

平成 23 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「組織制御型高強度・高機能鋳鉄製自動車用部材の製造技術開発」

研究開発成果等報告書

平成 24 年 3 月

委託者 東北経済産業局

委託先 国立大学法人岩手大学

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	2
1.2	研究体制	4
1.3	成果概要	8
1.4	当該研究開発の連絡窓口	12

第 2 章 本論

2.1	薄肉組織制御ウォーターポンプ用インペラーの研究開発	13
2.2	高強度・快削・軽量組織制御エンジンプーリーの開発	15
2.3	高機能組織制御ブレーキディスクの開発	17
2.4	高強度・耐摩耗組織制御プレス金型台座の開発	18
2.5	組織制御鋳鉄品の非破壊評価技術	21
最終章	全体総括	23

第 1 章 研究開発の概要

1.1 研究開発の背景・研究目的

1.1.1 研究の目的

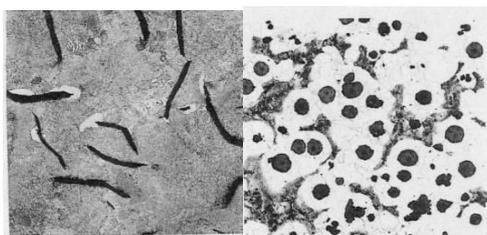
鑄鉄の黒鉛形態と基地組織を制御し傾斜高機能化することにより自動車用部材であるインペラー、プーリー、ブレーキディスクを対象に鑄鉄部材を高強度化することを目的とする。また自動車産業と関連して、自動車部品をつくるプレス金型を構成する鑄鉄部材の高強度化を図る。さらに部位毎に異なる組織の確からしさを計測する技術として、実体品を超音波を用いて非破壊で検査する技術を確立することを目的とする。

1.1.2 研究の背景

近年、自動車産業の分野では環境問題、安全問題への対応から、車体の軽量化が求められており、鑄鉄部品の素材や形状等について見直しが進められている。特にトラック等の大型車では地球環境保全、排ガス規制、過積載規制に対処するために自動車用部品の高強度化、軽量化、快削性などの性能向上に対する強いニーズがある。

鑄鉄は、鉄と炭素との合金（Fe-C合金）であるが、鋼など他の鉄系素材に比べて、より多くの炭素（炭素含有量 2.14~6.67%以上）を含んでいることが特徴であり、この炭素が鑄鉄の多様な性質に繋がっている。鑄鉄が鑄型内で固まる時に、炭素が黒鉛の形で凝固する場合と炭化物（これを Fe_3C :セメンタイトという）として凝固する場合があります。後者をチル化と呼ぶ。チル化した鑄鉄は、硬くて脆い性質を有するため、自動車用鑄物など強度部材を製造する場合には問題となる。特に、セメンタイト（炭化物）は、冷却速度が大きくなると形成されやすくなるために、薄肉鑄物を製造する場合には、セメンタイトが晶出しないための組織制御の技術開発が重要である。

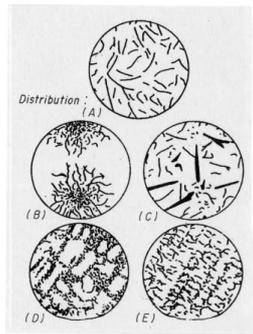
代表的な黒鉛組織に片状黒鉛、球状黒鉛がある（図 1）。球状黒鉛鑄鉄を得るには、Fe-S-Mg 合金や Ni-Mg 合金用いて黒鉛球状化処理を行わなければならないが、作業工程が複雑になる。片状黒鉛鑄鉄を製造する方が作業性の点では有利である。



【図 1 片状黒鉛鑄鉄/球状黒鉛鑄鉄】

片状黒鉛鑄鉄は、その形状が A 型～E 型まで 5 種に分類される（図 2）。黒鉛が均一に分布しているほど強度は強くなり、5 種のうち A 型黒鉛形状の場合が、機械的性質が最良となる。B 型黒鉛はフェライトを生成し、C 型黒鉛は熱伝導に優れ、D 型黒鉛は切削性に優れ、E 型黒鉛の強度は、A 型と D 型の間を示す。

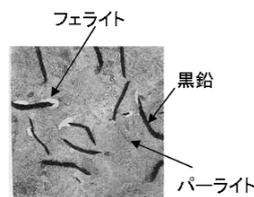
このように片状黒鉛鑄鉄の強度や性質は黒鉛の大きさ、更に分布状態によって変化する。しかし、鑄鉄中の化学成分や急冷の条件により黒鉛形状が異なるため、肉厚が変動する鑄鉄鑄物製品の場合は、すべての場所で組織を均一にすることが難しいという問題がある。



【図2 片状黒鉛の形状】

一方、黒鉛とセメントタイト以外の部分を基地組織と呼ぶ。片状黒鉛鑄鉄の組織を図3に示す。

その基地組織は、柔軟性を有するフェライト組織と強靱なパーライト組織に分けられるが、基地組織中のフェライトとパーライトの割合により強度が変化する。鑄鉄組織と強さの関係を表1に示す。鑄鉄の高強度化のためには、パーライトの割合が多いと強度も向上するので、パーライトを生成させるクロム(Cr)やモリブデン(Mo)やバナジウム(V)の添加が有効であるが、それらの元素は同時にチル化傾向(セメントタイトの発生しやすさ)を大きくするものである。



【図3 片状黒鉛鑄鉄の組織】

【表1 鑄鉄の組織による強さの違い】

基地組織	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	ブリネル硬さ (HB)
フェライト	20~29	60	75
パーライト	85	15	240

このように鑄鉄の材質には、黒鉛形態と基地組織が大きな鍵を握っているが、複雑形状で肉厚変動を伴う鑄鉄製自動車部品では、黒鉛形態や基地組織のフェライトとパーライトの割合をうまく制御できず、部品の場所ごとに組織制御ができていないのが現状である。

自動車産業に携わる川下製造業者の抱える課題及び要請には、剛性、靱性の向上に資する鑄造技術の開発、高機能化、薄肉化を実現するための鑄造技術の開発がある。川下製造業者の抱える課題に対しては、いずれもチル化を防止し黒鉛形態を均一にして、鑄鉄中の基地組織中のフェライトとパーライトの割合を制御することによって求められる鑄鉄の高機能化が達成できる。

もう1つの研究開発の課題は、材質の評価方法である。自動車部品、産業機械部品として使われる鑄鉄にはねずみ鑄鉄と球状黒鉛鑄鉄があるが、鑄鉄の強度は、従来、別取り品から切出し加工された試験片での機械的性質試験(JISG5501)から判断している。自動車部品は高強度・高品位が要求されているので、安全性の観点か

らも実体品がそれぞれの要求を満たす必要がある。材質をチェックする場合、従来のように別取り品から切出し加工された試験片から判断するのでは不十分であり、製品そのもので試験・検査ができる非破壊試験が不可欠となる。川下産業からのニーズを見ると、鋳鉄品の材質を非破壊で評価するシステムの構築が望まれている。

本研究開発では、パーライト組織を呈して鋳鉄の強度を向上するために従来技術であるチル化傾向が強くなるクロムやバナジウムを添加する方法ではなく、マンガンと硫黄量をコントロールすることにより、引張強さが向上するシーズを有しており、高強度化できる可能性がある。このシーズ（化学組成制御（C、Si、Mn、S量）による高強度化技術）を核として、機能化をプラスする意味で、接種（Fe-Si, Ca-Si, Ca-Si-Ba、RE-Si 接種剤）処理による黒鉛化促進とチル化防止のシーズと薄肉化に有効なチル臨界冷却速度制御技術のシーズを組み合わせることで黒鉛組織の制御を行う。これにより、鋳鉄の高強度化を保ちつつ、黒鉛化と黒鉛形状を制御することにより、薄肉化、チル化防止、切削性向上、熱伝導性向上、高硬度化（耐摩耗性向上）を図り、組織制御型高強度・高機能鋳鉄部材を開発する。本研究開発では、これまでにない優れた剛性を有する「組織制御型高機能鋳鉄」の創出と次の部材の高度化と評価技術の高度化を目指す。

- ① 薄肉組織制御ウォーターポンプ用インペラー
- ② 高強度・快削・軽量組織制御エンジンプーリー
- ③ 高強度組織制御ブレーキディスク
- ④ 高強度・耐摩耗組織制御プレス金型台座
- ⑤ 組織制御鋳鉄品の非破壊評価技術の確立

1.2 研究体制

1.2.1 所在地

① 管理業務実施場所

国立大学法人岩手大学 地域連携推進センター（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番5号

② 研究場所

国立大学法人 岩手大学工学部（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

株式会社及精鑄造所（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

株式会社柴田製作所（最寄り駅：奥羽本線 JR 漆山駅）
〒990-2161 山形県山形市漆山東849

有限会社前田鑄工所（最寄り駅：JR 東北線前沢駅）
〒029-4201 岩手県奥州市前沢区古城字千刈田1番地5号

有限会社日下レアメタル研究所（最寄り駅：JR 山手線浜松町駅）
〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目3番15号一松ビル本館

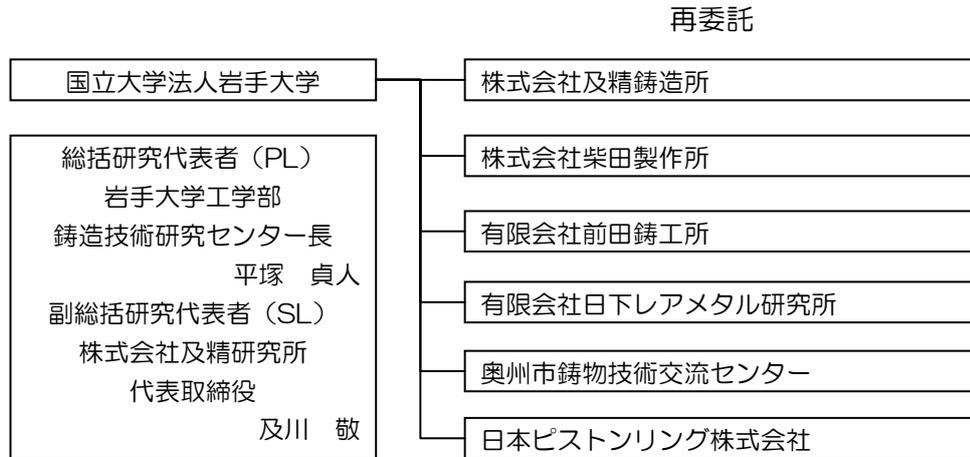
奥州市鑄物技術交流センター（最寄り駅：JR 東北新幹線水沢江刺駅）
〒023-0132 岩手県奥州市水沢区羽田町字明正131番地

日本ピストンリング株式会社 栃木工場（最寄り駅：JR 宇都宮線野木駅）
〒329-0114 栃木県下都賀郡野木町野木1111番地
溶解作業のみ1)

1) 株式会社日ピス福島製造所（最寄り駅：東北新幹線福島駅）
〒960-1401 福島県伊達郡川俣町飯坂字前中居1番地

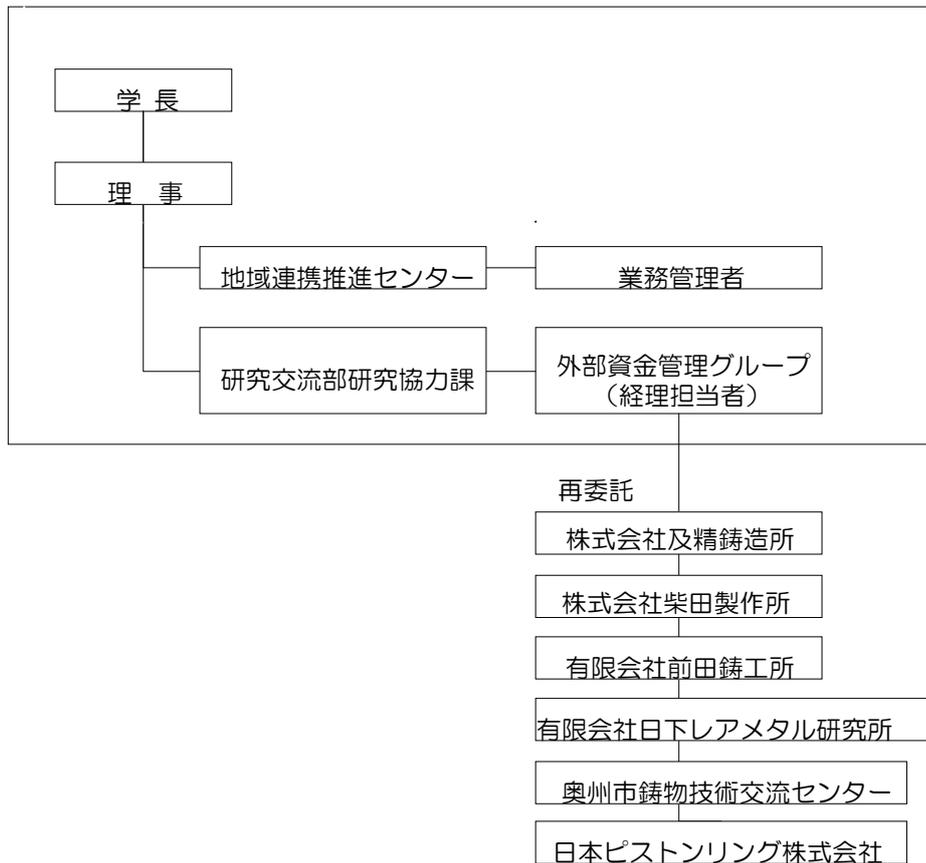
1.2.2 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

① 事業管理者 [国立大学法人岩手大学]



1.2.3 研究員及び管理員（役職・実施内容別担当）

【事業管理者】 国立大学法人岩手大学

①研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
平塚貞人	工学部マテリアル工学科・教授	① PL
小綿利憲	技術部・工学系技術室専門技術部門・副技術室長	④
竹本義明	工学部附属鑄造技術研究センター・客員教授	④
堀江皓	工学部附属鑄造技術研究センター・客員教授	③
阿部峻	工学部附属鑄造技術研究センター・技術補佐員	①
鎌田康寛	工学部マテリアル工学科・准教授	⑤
晴山巧	工学部マテリアル工学科・准教授	②

②管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
鈴木幸一	地域連携推進センター センター長	⑥-1～3
小野寺純治	地域連携推進センター 教授	⑥-1～3
佐藤卓也	地域連携推進センター 准教授	⑥-1～3
佐藤伸夫	地域連携推進センター 共同研究員	⑥-1～3
横内孝之	地域連携推進センター 産学官連携教員	⑥-1～3
佐々信吉	研究交流部研究協力課外部資金管理グループ 主査	⑥-1～3
早川浩之	研究交流部研究協力課地域連携担当専門員	⑥-2
下屋敷司	研究交流部研究協力課外部資金管理グループ 主査	⑥-2
小林路	研究交流部研究協力課外部資金管理グループ 主事	⑥-2
平塚貞人（再）	工学部マテリアル工学科・教授	

【再委託先（研究員）】

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 SL
及川敬一	常務取締役	①
郷家準一	第一製品課	①

株式会社柴田製作所

氏名	役職・所属	実施内容（番号）
石山広志	研究開発部 課長	②、③
鈴木義之	機械加工 課長	②、③
柴田誠介	研究開発	②、③

有限会社前田鑄工所

氏名	役職・所属	実施内容（番号）
前田俊一	代表取締役	④
佐々木正	フラン自硬性係	④
小野寺勝彦	溶解係	④

有限会社日下レアメタル研究所

氏名	役職・所属	実施内容 (番号)
鹿毛秀彦	技術部 部長	⑤
藤島晋平	技術部 研究開発担当	⑤
谷岡志俊	藤沢工場 品筆管理部 部長	⑤

奥州市鋳物技術交流センター

氏名	役職・所属	実施内容 (番号)
米倉勇雄	副所長	①、④
中山雅彦	主任	①、④

日本ピストンリング株式会社

氏名	役職・所属	実施内容 (番号)
石川佳樹	技術企画部新製品開発室・SE	③
藤井功隆	技術企画部新製品開発室・ASE	③
山本厚	製品技術第2部技術開発グループ	③

1.2.4 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理者】

国立大学法人岩手大学

(経理担当者) 研究交流部研究協力課外部資金管理グループ 主査 下屋敷 司
 (業務管理者) 工学部マテリアル工学科 教授 平塚 貞人

【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

株式会社柴田製作所

(経理担当者) 庶務 川岸 幾子
 (業務管理者) 代表取締役社長 前田 健蔵

有限会社前田鋳工所

(経理担当者) 総務・経理 及川みな子
 (業務管理者) 代表取締役 前田 俊一

有限会社日下レアメタル研究所

(経理担当者) 総務課 松崎理恵子
 (業務管理者) 技術部部長 鹿毛 秀彦

奥州市鋳物技術交流センター

(経理担当者) 主任 中山 雅彦
 (業務管理者) 所長 渡部 昭吉

日本ピストンリング株式会社

(経理担当者) 栃木工場総務グループ 経理チーム主査 斉藤 正弘
 (業務管理者) 技術企画部新製品開発室 S E 石川 佳樹

1.2.5 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
平塚 貞人	国立大学法人岩手大学工学部マテリアル工学科・教授	
堀江 皓	国立大学法人岩手大学工学部附属鑄造技術研究センター・客員教授	
竹本義明	国立大学法人岩手大学工学部附属鑄造技術研究センター・客員教授	
鎌田康寛	国立大学法人岩手大学工学部マテリアル工学科・准教授	
晴山 巧	国立大学法人岩手大学工学部マテリアル工学科・准教授	
小綿利憲	国立大学法人岩手大学技術部・工学系技術室専門技術部門・副技術室長	
佐藤 卓也	国立大学法人岩手大学地域連携推進センター 准教授	
及川 敬	株式会社及精鑄造所・代表取締役	
及川敬一	株式会社及精鑄造所・常務取締役	
前田健蔵	株式会社柴田製作所・代表取締役	
柴田誠介	株式会社柴田製作所・製造担当	
前田俊一	有限会社前田鑄工所・代表取締役	
鹿毛秀彦	有限会社日下レアメタル研究所・技術部・部長	
米倉勇雄	奥州市鑄物技術交流センター・副所長	
中山雅彦	奥州市鑄物技術交流センター・主任	
石川佳樹	日本ピストンリング株式会社・技術企画部新製品開発室・SE	
藤井功隆	日本ピストンリング株式会社・技術企画部新製品開発室・ASE	
池 浩之	岩手県工業技術センター 材料技術部 上席専門研究員	アドバイザー
高川貫仁	岩手県工業技術センター 材料技術部 主任専門研究員	アドバイザー
山田 享	山形県工業技術センター 置賜試験場・場長	アドバイザー

アドバイザー氏名	主な指導・協力事項
池 浩之	鑄造材料に関するアドバイス
高川貫仁	材料試験・評価に関するアドバイス
山田 享	鑄鉄の高機能化に関するアドバイス

1.3 研究開発成果概要

①薄肉組織制御ウォーターポンプ用インペラーの研究開発

(株)及精鑄造所、国立大学法人岩手大学、奥州市鑄物技術交流センター

トラックのウォーターポンプ用インペラーの高強度化のために Cr 等の合金を添加すると強度は向上するものの、多量に添加するとセメントイト（チル：Fe₃C）と呼ばれる炭化物ができ、機械的性質が低下する。さらに従来品のインペラー羽部の肉厚4mmを軽量化のために3mm程度にするとチル化し加工が出来ないので問題となる。本研究では、化学組成制御（C、Si、Mn、S量）による基地組織強化のシーズと薄肉化に有効なチル臨界冷却速度制御技術のシーズを組み合わせることで黒鉛組織の制御を行い、薄肉組織制御ウォーターポンプ用インペラーを開発する。

平成21年度は、鑄鉄材質の現行品インペラー適用への基礎的技術の方向性を調査した。その結果、

- ・CE値が高い場合、接種剤の有無は引張強さにあまり影響しない
- ・通常溶湯時の接種剤は、チル深さや湯流れには良い影響を与えるものの、良好な黒鉛形態（A型）の形成には、あまり影響しない
- ・溶湯の成熟度等から判断すると、現行品の材質は比較的柔らかくFC100相当であること

等が分かった。

平成22年度は、薄肉組織制御高強度鋳鉄における溶湯条件確立をする為、各接種剤を添加しインペラー薄肉部の無チル化、化学組成制御（マンガン（Mn）量）によるボス部実体強度150MPa以上の強靱化片状黒鉛鋳鉄の製造技術の確立を目標とした。

その結果インペラー製造技術に関して、開発品（ボス部実体強度150MPa以上、薄肉部無チル化）への製造技術を確立し、以下の成果・課題を把握した

- ・ 製品ボス部の強度150MPaを充たす為の配合比、溶解技術を把握した。
- ・ インペラー羽部無チル化を達成したが、現場生産では更に改良が必要である。

最終年度（平成23年度）は、製造現場ライン上で薄肉組織制御高強度鋳鉄による試作インペラーを製作し、実体強度について非破壊測定、評価を行い、インペラー羽部肉厚3mm、ボス部強度150MPa以上のウォーターポンプ用インペラーの開発を行った。その結果、昨年度課題を解決する鋳造技術・条件を把握した。

- ・ インペラー羽根部を無チル化する為に注湯流接種方法を取り入れることで良好な基地組織を得ることが出来た。
- ・ ボス部強靱化する上で必要なマンガン添加をする際溶解温度を高温化する事で製造可能となった。

以上、鋳造条件の把握と設備更新を行うことで開発品インペラーの鋳造に成功した。

②高強度・快削・軽量組織制御エンジンプーリーの開発

((株)柴田製作所、国立大学法人岩手大学)

自動車用エンジンプーリーも軽量化の課題があり、そのための溶湯の化学成分の決定、より高強度・快削・軽量された製品の開発が必要とされている。これまで、基地組織にフェライトの発生や黒鉛形状のばらつきによる強度のむらが見られ、それが問題となっている。

本研究では、化学組成制御（C、Si、Mn、S量）による基地組織強化のシーズと接種（Fe-Si、Ca-Si、Ca-Si-Ba、RE-Si 接種剤）処理による黒鉛形状制御のシーズを組み合わせることで黒鉛組織の制御を行う。高Mn成分により高強度化するとともに炭素量をわずかに増加させ黒鉛化することで、切削性を向上させ、比較的均一な硬い組織を得て、高強度・快削・軽量エンジンプーリー製品を開発する。

平成21年度は現在の溶解されている湯の現状把握の実験を繰り返し、湯の性状確認を行い、成分による引張強さ、硬度測定を行い、強度確認も実施した。現状φ30mmの丸棒で引張強さ272MPa、ブリネル硬度197という結果を得た。また、MnとSの量に着目して実施した予備実験の結果を踏まえ、2.0%Mnの溶湯をφ30mmの丸棒に鋳込んだ結果、引張強さ283MPa、ブリネル硬度229の結果を得られ、Mn添加により、強度が向上することが確認できた。

平成22年度は、平成21年度の結果をふまえ、本目的であるMnとSの比率を変えた溶解試験などを行い、高強度・快削・軽量エンジンプーリーに適する溶湯条件確立とさらに、各種接種剤を添加し、引張強さ300MPa以上で切削性が10%向上する高強度で快削性に優れた片状黒鉛鋳鉄の製造技術の確立を目指した。現在当該企業で生産しているFC250の溶湯にMn/S比を制御してMnを添加し、さらに各種接種剤を添加して接種効果を高めた溶解鋳造実験を行い、エンジンプーリー実体（28mm肉厚）を鋳造した結果、引張強さ396MPa、ブリネル硬さ255という機械的性質を得た。また、目標値を達成した機械的性質（309MPa、ブリネル硬さ235）を持つ試作エンジンプーリー実体についてV=300m/min、切り込み1mm、切削長18kmの条件で切削試験を行った結果、現行プーリー（FC250）の工具逃面摩耗幅が0.2mmに対して試作プーリーの工具逃面摩耗幅が0.17mmとなり、15%の切削性向上を達成した。

最終年度（平成23年度）は、高強度で快削性に優れた片状黒鉛鋳鉄によるエンジンプーリーの試作を行い、強度と切削性について測定、評価を行い、引張強さ 300MPa 以上で切削性が 10%向上するエンジンプーリーの開発を目標とした。

前年度、目標の機械的性質と 15%の切削性向上を達成した試作プーリーと同様の成分の溶湯でトラックエンジンのテンションプーリーを鋳造し、機械的性質が目標値を達成していることを確認した。（384MPa、ブリネル硬さ 241） また、このプーリー実体に対して CBN 工具を用いて $V=400\text{m}/\text{min}$ 、切り込み 1mm、切削長 18km の条件で切削試験を行った結果、現行プーリー（FC250）の工具逃面摩耗幅が 0.15mm に対して開発プーリーの工具逃面摩耗幅が 0.098mm となり、切削性に 36%の差が見られた。

③ 高機能組織制御ブレーキディスクの開発

（（株）柴田製作所、国立大学法人岩手大学、日本ピストンリング（株））

商用車用ブレーキディスクは、熱衝撃特性向上のため Cu、Cr、Ni 等レアメタルが約 1% 含有されており、かつ黒鉛量も非常に多いため引張強度は 190MPa と低い。

本研究は化学組成制御（C、Si、Mn、S 量）による基地組織強化のシーズと接種処理による黒鉛化のシーズを組み合わせることで黒鉛化の制御を行う。同じ強度であれば炭素量をわずかに増加させ、A 型黒鉛とすると熱伝導率が向上するので、鋳鉄の組織を制御し高強度、熱衝撃特性（代用特性：熱伝導率 $60\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以上）に優れた国内外でも例のない高性能ブレーキディスクを開発する。

平成21年度は、現行材（試験片）の材料調査及び単体熱疲労評価方法の確立を行った。材料調査では、化学成分、組織、硬さ、引張強度、熱伝導率の測定を行ない、開発材との比較を行った。その結果、開発材の化学成分・組織の調整により、現行材の引張強度と耐熱亀裂特性を向上できる見込みが着いた。また、単体熱疲労評価においては、ブレーキディスクの摩擦による熱亀裂発生を再現するための試験条件を確立した。

平成22年度は、試験片による単体機能評価で熱衝撃特性に対する熱伝導率、引張強度の影響を確認した結果、熱伝導率が高く、引張強度は低い方が良いことが判った。また、この試験から熱伝導率を熱衝撃特性の代用特性にできるという知見を得た。次年度に向けた実体試作品製作の準備として鋳造方案の検討とテスト鋳込みを実施した。

最終年度（平成23年度）は現行材（実体）の材料調査、実体鋳造試験及び実体熱疲労評価を実施した。その結果、C、Mn の適正化により、現行材以上の引張強度と熱衝撃特性を持つブレーキディスクを製作することができた。また、鋳造試験を通し、鋳造方案（ガス巣対策）及びコスト（原材料、量産設備等）についての検討を行なった。

④ 高強度・耐摩耗組織制御プレス金型台座の開発

（（有）前田鋳工所、国立大学法人岩手大学、奥州市鋳物技術交流センター）

小中型のプレス機では、プレス金型を支える台座に、SS 材などのブロックを削りだして組み合わせて使用してきた。このため加工工数が多くなり、コスト・納期ともに問題があった。またボルトによる組み合わせであるため、プレスの振動により緩みやズレが生じ、点検の手間がかかり、加工精度にも影響することがあった。特に自動車向けでは、品質はもちろんのこと、コストの圧縮と納期の短縮は必要不可欠となっている。そこで、金型用の台座を鋳鉄にすることにより、組み付けのいらぬ一体物の台座を作ることができ、台座の加工工数も減らすことができる。

また鋳鉄は振動吸収性にも優れた材質であるため、プレス機械のメンテナンスにも良いと考えられる。自動車用鋼板は、高強度化されたハイテン鋼を使用しているため、プレスの荷重も増加しており、それに合わせて台座も高強度化が求められている。

本研究では、化学組成制御（C、Si、Mn、S 量）による基地組織強化のシーズを使うとともに、鋳鉄の冷却速度をある程度制御することで、高強度で耐摩耗性に優れたプレス金型用台

座を開発する。

高強度が求められる金型台座では、通常品は厚肉な物が多くこのため素材の冷却速度が強度に大きく影響する。そこで平成21年度は、110mm×110mm×長さ170mmのブロックを9分割して8号C試験片を切り出し、Cu・Cr等を添加しブロックの表面近傍や中心部などにおける肉厚感受性を調査した。その結果、想定される最大肉厚100mmをこえる110mmの試験用ブロックで、引張強さ200MPa以上を達成し、肉厚感受性の違いによる厚肉製品の強度低下を低減することが可能となった。

平成22年度は、平成21年度の結果を踏まえ、同様の供試材にMnを添加したものについて、機械的強度の測定、成分分析及び組織観察を行い、その肉厚感受性について調査しブロック中心部の強度が、250MPaを達成するための条件を確立する事を目標とした。

Mnを添加することにより強度アップを図り、まずφ30テストピースで、350MPa以上の引張り強度を目指し、FC300相当の元湯を使い、Mn2.0%添加する事で350MPaを達成した。上記の350MPa以上の溶湯を注湯し、900℃2時間保持後、800℃前後の空冷による熱処理で、オーステナイト状態からの冷却を制御することにより、ブロックの中心部で250MPa以上の引張強度を達成する事ができた。

最終年度（平成23年度）は、H22年度までの実験で得られた材質を使用して、台座を铸造する。そしてSS材を使用した台座も用意して、実際にプレス加工を行うことにより、プレスの精度や刃物の消耗具合等を比較し、铸铁台座の優位性を実証した。また、事業化を進めるための条件を考察した。

⑤組織制御铸铁品の非破壊評価技術

((有)日下レアメタル研究所、国立大学法人岩手大学)

自動車部品、産業機械部品として使われる片状黒鉛铸铁は、高強度・高品位が要求されている。この様な铸铁品が、実体でそれぞれの要求を満しているかどうかをチェックする場合、従来のように別取り品から切出し加工された試験片での機械的性質試験（JISG5501）では不十分であり、製品そのもので試験・検査ができる非破壊試験が不可欠となる。本研究では、本プロジェクトで開発される铸铁品の材質を非破壊で評価するシステムを構築する。さらに、本非破壊評価技術を用いて片状黒鉛铸铁品のJIS規格：G5501（FC100～FC350）の材質を非破壊評価するための試験基準をつくる。

平成21年度は一般的な化学組成の片状黒鉛铸铁の機械的性質と超音波伝播速度（音速）との関係を調べて、この铸铁の機械的性質を非破壊で評価するための基礎データを作成した。

その結果として引張強さを音速で評価できる事が分かった。更に、一般的な片状黒鉛铸铁では、音速または＜音速×硬さ＞で機械的性質を評価できることがわかった。

平成22年度は、本プロジェクト他メンバーのテーマに使われる溶湯でデータ取りを行い、特殊な片状黒鉛铸铁（ねずみ铸铁）においてもその機械的性質を非破壊で評価できるかどうかの確認とともに平成21年度のデータと比較検討を行い。この成果をベースに、最終年度に他メンバーの開発品実体での非破壊評価に適応させる事を目標とした。

その結果、引張強さとCEには負相関が、また音速と硬さは引張強さと正相関関係にあり、前年度の研究成果と同じ関係が在る事を明らかにした。引張強さと＜音速×硬さ＞との関係は前年度とほぼ同じで、Mn含有量の高い铸铁（高Mn試料）においても＜音速×硬さ＞で引張強度を精度良く推定できることが分かった。

最終年度（平成23年度）は、精度良く铸件実体の音速を測定するために測定マニュアルを作成した。その後、測定マニュアルに基づき本プロジェクトで開発された铸铁品実体の音速測定を実施し、予想引張強さを計算した。この結果と実体切出した試験片の引張り強さ（実測値）を前年度の成果と比較検討した。結果は、本開発品実体でも＜音速×硬さ＞と引張強さとの関係は成立し、実体の引張強さを実体の音速と硬さをもちいて非破壊評価する技術基盤を確立した。

1.4 当該研究開発の連絡窓口

(経理担当者) 研究交流部研究協力課外部資金管理グループ	主査 下屋敷 司 019-621-6874
(業務管理者) 工学部マテリアル工学科	教授 平塚 貞人 019-621-6369

第 2 章 本論

2.1 薄肉組織制御ウォーターポンプ用インペラーの研究開発

(研究開発機関：(株)及精鑄造所、岩手大学、奥州市鑄物技術交流センター)

2.1.1 研究開発の概要及び研究の目的

本研究では、化学組成制御（C、Si、Mn、S 量）による基地組織強化のシーズと薄肉化に有効なチル臨界冷却速度制御技術のシーズを組み合わせることで黒鉛組織の制御を行い、薄肉組織制御ウォーターポンプ用インペラーを開発する。

平成 22 年度において薄肉組織制御高強度鑄鉄における溶湯条件確立、各種接種剤を添加したインペラー薄肉部の無チル化、マンガン（Mn）量を変えたボス部強靱化の片状黒鉛鑄鉄の製造技術は確立された。

平成 23 年度は、実際に製造ライン上で薄肉組織制御高強度鑄鉄による試作インペラーを製作し、実体強度について測定、評価を行い、インペラー羽部肉厚 3 mm、ボス部強度 150MPa 以上のウォーターポンプ用インペラーの開発を目的とする。

2.1.2 研究開発終了時点での目標

新製品開発終了時においてその成果を各ユーザーへ情報発信、交渉を行いながら実用化へ向け営業活動を行い売上向上に努める。インペラー鑄造品生産に伴う設備に関しては逐一見直しを行い生産における優位性を高める方針である。

2.1.3 研究開発内容と実施方法

平成 23 年度は、実際に製造ライン上で薄肉組織制御高強度鑄鉄による試作インペラーを製作し、実体強度について非破壊測定、評価を行い、インペラー羽部肉厚 3 mm、ボス部強度 150MPa 以上のウォーターポンプ用インペラーの開発を行った。

前年度までの問題点…製造ラインにてインペラー羽部の無チル化（良品率の向上）の解決を行った。実験方法、キュポラ溶湯 FC150 相当材質を溶解し 7 項目（引張試験、硬さ試験、羽部チル深検査、発行・CS 分析、温度測定、組織観察）において試験片採取、評価を行った。引張試験片は JIS Z2201 8 号試験片 C(30 mm)を接種後溶湯を作製した。羽部チル深については、やすりにて行った。発光・CS 分析用試料は元湯、接種後溶湯について作製した。組織観察は試験用インペラー型（図 1）に注湯しボス部、羽部における組織観察を行った。接種材は Fe-Si を使用した。マンガン%量は、1.0%、1.5%、2.0%の 3 段階を調査した。

造型条件 1 モールド/12 秒、溶湯処理量 100 ㏄/1 回、鑄込重量 8 ㏄/1 枠とした。

2.1.4 研究結果

図 1, 2, 3 に試験品インペラを示す。各試験品 10 個の硬さ、引張試験の結果を表 1 に示す。



[図 1 Mn 1%]

[図 2 Mn1.5%]

[図 3 Mn2%]

	製品ボス硬さ		φ 30mm引張試験棒		
Mn1%	No.1	4.65 HB167	4.7	HB163	160MPa
	No.10	4.75 HB159	4.8	HB156	159MPa
Mn1.5%	No.1	4.65 HB167	4.8	HB156	162MPa
	No.10	4.7 HB163	4.65	HB167	163MPa
Mn2%	No.1	4.65 HB167	4.75	HB159	178MPa
	No.10	4.6 HB170	4.75	HB159	167MPa

[表 1]

本年度は、これらの研究から以下の結果を得た。

- Mn 量 1%~2%にて、製品ボス部、引張強さ（試験棒 Φ 30）は、目標値 150MPa を達成した。
- 製造ラインにおいて Fe-Si 接種材を添加した時にインペラ羽部肉厚 3mm のチルが抑制され良好な組織が得られている。

2.1.5 平成 23 年度まとめ

平成 23 年度は、実際に製造ライン上で薄肉組織制御高強度鋳鉄による試作インペラーを製作し、実体強度について測定、評価を行い、インペラー羽部肉厚 3mm 約 15%の軽量化、ボス部強度 150MPa 約 65%の強度 up のウォーターポンプ用インペラーの開発に成功した。今後、鋳造設備の兼ね合いと製品価格への反映がポイントとなるが他製品にもこの技術御応用し営業展開をしていく予定である。

2.2 高強度・快削・軽量組織制御エンジンプーリーの開発

((株)柴田製作所、岩手大学)

2.2.1 研究開発の概要及び研究の目的

自動車用エンジンプーリーも軽量化の課題があり、そのための溶湯の化学成分の決定、より高強度・快削・軽量された製品の開発が必要とされている。これまで、基地組織にフェライトの発生や黒鉛形状のばらつきによる強度のむらが見られ、それが問題となっている。本研究では、化学組成制御 (C、Si、Mn、S 量) による基地組織強化のシーズと接種 (Fe-Si、Ca-Si、Ca-Si-Ba、RE-Si 接種剤) 処理による黒鉛形状制御のシーズを組み合わせることで黒鉛組織の制御を行う。高 Mn 成分により高強度化するとともに炭素量をわずかに増加させ黒鉛化することで、切削性を向上させ、比較的均一な硬い組織を得て、高強度・快削・軽量エンジンプーリー製品を開発する。

2.2.2 研究開発内容

昨年度確立した高強度・快削・軽量エンジンプーリーに適する溶湯条件を基に、下記の実験を行った。

① 溶解実験

製品化を検討するため、現在当該企業で生産しているエンジンプーリー製品 (現行 FC250 材) を、昨年度確立した溶湯条件で铸造した。

引張試験、硬度測定、組織観察、板チル試験、を実施し目標の機械的性質を満たしていることを確認した。また、切削性評価試験の供試材となるプーリー試作品も同様に铸造した。

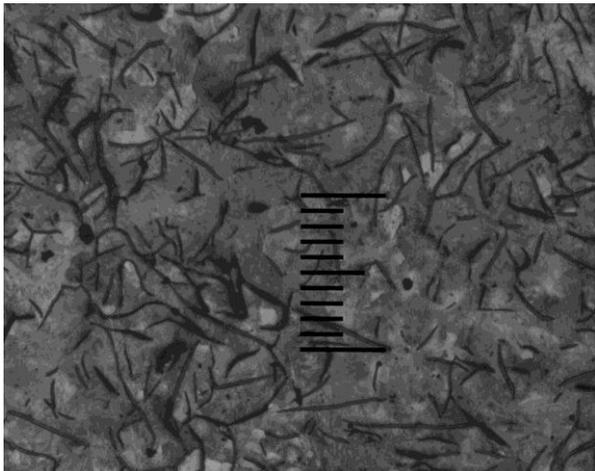
② 切削加工評価

プーリー試作品および現行品 (FC250) の切削加工後、それぞれ 3 次元測定器で測定したデータと図面の加工公差を比較した。

また切削プログラムを変更し、CBN 工具を使用して試作品および通常品 (FC250) の肉厚部を全て削り落とし、刃先摩耗量を測定した。

2.2.3 研究成果

図 1 に溶解実験で得られた組織および引張試験、ブリネル硬度試験結果を示す。

φ 30 丸棒		302MPa ブリネル硬度 207
---------	--	----------------------

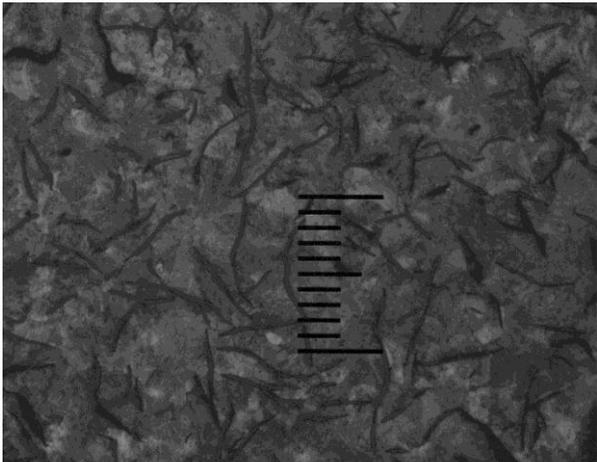
<p>プーリー試作品 16384-1460 (肉厚 26mm 部)</p>		<p>384MPa ブリネル硬度 241</p>
---	--	------------------------------

図1 丸棒及びプーリー組織写真、引張強さ、ブリネル硬度

22年度の実験同様、φ30丸棒および製品実体はA型黒鉛組織で基地は緻密なパーライト組織となっていることを確認した。

図2に工具摩耗試験後の工具先端部写真を示す。

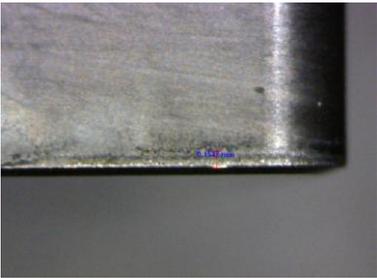
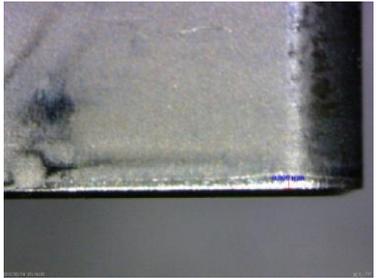
 <p>現行品 0.1547mm</p>	 <p>試作品 0.098mm</p>
--	--

図2 切削試験摩耗量

CBN 工具では、通常品の摩耗量と比較して 1.5%Mn の試作品において目標を超える 36%の切削性改善を達成した。

加工公差と比較しても試作品は現行品と遜色なく、全て規格内に収まった事が確認できた。

2.2.4 総括

最終年度（平成23年度）は、高強度で快削性に優れた片状黒鉛鋳鉄によるエンジンプーリーの試作を行い、強度と切削性について測定、評価を行い、引張強さ 300MPa 以上で切削性が 10%向上するエンジンプーリーを開発した。

事業化に向けて、現在トラックメーカーに対して今回開発したプーリー試作品を売り込んでおり、実用化試験に対して前向きな回答を得ている。また、高強度化により現行品と比べて薄肉軽量化が可能になる。本研究の成果を基に提案を行い、軽量化プーリーの開発に繋げていきたい。

2.3 高機能組織制御ブレーキディスクの開発

(株)柴田製作所、岩手大学、日本ピストンリング(株)

2.3.1 研究開発の概要及び研究の目的

商用車用ブレーキディスクは、熱衝撃特性向上のためCu、Cr、Ni等レアメタルが約1%含有されており、かつ黒鉛量も非常に多いため引張強度は190MPaと低い。

本研究は化学組成制御(C、Si、Mn、S量)による基地組織強化のシーズと接種処理による黒鉛化のシーズを組み合わせて黒鉛化の制御を行う。同じ強度であれば炭素量をわずかに増加させ、A型黒鉛とすると熱伝導率が向上するので、鑄鉄の組織を制御し高強度、熱衝撃特性(代用特性:熱伝導率60W/m・K以上)に優れた国内外でも例のない高性能ブレーキディスクを開発する。

2.3.2 研究開発内容

2.3.2.1 実体鑄造試験

単体熱疲労評価(平成22年度)において、最も熱衝撃特性が良好であった開発候補材をベースに、引張強度及び熱伝導率を現行材と同等以上にするため、化学成分の適正化試験を行なった。開発候補材は現行材に対し熱伝導率は同等であるものの引張強度が低い特徴があった。そこで、引張強度を向上させるため高Mn化と低C化を検討した。その結果、低C化することで引張強度と熱伝導率を現行材以上とすることができた(開発材)。また、高Mn化した場合、引張強度は向上するものの、熱伝導率が低下してしまうことが判った。

実体鑄造では複数の中子を使用するため、中子由来のガスにより鑄造欠陥が発生していた。そこで、鑄造方案の適正化を行なった結果、塗型を施し、ガス逃げ部(はかせ)を設けることで鑄造欠陥を軽減することができた。

2.3.2.2 実体熱疲労評価

実体における熱衝撃特性の評価を行なった。評価水準は現行材と単体熱疲労評価で熱衝撃特性が最も優れていた開発候補材及び化学成分適正化試験で引張強度を改善した開発材の3水準とした。評価の結果、熱衝撃特性は開発候補材>開発材=現行材の順となり、何れも現行材と同等以上の熱衝撃特性であることが判った。また、実体においても熱衝撃特性に対する熱伝導率の影響が大きいことが確認できた。

2.3.3 研究成果

本年度の研究から以下の結果が得られた。

- ・ 化学成分を適正化することで現行材以上の熱衝撃特性と引張強度を得られることが判った。
- ・ 鑄造方案を適正化することで鑄造欠陥を軽減できることが判った。

2.3.4 総括

事業期間の研究開発から以下の成果が得られた。

- ・ 引張強度、熱衝撃特性の開発目標値(190MPa, 60W/m・K)を達成することができた。(実績: 209MPa, 61W/m・K)
- ・ Cu、Cr、Ni等の元素を使用することなく、現行材以上の引張強度と熱衝撃特性を持つブレーキディスクを製作することができた。
- ・ 熱衝撃特性に対する引張強度、熱伝導率の影響についての知見が得られた。
- ・ 実体鑄造に関して、ガス巣を防止する鑄造方案の知見が得られた。
- ・ 熱衝撃特性の優れる材料の単体機能評価方法を確立することができた。

2.4 高強度・耐摩耗組織制御プレス金型台座の開発

((有)前田鑄工所、岩手大学、奥州市鑄物技術交流センター)

2.4.1 研究開発の概要及び研究の目的

鑄鉄では、冷却速度の小さい厚肉の素材において、強度の極端な低下がみられる。金型台座は、構造上肉厚が大きく、今までの素材では設計の自由度が低かった。そこで、より均質でなおかつ高強度の素材を開発することで、設計のしやすい均質な台座を作ることができる。さらに中小型のプレス台座では、コストや納期面で鑄物素材が余り使われてこなかったが、軽量化を図り、発泡型（フルモールド）を使用することにより、競争力の強い製品を作ることが可能となる。また、鑄鉄は振動吸収に優れた材質であるため、プレスの精度やメンテナンス性にも良い影響が期待される。そこで高強度・耐摩耗組織制御プレス金型台座の開発について研究を行った。

2.4.2 研究開発終了時点での目標

台座を鑄造する。そしてSS材を使用した台座も用意して、実際にプレス加工を行うことにより、プレスの精度や刃物の消耗具合等を比較し、鑄鉄台座の優位性を実証する。

また、事業化を進めるための条件を考察する。

2.4.3 研究開発内容と実施方法及び結果

・プレス実験

FC、SS製の台座を使用し、それぞれ500ショット毎にサンプル採取しながら10,000ショットをプレスする。また同時に騒音と音圧の測定を行う。

プレス加工の精度を比較する為に、それぞれの台座で加工したものをSEMの映像で比較する。また刃物も同様に比較することで、損傷の具合を観察する。

・プレス条件

プレス材料 SHGA370-35 板厚 2.6mm 板幅 93mm

プレス機械 順送 200t プレス機

送り 40.0mm ショット数 55回/分 オイル使用

・騒音・音圧の測定では、FC台座の減衰能により騒音が緩和されることが証明できた。

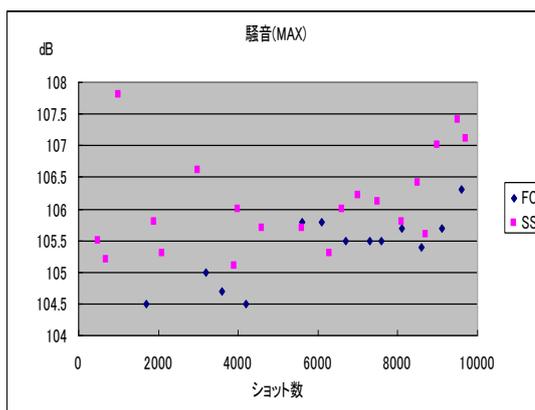


図1 ショット数と騒音の関係

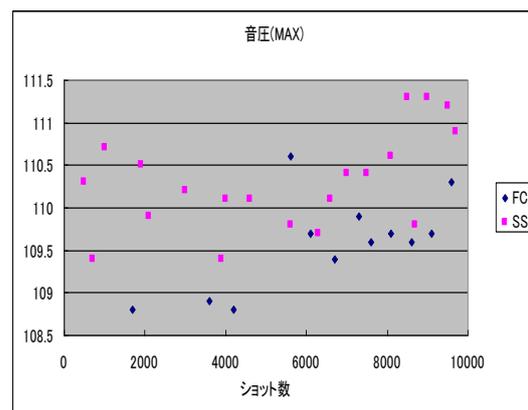
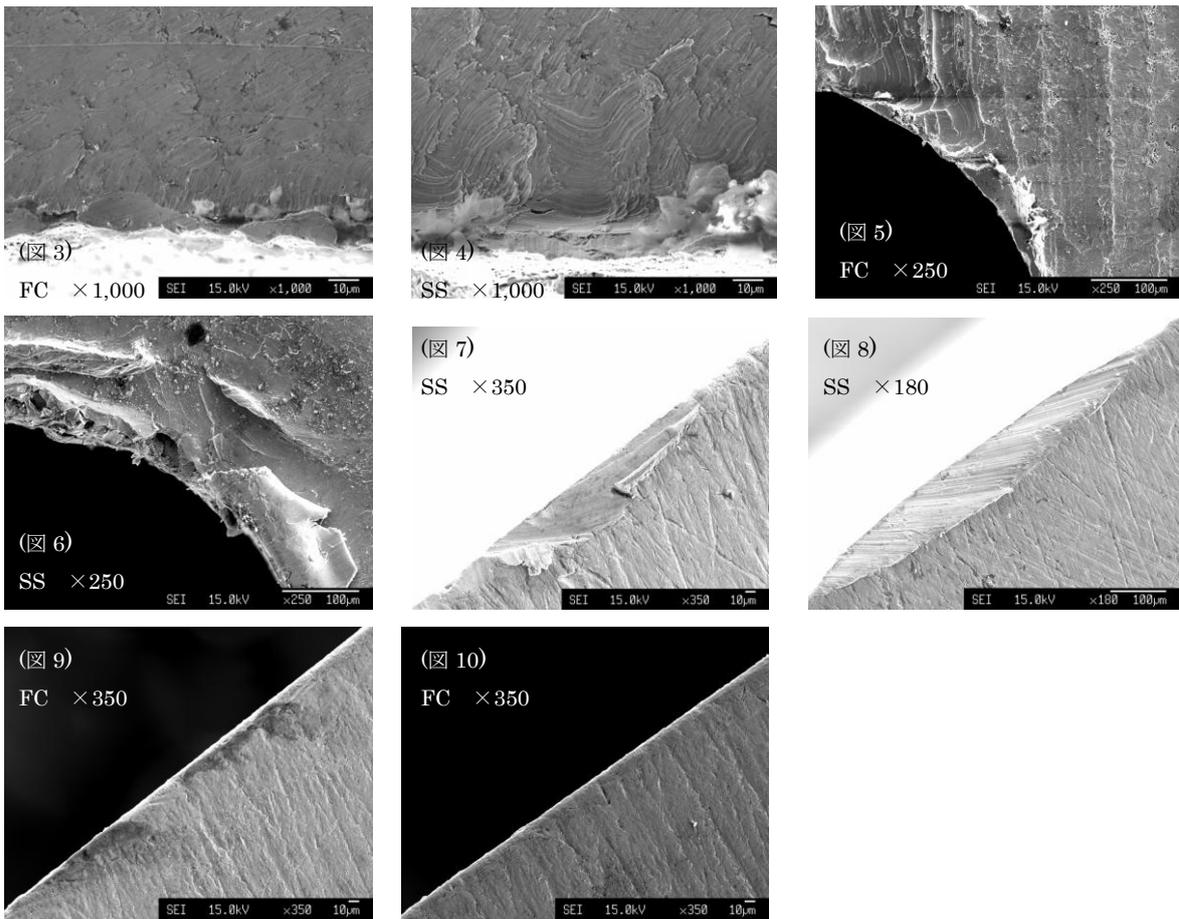


図2 ショット数と音圧の関係

・SEMによる観察

図3～6はプレス加工で打ち抜いた部分の写真である。それぞれFCよりもSS台座を使用したものの方が、バリも塑性変形も大きくなっている。

また図7～10は打ち抜き刃(パンチ)の写真である。FCではほとんど欠損がみられないが、SSでは大きく欠損しているのがわかる。



2.4.4 本年度のまとめ

実際に高 Mn の溶湯で台座を鋳造したが、鋳造性には問題なく、基地・黒鉛形体ともよいものができた。

プレス実験では、FC 台座の使用により、騒音が軽減されることが証明できた。またプレスの精度が上がり、バリや塑性変形が小さくなることも観察できた。更には、刃物の破損を減らし、刃物寿命を長くすることも証明できた。

2.4.5 総括

前年度までの実験で、肉厚に応じた成分の調整と熱処理が可能になった。これを設計に反映していくことで、より高性能でコストの低い台座を作ることが出来る。またこのことは他の機械部品にも応用していきたい。

FC 台座と SS 台座の比較では、性能面で FC 台座の優位が証明できた。一体物である為、台座を加工する際の精度を出しやすく、組み立ても不要になる。

プレス加工では、金型や台座がプレスのたびに共振を起こし、そのためパンチとダイのクリアランスにズレを生じることで、刃物を損傷し、加工品にバリや塑性変形が起きやすくなる。ところが、鋳鉄の優れた減衰能により、騒音と振動を吸収することで、騒音が低減され、刃物の損傷を抑え、プレス加工の精度があがる。

今回の試作台座は、鋳鉄と鋼材の比較のために単純な形状の打ち抜きとした為、コストの比較では鋼材の台座のほうがかなり安かった。形状的により複雑で、機械加工がより必要なものでないと単純な製作コストでは、鋼材にかなわない。

しかしながら、プレスの精度や刃物や金型の寿命、更には作業環境等も含めると総合的なコストはむしろ低く抑えられると考えて良いのではないかと。

納期面では、鋳鉄の場合には設計・型製作・鋳造が必要であり、その分長くなってしまふ。機械加工の時間が短縮されることは期待できるので、鋳鉄台座の設計ノウハウや型製作者の協力が必要となる。

大型のプレス機械では、鋳鉄の使用はごく一般的であるが、中・小型の機械ではほとんど使われていない為、事業化には鋳鉄の良さを広くアピールすることが重要になる。

2.5 組織制御鋳鉄品の非破壊評価技術

(㈩)日下レアメタル研究所、岩手大学)

2.5.1 研究開発の概要及び研究の目的

自動車部品、産業機械部品として使われる片状黒鉛鋳鉄は、高強度・高品位が要求されている。このような鋳鉄品が、実体でそれぞれの要求を満たしているかどうかをチェックする場合、従来のように別取り品から切出し加工された試験片での機械的性質試験（JISG5501）では不十分であり、製品そのもので試験・検査ができる非破壊試験が不可欠となる。

本研究では、本プロジェクトで開発される鋳鉄品実体の材質を非破壊で評価するシステムを構築する。さらに、本非破壊評価技術を用いて片状黒鉛鋳鉄品の JIS 規格:G5501（FC100～FC350）の材質を非破壊評価するための試験基準をつくる。

2.5.2 研究開発内容

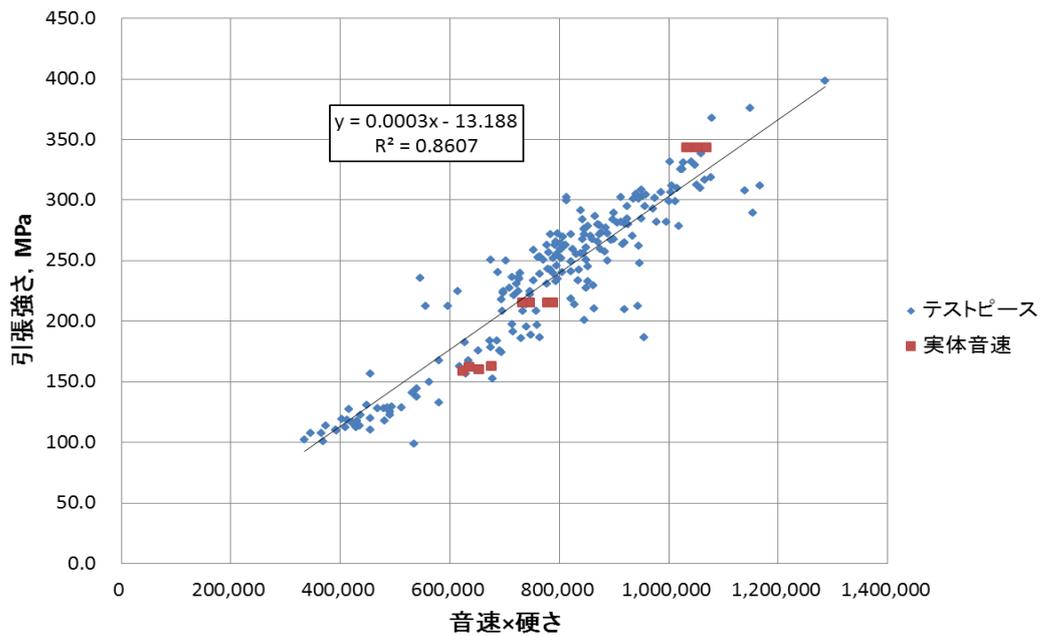
最終年度（平成 23 年度）は、音速測定のマニュアルを作成し、共同参画企業が開発した組織制御型高強度・高機能鋳鉄製自動車用部材実体での音速測定を行い、22 年度の成果を用い引張強さを非破壊評価するとともに、確認のために一部の実体の破壊試験を実施する。実体での超音波音速測定マニュアルの構築、片状黒鉛鋳鉄の引張強さを超音波伝播速度で精度良く推定するための非破壊評価基礎を確立する。

2.5.3 研究成果

精度良く鋳物実体の音速を測定するために測定マニュアルを作成した。その後、マニュアルに基づき本プロジェクトメンバーが今回開発した鋳鉄品実体（硬さおよび引張強さの試験結果つき）の音速測定を実施した。実体の引張り試験結果を前年度の成果である＜音速 x 硬さ＞と実体から切出したものの引張強さ（実測値）との関係を比較検討した。結果として、本開発品実体でも＜音速 x 硬さ＞と引張強さとの関係は成立し、実体の引張強さを実体の音速と硬さをもちいて評価する方法を確立した。

測定マニュアルにしたがって実体の音速測定を行い、そのデータを用いて予想引張強さを求めた。下図に実体の音速 x 硬さ（HB）と実体から切出した試験片の引張強さ（実測値）を前年度の成果である分布図にプロット（赤□）した。図よりこれらの予想引張強さは、グラフに良く乗っていることが分かる。実体での引張強さを音速と硬さ精度良く推定できることが分かった。

今回、実測値の値が少なく、統計的な検定が出来なかったが、これからデータを増やすことによりさらに精度を上げる事が出来ると考えられる。



2.5.4 総括：

この3年間の成果は、開発された片状黒鉛品実体において音波を用いた非破壊試験で、その引張強さを精度良く推定できる事を明らかにした。ここで構築した超音波伝播速度による非破壊評価方法で鋳物実体の引張強さの評価が出来れば、現在実行されている JISG5501 による破壊試験を代替できる可能性がある。さらに実体の評価結果を自社技術力の向上や営業に有効使用することにより、さらに高品位高性能の鋳鉄の製造に貢献できるであろう。そのために、鋳造業界と鋳造品を使用する客先に説明・理解・協力しあって普及させることが必要である。

以上

最終章 全体総括

本プロジェクトでは、パーライト組織を呈して鑄鉄の強度を向上するために従来技術であるチル化傾向が強くなるクロム (Cr) やバナジウム (V) を添加する方法ではなく、マンガン (Mn) と硫黄量 (S) をコントロールすることにより、引張強さが向上するシーズを用いて高強度化できる可能性を追求して、化学組成制御 (C、Si、Mn、S 量) による高強度化技術のシーズを核として、機能化をプラスする意味で、接種 (Fe-Si、Ca-Si、Ca-Si-Ba、RE-Si 接種剤) 処理による黒鉛化促進とチル化防止のシーズと薄肉化に有効なチル臨界冷却速度制御技術のシーズを組み合わせることで黒鉛組織の制御を行った。これにより、鑄鉄の高強度化を保ちつつ、黒鉛化と黒鉛形状を制御することにより、薄肉化、チル化防止、切削性向上、熱伝導性向上、高硬度化 (耐摩耗性向上) を図り、組織制御型高強度・高機能鑄鉄部材の製造技術の開発を行った。

本プロジェクトの成果として

(1) 薄肉組織制御ウォーターポンプ用インペラーでは、インペラー羽部肉厚の 3mm 化、ボス部強度の 150MPa 以上のインペラーの開発に成功した。

(2) 高強度・快削・軽量組織制御エンジンプーリーでは、トラックエンジンのテンションプーリーを鑄造し、引張強さ 384MPa、ブリネル硬さ 241、切削性が 36% 向上した材料の開発に成功した。

(3) 高機能組織制御ブレーキディスクでは、C、Mn の適正化により、引張強度 209MPa、熱伝導率 61W/m・K の優れた特性を持つブレーキディスクの製作に成功した。

(4) 高強度・耐摩耗組織制御プレス金型台座では、250MPa 以上の引張強度を有する金型台座の開発に成功した。

(5) 組織制御鑄鉄品の非破壊評価技術では、実体の引張強さを実体の音速と硬さをもちいて非破壊評価する技術を確立でき、装置の試作に成功した。

3年間の事業で、開発した製造技術を利用して、これまでにない優れた剛性を有する「組織制御型高機能鑄鉄」として (1) 薄肉組織制御ウォーターポンプ用インペラー (2) 高強度・快削・軽量組織制御エンジンプーリー (3) 高強度組織制御ブレーキディスク (4) 高強度・耐摩耗組織制御プレス金型台座など高付加価値化、軽量化、コスト低減及び環境に配慮した組織制御型高強度・高機能鑄鉄製自動車用部材を試作製造することができた。

さらに (5) 組織制御鑄鉄品の非破壊評価技術を確立した。

本研究は基礎的研究や試作の部分もあるが、本研究の成果は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。