技術交流センター）

初年度（平成18年度）は、溶解実験において各種の接種剤を用いてキューボラ溶湯の強度とチル化に与える影響を調査した。また、材質に影響する湯流れ性確認のために肉厚を変化させた金型を用いた検証も行い、肉厚3mm適応への問題点を把握した。

次年度（平成19年度）は、キューボラ溶解においてMn添加や各種接種剤を用いてチル化に与える影響を調査した。また、非接触式三次元測定器を用いて製作した鉄瓶の金型での試作をおこない、製品化への問題点を把握した。溶湯調整、高精度金型製作の複合化により肉厚3mmの製品開発の可能性を確認できた。

最終年度（平成20年度）は、キューボラ溶解においてMn添加や各種接種剤を用いてチル化に与える影響を調査し最適な組成と接種剤の確認ができた。また、非接触式三次元測定器を用いて製作した高精度鉄瓶用金型と溶湯調整技術の複合化により最小肉厚2.5mmの超軽量鑄鉄製厨房用品の製品化の可能性を確認できた。

④超高強度・軽量片状黒鉛鑄鉄品の開発（及泰、岩手大学）

初年度（平成18年度）は、高周波誘導炉で溶解した溶湯に希土類元素を添加した試料を作製し、その添加量と強度の関係を調べるために強度試験を行った。また、初年度導入する発光分光分析装置により成分分析を行い、350MPaを超えるための元素量を調査し、などの最適値を把握した。

次年度（平成19年度）は、高周波誘導炉で溶解した片状黒鉛鑄鉄について、炭素当量と引張強さの関係、Mn%と成熟度、比較硬さの関係を調べた結果、炭素当量と引張強さには比例する傾向がみられた。またMn%と成熟度、比較硬さには比例する傾向を示した。

最終年度（平成20年度）は、試作品の機械加工及び耐圧試験を行った結果、希土類元素を添加した引張強度350MPaを超える溶湯を使用する事により、薄肉化によってパネケースは約10%、バルブ本体は約15%の軽量化を実現しつつ、良好な切削性と十分な強度をもつバルブの開発に成功した。

⑤プロジェクトの管理・運営（水沢鑄物工業協同組合）

研究の円滑な推進を図るため「研究開発推進委員会」の運営等により研究成果の報告等を通じて、各研究開発項目の総括的な課題抽出・検討・研究成果の評価を行った。研究開発推進委員会を初年度（平成18年度）は、平成18年12月14日、平成19年2月21日、平成19年3月26日の3回、次年度（平成19年度）は、平成19年6月13日、平成19年12月13日、平成20年3月6日の3回、最終年度（平成20年度）は、平

成 2 0 年 6 月 2 4 日、平成 2 0 年 1 1 月 4 日、平成 2 1 年 3 月 3 日の 3 回開催し、事業の円滑な推進を図るとともに、成果報告書の作成も行った。

1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

〒023-0132

岩手県奥州市水沢区羽田町字明正 131 番地

水沢鋳物工業協同組合

事務局長 後藤安彦

TEL : 0197-24-1551

FAX : 0197-25-5503

E-mail: castirony@catv-mic.ne.jp

第2章 磁気特性強化鑄鉄の開発

1. 緒言

本研究では、従来の鑄鉄品の磁気特性である最大磁束密度 1.4T(テスラー)を超える、1.6T 以上の高性能な鑄造品を開発するために、溶湯処理による黒鉛組織の微細化と基地組織制御による磁気特性に優れた高性能な鑄造品を開発する。

本研究では、希土類元素添加や接種等の溶湯処理による黒鉛組織の微細化と基地組織制御を行い製品化し、磁気特性を評価する。その結果より従来品を超える 1.6T を満たす製品を確立することを目標とした。

2. 実験方法

希土類元素添加や接種等の溶湯処理による黒鉛組織の微細化と基地組織のフェライト化を促進させた製品を作製し、磁気特性を評価した。試料の化学組成は、C 量 2%、Si 量 2.5%、3%、Mn 量 0.5%、P 量 0.05%、S 量 0.01%とした。高純度銑鉄を主成分とし、Fe-Si、Fe-Mn、Fe-P、Fe-S を用いて成分調整した。溶解には高周波電気炉を用いた。材料を秤量し作製した溶湯を 1773K で球状化处理し、その後接種処理を施した。1673 K で各種鑄型、発光分析用金型に注湯した。すべての試料について 1253K で 2 時間熱処理を行い、その後炉冷した。球状化剤については Fe-Si-Mg-RE 合金に Bi、RE-Si を加えたもの 2 種類を用意した。接種方法については 0.4%表面接種、0.4%表面接種+0.1%注湯流接種、0.4%表面接種+0.2%注湯流接種の 3 種類の接種方法を行った。分析方法については組成分析、組織観察、画像解析（黒鉛面積率、数、粒径）、磁気特性測定を行った。

3. 実験結果

図 1 に 2%C, 3%Si の最大磁束密度と黒鉛面積率の関係を示す。ほとんどの試料が黒鉛面積率 9%近傍で最大値 1.6T（テスラー）以上を示した。

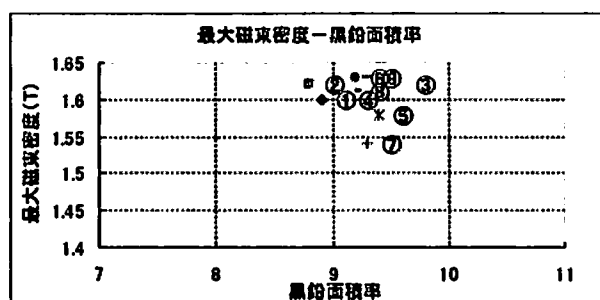


図 1 2%C, 3%Si 最大磁束密度と黒鉛面積率

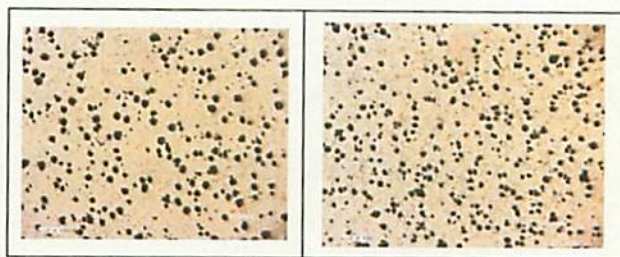


図2 接種 0.4%+Bi+0.2% 図3 接種 0.4%+RE+0.2%
注湯流 注湯流

図2、3に熱処理後の組織観察を示す。共にBi, RE-Siに0.2%注湯流接種処理を行っている。Biを添加した側の黒鉛がRE-Siを添加した黒鉛よりも大きいのがわかる。薄肉部においては両方共に下記のような組織になるが肉厚部においてBi添加の方にCV黒鉛が現われていた。

4. 結言

本研究では球状黒鉛鋳鉄の磁束密度について調査した結果、以下の結論が得られた。

- (1) 黒鉛面積率を9%近傍で制御し黒鉛を微細化する事で最大磁束密度1.6Tを満たすことができた。
- (2) 基地組織をフェライト化する事で磁束密度, 加工切削が向上する事がわかった。
- (3) RE-Si, Biの合金添加を行い注湯流接種を併用する事で磁束密度向上の効果がみられる。
- (4) Bi添加においては、肉厚部において黒鉛がCV黒鉛化している所が見られることから、磁束密度はRE-Si合金添加しているものより劣る。

5. 成果と達成度

希土類元素添加や接種等の溶湯処理による黒鉛組織の微細化と基地組織を変えた製品を鋳造し、磁気特性を評価する。図4に応用化開発品を示す。その結果より、従来品を超える1.6Tを満たす磁気特性強化鋳鉄材用の製品開発に成功した。達成度は100%。

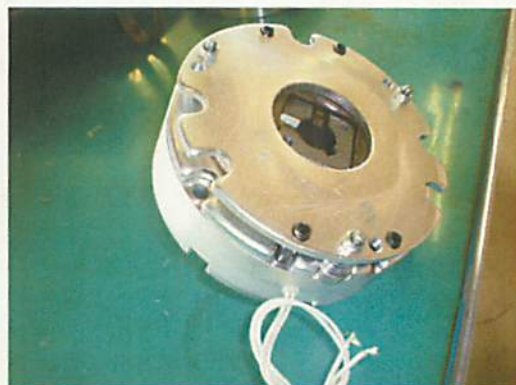


図4 応用化製品(電磁クラッチブレーキ)

第3章 超強靱球状黒鉛鑄鉄の開発

1. 緒言

近年、環境問題への注目から省エネルギー化、省資源化が進んでいる。また、一般に機械部品に使用されている球状黒鉛鑄鉄の引張強度は450MPa程度のもが多く、JIS規格で定められている鑄放し(熱処理なし)での引張強度は800MPa級までしかない。

本研究では、鑄放しでJISFCD800(800MPa)を超える鑄鉄品を開発するための方法として、球状黒鉛鑄鉄のチル化を低減させ、球状黒鉛粒数の増加に有効である希土類元素の添加及び引張強さの向上に有効であるマンガン(Mn)、銅(Cu)すず(Sn)、アンチモン(Sb)のパーライト促進元素の添加により、鑄放し高強度球状黒鉛鑄鉄(引張強度1000MPa級)の研究開発を行う。最終的には軽量マンホール蓋の製品化もしくは、今現在熱処理により引張強度を向上している製品へ応用していくことを目的とする。

本研究では、超強靱球状黒鉛鑄鉄による軽量マンホール蓋(15%以上の軽量化)の鑄造、1000MPaを超える引張強さを目指す。

2. 実験方法

はじめに、3D-CADを使用し、軽量マンホール蓋の形状設計を行った。図1に3D-CAD図を示す。その後、現場鑄造設備を使用し、実際の製品同様に試作鑄造を行った。

その後、試験片による引張試験を実施し、同時に軽量マンホール蓋実体の荷重試験を実施した。

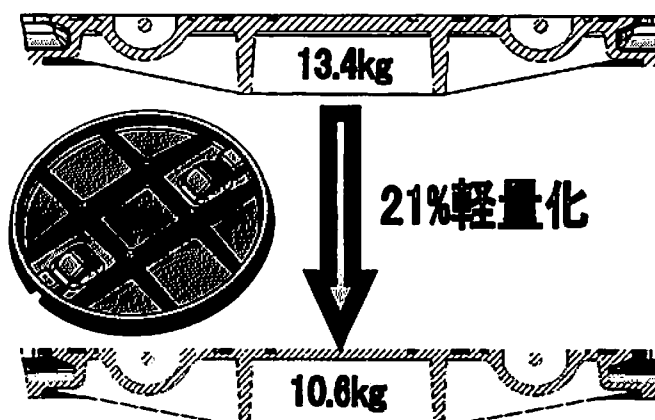


図1 軽量マンホール蓋3D-CAD図
(上：既製品 下：軽量品)

3. 実験結果

図2にブリネル硬さと引張強さの関係を、図3にパーライト面積率と引張強さ関係を示す。図2からわかるように、現状FCD700を満たす引張強さであるものを、40%引張強さを向上することができ、1000MPa以上とすることが出来た。引張強さの上昇に伴い、ブリネル硬さも上昇しているが、これは、図3からわかるように、パーライト面積率が上昇することにより、基地組織が硬く強靱化されたことにより引張強さが向上したことがわかる。

また、図4からもわかるように、現状のFCD700と比較して、今回開発した超強靱球状黒鉛鑄鉄では、球状化率、黒鉛粒数共に上昇しており黒鉛組織の向上が見られる。黒鉛粒数の増加にともない、チル抑制効果もはたらいっていることがわかる。

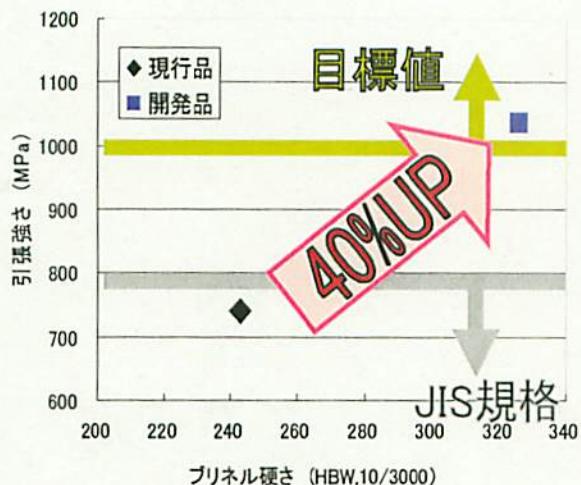


図2 ブリネル硬さと引張強さの関係



図3 パーライト面積率と引張強さの関係

表1 製品荷重試験結果

試験項目 試験片	荷重たわみ試験 (60kN)		耐荷重 試験 (200kN) 割れ・ひび なきこと
	たわみ 1.3mm以下	残留たわみ 0.1mm以下	
既製品	0.60	0.04	合格
試作品	0.76	0.05	合格

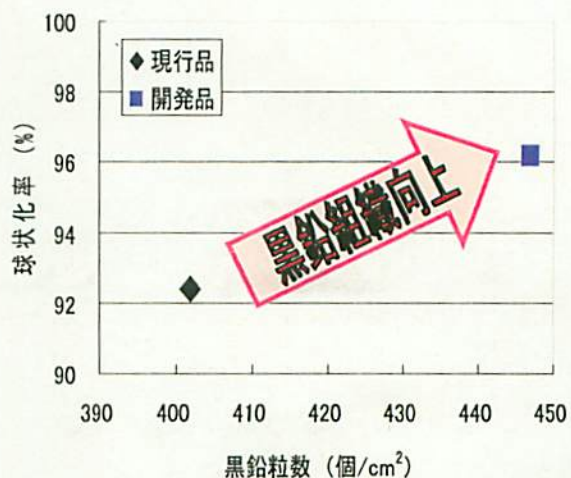


図4 黒鉛粒数と球状化率の関係

表1に製品荷重結果を示す。今回試作した軽量マンホール蓋でも、ほぼ同等の性能を有しており、製品として、なんら問題がないと判断する。

4. 結言

本事業を通して、以下の成果を得ることができた。

- (1) 引張強さを40%向上させ、1000MPaを達成することができた。
- (2) 高Mn球状黒鉛鑄鉄でチル発生を抑制することができた。
- (3) マンホール蓋を既製品より21%軽量化することに成功した。

5. 成果と達成度

引張強さ1000MPaを超えるものができた。また、既製品より21%軽量化した製品規格を満たす軽量マンホール蓋の製造に成功した。達成度は100%。

第4章 超軽量薄肉球状黒鉛鑄鉄製厨房用品の開発

1. 緒言

高齢化社会における安心・安全で質の高い生活の実現に向けて、軽量で安全な厨房用品が求められている。特に高齢者には安全な暮らしのために住宅のオール電化が進んでいる。オール電化製品は200V対応であり、現状の鑄鉄製厨房用品の多くは底面を厚くして強度を上げているため重いイメージが持たれており、薄肉強靱な軽量厨房製品が求められている。従来手法により肉厚4mmのものを3mmまで薄くすると、冷却速度が大きくなるので鑄鉄組織がチル化して脆くなる。本研究では希土類元素添加によるチル化防止の効果を調べ、黒鉛球状化处理・接種処理による溶湯処理技術を用いて薄肉・軽量の厨房用南部鉄器製品の開発をする。

本研究では、薄肉鑄鉄製厨房用品における、電磁調理器への適応性を検討し、肉厚3mm以下の薄肉強靱な軽量厨房鉄器の製造を目標とする。

2. 実験方法

薄肉球状黒鉛鑄鉄製厨房用鉄器の電磁調理器への適応性を検討するために、(財)製品安全協会の認定基準に基づいて、肉厚3.0mm、底の直径210mmのフライパンにおいて、底の平面性および底の耐熱衝撃性について調査する。

① 底の平面性

- ・冷めた状態(23±5℃)と、加熱した状態(油温200±5℃)で調理器具中央部の湾曲量を測定する。
- ・冷めた状態でも、加熱した状態でも外側に向かって湾曲していないこと。
- ・内側への湾曲量は、冷えた状態ではクッキングヒータに接する調理器具の直径に対して、最大でも0.6%、加熱した状態では最大でも0.5%であること。

② 底の耐熱衝撃性

- ・調理器具を200±5℃まで加熱し、その後15℃から20℃の水を用いて急激に冷却する熱衝撃を連続して10回繰り返したとき、底の平面性に適合していること。

3. 実験結果

- ① 底面フラット(リブ無)の試作品及び、幅10mm×厚さ1mmの帯状リブをφ180mm、φ120mm、φ60mmの3段階に付けた試作品において、底面形状によるIH適応性試験をした結果、表1に示すとおり全てのサンプルにおいて、加熱した状態で微量に外側に湾曲し、電磁調理器への適応性は不合格であった。
- ② 金型に逆ゾリを加えて鑄造することで、最初から内側に0.5mm湾曲した製品をつくり、またリブの形状を当社の従来品で採用されている3mmピッチの円心状リブに変更して、IH適応性試験をした結果、表2に示すとおり、円心状リブを付けることで湾曲量は基準値内となった。
- ③ 更なる軽量化及び量産化への試みとして、肉厚を2.5mmにして、縦割造型機

にて鋳型造型をして注湯した試作品ができ、またIH適応性試験においても、表3に示すとおり良好な結果が得られた。

表1 IH適応性試験の湾曲量 (mm)

フライパンの底面形状	底の平面性		底の耐熱衝撃性	
	室温状態	加熱状態	室温状態	加熱状態
フラット(リブ無)	±0.00	-0.50	±0.00	-0.40
リブ付 (φ180mm)	±0.00	-0.20	±0.00	-0.20
リブ付 (φ180, 160mm)	±0.00	-0.50	±0.00	-0.40
リブ付 (φ180, 120, 60mm)	±0.00	-0.45	±0.00	-0.30

(+:内側への湾曲量、-:外側への湾曲量)

表2 逆ソリ鋳造によるIH適応性試験の湾曲量 (mm)

フライパンの底面形状 (内側に0.5mm湾曲)	底の平面性		底の耐熱衝撃性	
	室温状態	加熱状態	室温状態	加熱状態
フライパンA (リブ無)	+0.50	-0.50	+0.50	-0.10
フライパンA (円心状リブ付)	+0.50	+0.05	+0.50	±0.00
フライパンB (リブ無)	+0.50	-0.30	+0.50	-0.20
フライパンB (円心状リブ付)	+0.50	+0.40	+0.50	+0.50

(+:内側への湾曲量、-:外側への湾曲量)

表3 縦割造型試作品によるIH適応性試験の湾曲量 (mm)

肉厚2.5mm、縦割造型の試作品 (内側に0.5mm湾曲)	底の平面性		底の耐熱衝撃性	
	室温状態	加熱状態	室温状態	加熱状態
フライパンA (円心状リブ付)	+0.50	+0.80	+0.50	+1.00

(+:内側への湾曲量、-:外側への湾曲量)

4. 結言

- ① 金型の底面を内側に湾曲(逆ソリ)させて鋳造し、さらにリブを取付けて強度を増すことで、電磁調理器への適応性が可能となった。
- ② 肉厚2.5mmでIH対応のフライパンを縦割造型機において製造ができた。
- ③ 約2.0kgの従来製品が約1.3kgへ、約35%の軽量化ができた。

5. 成果と達成度

肉厚3mm以下の2.5mmで薄肉強靱な軽量厨房鉄器の製造に成功し目標を達成した。
達成度100%。

第5章 超軽量薄肉片状黒鉛鑄鉄製厨房用品の開発

1. 緒言

本研究では、鑄鉄の薄肉化にともなう強度の変化を研究するとともに、厨房品への適応化に関する研究開発を行い、基礎実験を元に実用的な鍋のデザインを開発、また模型用金型の研究を平行して進めながら薄肉厨房製品の実用化を目指す研究開発を行う。

本研究では、基礎実験を基に、鉄瓶類の軽量化の可能性を探る実験を行う。また、非接触3次元測定器を活用して手作りの模型から、表面模様を再現した鉄瓶の高精度金型を製作し、軽量鉄瓶の開発を行うとともに超軽量鑄鉄製厨房用品として工芸鉄器全般への応用の可能性を探りながら開発製品の商品化を目指すことを目的とした。

2. 実験方法

2.1 キューボラでの Mn 投入量の調整と接種

キューボラの溶湯材質検査は発光分析機を使い材質の監視を行う。

最小肉厚 2.5mm の金型を用いて鑄型を造型し、接種剤で組織調整した溶湯で薄肉鑄鉄製品製造の検証を行なう。

キューボラ投入量を表1、目標組成を表2に示す。

表1 キューボラ投入量

銑鉄	配合剤	戻り銑	Fe-Si	Fe-Mn
50 k g	30 k g	120 k g	1.5 k g	0.8 k g

表2 目標組成

C%	Si%	Mn%	P%	S%
3.7~3.8	2.0~2.2	0.5	0.1	0.1

使用接種剤

- ・Sr-Si 系
- ・RE-Si 系

2.2 CAD/CAM による軽量鉄瓶の金型製作（最小肉厚 2.5 ミリ）

非接触式3次元測定器を用いて鉄瓶の表面模様（アラレ模様など）をCADに取り込み、従来は手込め鑄造作業で行われていた金型製作をマシニングセンターに置き換えて、高精度な金型の製作を行う。

3. 実験結果

3.1 接種剤の効果

最小肉厚 2.5 ミリの鉄瓶用金型を用いて接種剤の効果を確認した。

1. 無接種ではチル化しているが、接種したものは全て黒鉛が析出していた。
2. RE-Si 接種では黒鉛の析出、機械的強度の向上に効果があった。
3. Sr-Si 接種では黒鉛の析出には効果はあるが、機械的強度は低下した。

接種剤の効果を表 3 に示す。

(鋳物技術交流センター設備で解析)

表 3

	接種剤	接種量%	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ce%	kgN	硬さ	全チル m	クリアチル mm
1	無接種	0	3.7	2.22	0.50	0.09	0.11	0.0017	120	165	10.3	6.8
2	Sr-Si	0.2	3.7	2.29	0.46	0.09	0.11	0.0011	118	158	3.1	2.4
3	RE-Si	0.38	3.7	2.32	0.49	0.09	0.11	0.0260	131	176	2	1.6
4	RE-Si	1.15	3.7	2.41	0.50	0.09	0.11	0.0468	132	163	0.9	0.8

3.2 鉄瓶（最小肉厚 2.5 ミリ）の金型製作

非接触式 3 次元測定器による鉄瓶の表面模様データの取り込みは成功した。また、CAD/CAM へ取り込むためのソリッドモデル化も成功し、マシンニングセンターでの鉄瓶金型の加工に成功した。

4. 結言

1. 鋳鉄組成は、C=3.7～3.8% Mn=0.5～0.6%で接種効果が高いことがわかった（従来 C=3.9～4.0% Mn=0.3～0.4%）
2. 接種剤の中でも特に RE-Si が組織のチル化防止と組織の改善に大きな効果があることが確認できた
3. 溶湯管理技術と非接触式 3 次元測定器を用いて製作した高精度金型との複合化で、製品の肉厚も安定させることができ、従来最小肉厚 4mm だったものを最小肉厚 2.5 ミリの薄肉化が可能となり、鋳鉄鍋では約 30%の軽量化を達成することができた。

5. 成果と達成度

溶湯管理技術を用いて最小肉厚 2.5 ミリの鋳鉄製厨房用品を開発し製品化に成功した。また、非接触式 3 次元測定器を用いた CAD データを用いて鉄瓶用高精度金型の製作が可能となった。達成度 100%。

第6章 超高強度・軽量片状黒鉛鑄鉄品の開発

1. 緒言

本研究では、合金や希土類元素を添加した鑄放し超強靱片状黒鉛鑄鉄の研究を行い、JIS 規格 350MPa を超える引張強さを持ち高強度で軽量なバルブ等の一般機械部品の製造技術の開発を行なうことを目的とした。

はじめに、試作用の鑄型を用いて試作品の鑄造を行い、製品化の可能性を探る。その後、バルブメーカーの協力により新たに薄肉化したバルブの開発を行なう。

2. 実験方法

高周波誘導炉を用いて、銑鉄、鋼屑を溶解した。溶解する材料の組成はC量を3.0mass%、Si量を2.0mass%、Mn量を2.5mass%、P量を0.05~0.06mass%、S量を0.10mass%とした。

接種剤はRE-Si、Ca-Siを用いて、元湯に対して0.375%添加した。元湯を溶解後、1,510℃で接種処理を行い、1,450℃で、試作用の鑄型に注湯した。

その後、バルブメーカーの協力の下、試作品を加工して切削性を確認し、耐圧試験を行った。

3. 実験結果

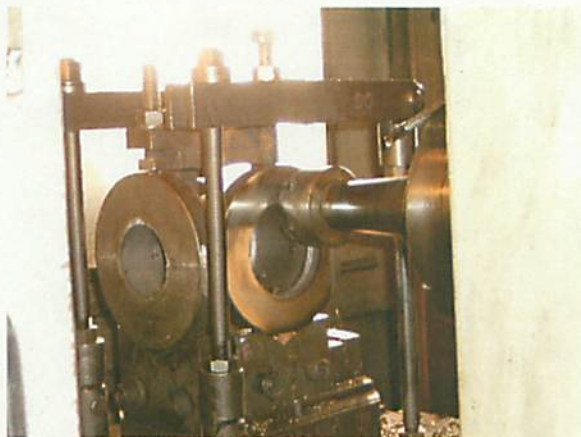


図1. 機械加工



図2. 耐圧試験

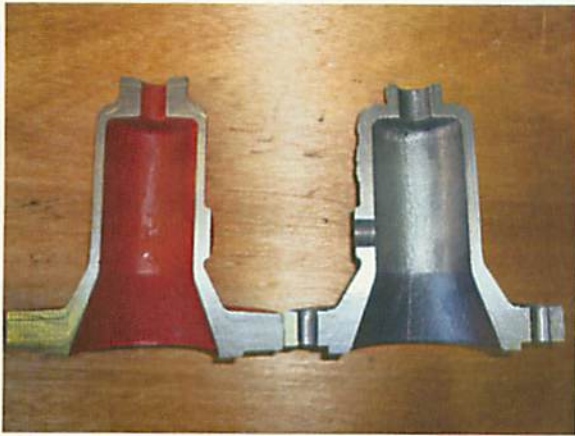


図 3. バネケース肉厚比較



図 4. バルブ本体肉厚比較

図 1 は試作品の機械加工の様子を撮影したものである。バルブ本体は横型マニシングセンター、バネケースは汎用旋盤にて加工した。

バルブ本体、バネケース共に従来の FC200 のものより硬度が増しているが、加工中の異音等の発生も無く、従来のものと同じプログラム、切削速度で加工することができたので、切削性に問題は無いと判断した。

図 2 は試作品の耐圧試験の様子を撮影したものである。耐圧試験は水圧試験装置に試作品（バネケース、バルブ本体組付品）を取付け、プランジャポンプにて 2MPa の水圧を約 3 分間加え、割れや水漏れなどの異常を調べた。

結果、全ての試作品において耐圧 2MPa を満足した。

また、破壊圧力を調べるため、試作品 1 点において試験装置の限界である 7MPa まで加圧したが、破壊までには至らなかった。漏れ等の異常はなかった。

図 3 はバネケースの試作品と従来品の肉厚の比較写真である。従来品の肉厚 6mm の箇所を 5mm に薄肉化することにより、約 10% の軽量化に成功した。

図 4 はバルブ本体の試作品と従来品の肉厚の比較写真である。従来品の肉厚 10mm の箇所を 5mm に薄肉化することにより、約 15% の軽量化に成功した。

4. 結言

高周波誘導炉を用いて、薄肉化した試作品の鋳造を行ない、機械加工、耐圧試験を行なった結果、希土類元素を添加した引張強度 350MPa を超える溶湯を使用する事により、薄肉化によってバネケースは約 10%、バルブ本体は約 15% の軽量化を実現しつつ、良好な切削性と十分な強度をもつバルブの開発に成功した。

5. 成果と達成度

試作用の鋳型を用いて試作品の鋳造を行ない、製品化の可能性を探り、又、バルブメーカーの協力により、新たに薄肉化したバルブの開発に成功した。

達成度は 100%。

第7章 全体統括

高付加価値化、軽量化、コスト低減及び環境に配慮した高機能・高性能で環境調和型鑄造品を製造するためには、鑄鉄の薄肉化・軽量化により発生するチル化の問題を解決する必要がある。また、高 Mn 鋼屑のリサイクルを考慮して、鑄鉄鑄造時の原材料として高 Mn 鋼をそのまま使用すると鑄鉄がチル化して機械的特性を低下させる問題が起こるので、その対応も必要となる。さらに低コスト化、高機能化の点では、機械加工した鋼製磁気回路部品に対して、切削性がよい高機能鑄鉄により加工コストを低減し、さらに磁気特性を強化した鑄鉄鑄造品の開発も必要である。

このような観点から、本プロジェクトでは、環境と調和した高機能・高性能鑄造品と高齢化社会における安全で利便性ある製品の開発のために、希土類元素 (RE) 添加による高強度鑄鉄のシーズと高 Mn 鋼のリサイクル技術を基に、(1) 磁気特性強化鑄鉄の開発、(2) 超強靱球状黒鉛鑄鉄の開発、(3) 超軽量厨房用南部鉄器の開発、(4) 超高強度・軽量片状黒鉛鑄鉄の開発をテーマに新たな技術を開発している。

複数年の研究開発成果として(1) 磁気特性強化鑄鉄の開発では、希土類元素添加や接種等の溶湯処理による黒鉛組織の微細化と基地組織を変えた試料を作製し、磁気特性を評価した。その結果より従来品を超える 1.6T を満たす条件を明らかにした。さらに電磁クラッチ用磁気特性強化鑄鉄の製造に成功した。

(2) 超強靱球状黒鉛鑄鉄では、目標の引張強さ 1000MPa を超えるものができた。また、既製品より 21%軽量化した製品規格を満たす軽量マンホール蓋の製造に成功した。

(3) 超軽量厨房用南部鉄器では、肉厚 2.5mm で IH 対応のフライパンを縦割造型機において製造に成功した。約 2.0 kg の従来製品が約 1.3 kg へ、約 35%の軽量化が達成できた。

また、片状黒鉛鑄鉄製厨房用品の開発では、最小肉厚 2.5 ミリの鑄鉄製厨房用品を開発し製品化に成功した。また、非接触式 3 次元測定器を用いた CAD データーを用いて鉄瓶用高精度金型の製作を行うことができた。

(4) 超高強度・軽量片状黒鉛鑄鉄の開発では、薄肉化した試作品の鑄造を行ない、機械加工、耐圧試験を行なった結果、希土類元素を添加した引張強度 350MPa を超える溶湯を使用する事により、薄肉化によってパネケースは約 10%、バルブ本体は約 15%の軽量化を実現しつつ、良好な切削性と十分な強度をもつバルブの開発に成功した。

3 年間の事業で、全ての企業において、高付加価値化、軽量化、コスト低減及び環境に配慮した高機能・高性能で環境調和型鑄造品を製造することができた。

本研究開発後の課題として、本研究は基礎的研究や試作の部分もあり、今後、電磁クラッチ用磁気特性強化鑄鉄や軽量マンホール蓋等は物性試験(耐久性試験)などを実施し、性能の評価することが必要である。また、超軽量厨房用南部鉄器やバルブについて、市場調査後、近い将来事業化に向けての応用研究に適用を予定しており、さらに地域への波及効果も充分期待できるものと考えている。