

平成22年度予備費事業 戦略的基盤技術高度化支援事業

「機械加工屑のリサイクル活用による省資源型高強度薄肉鋳物の製造技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成23年12月

委託者 経済産業省東北経済産業局
委託先 株式会社根岸工業所

目次

第1章 研究開発の概要	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2 研究体制	4
1-3 成果概要	7
1-4 当該研究開発の連絡窓口	10
第2章 本論	11
2-1 切り粉の再溶解技術	11
2-1-1 キュボラによる再溶解	11
2-1-2 高周波誘導炉による再溶解	13
①基礎試験	13
②250kw高周波誘導炉による切り粉の再溶解	16
2-1-3 接種の高度化	19
2-1-4 再溶解した溶湯の性状評価	20
2-2 切り粉の再溶解技術に資する高 Mn 鋳鉄の高強度化技術	21
2-2-1 高 Mn 鋳鉄の製造	21
①キュボラによる高 Mn 鋳鉄の製造	21
②250kw高周波誘導炉による高 Mn 鋳鉄の製造	23
2-2-2 高強度製品の製造	26
2-2-3 試作した高強度製品の評価	26
第3章 全体総括	27
3-1 研究開発成果	27
3-2 研究開発後の課題・事業化展開	28
専門用語等の解説	30

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

景気の長期低迷の中、鑄造業界ではメーカーからの値下げ要求や銑鉄、鋼屑などの鉄原材料及び燃料コークスの高騰により、一層の原価の低減に迫られている。さらに、産業機械業界、建設機械業界では高機能化、軽量化、省エネルギー対策の面から部品の軽量化、高機能化が要求され、これら産業に部品を供給する鑄造業界では鑄鉄の高強度化などの高機能化が要求され、これら産業に部品を提供する鑄造業界では鑄鉄の高強度化などの高機能化技術への対応が強く求められている。

このため、上記の幅広い分野における鑄鉄部品の高機能化の幅広くニーズに応えられるよう、鑄鉄鑄物の加工工程などで発生する機械加工屑（切り粉）のリサイクル活用と鑄鉄の高強度化技術との組み合わせにより、「省資源型高強度薄肉鑄物」の製造技術の開発を目的とした。

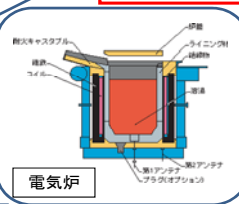
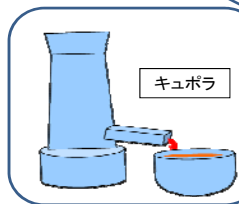
機械加工屑のリサイクル活用による「省資源型高強度薄肉鑄物」の製造技術の開発（事業イメージ）

機械加工屑（切り粉）の
リサイクル活用



<機械加工屑の混合比率>			
	(現状)		(目標)
キュポラ	10%	⇒	50%
電気炉	(当社はなし)	⇒	10%
	(全国的には7%)		

切り粉の再溶解技術



<キュポラと高周波
電気炉による切り粉の
再溶解
(最適性検証)>

鑄鉄の高強度化技術
(高Mn・高強度鑄鉄の
シーズ活用)



(住宅設備用バルブ)

(配管用継ぎ手)

(産業機械・輸送機械用ハブ)

<省資源対応住宅設備鑄物>

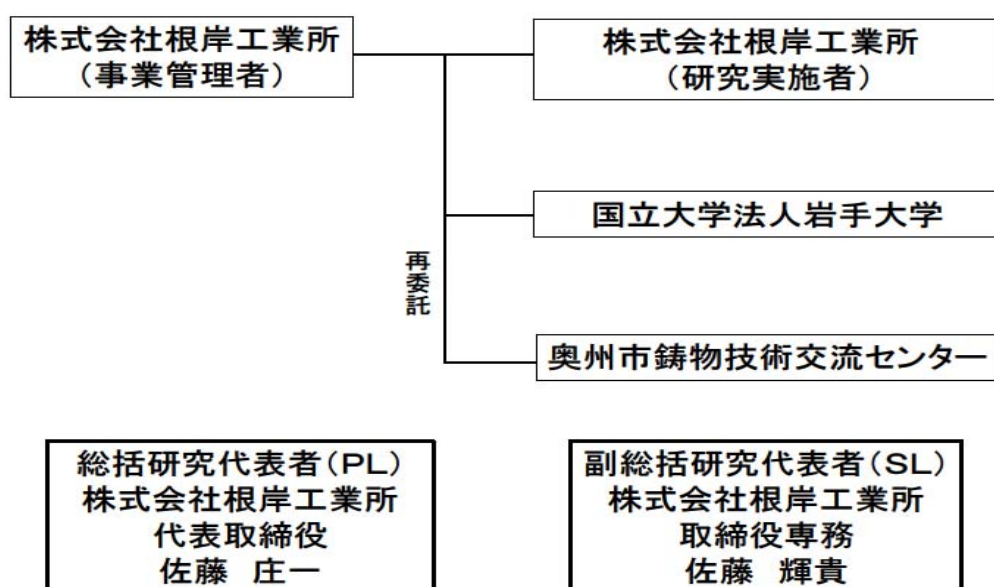
<高強度・軽量化の高機能鑄物>

- 省資源型高強度薄肉鑄物の開発を通じた省資源化のニーズ先取り製品の提案
- 鑄鉄の付加価値向上(住宅設備を足掛かりに、産業機械・輸送機械用鑄物に展開)

1-2 研究体制

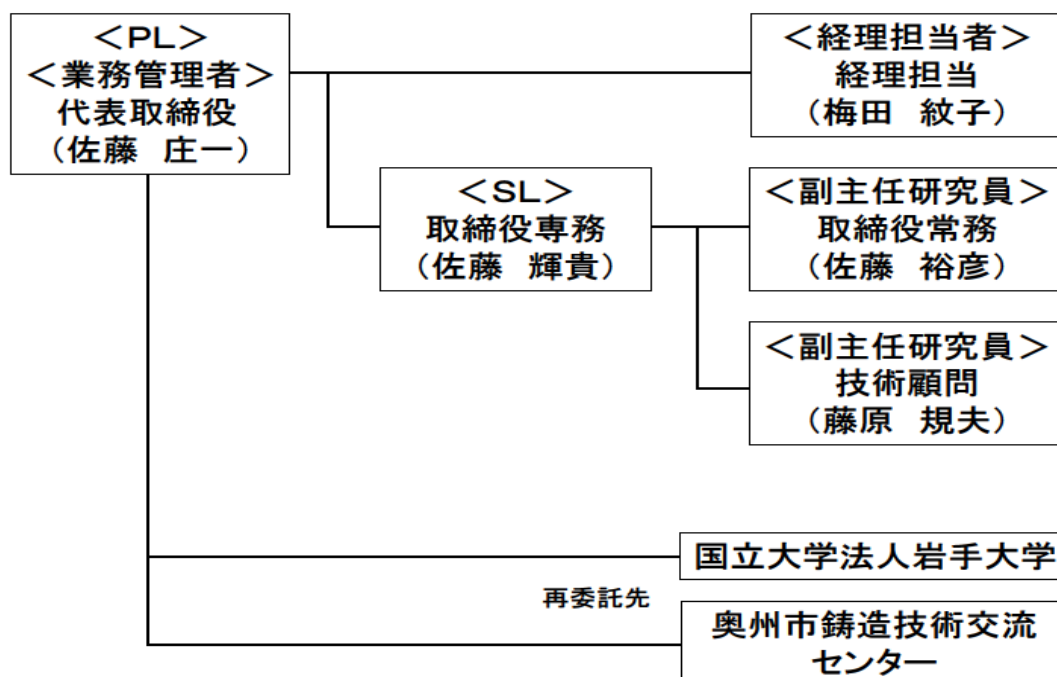
(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

① 事業管理者 [株式会社根岸工業所]

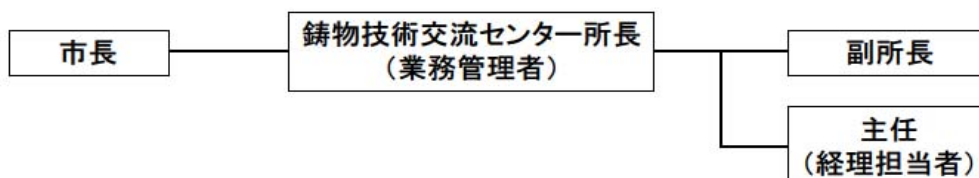


②（再委託先）

国立大学法人岩手大学



奥州市鑄物技術交流センター



(2) 研究員及び管理員（役職・実施内容別担当）

【事業管理者】株式会社根岸工業所

①研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
佐藤 庄一	代表取締役（業務管理者）	①－2、②－3
佐藤 輝貴	取締役専務（主任研究員）	③－1～3、PL ①～③、SL
佐藤 裕彦	取締役常務（副主任研究員）	①－1～3、 ②－1、③－4
藤原 規夫	技術顧問（副主任研究員）	①－1～3、②－ 1～3、③－ 1,3,4

②管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
梅田 紋子	経理担当（経理担当者）	③－1～3

【再委託先（研究員）】

国立大学法人岩手大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
平塚貞人	工学部 教授	①－４、②－１
竹本義明	工学部附属鑄造技術研究センター 客員教授	①－４、②－１
阿部 峻	工学部附属鑄造技術研究センター 技術補佐員	①－４、②－１

奥州市鑄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、②－１
中山 雅彦	主任	①－４、②－１

（３）経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理者】

株式会社根岸工業所

（経理担当者）経理担当

梅田 紋子

（業務管理者）代表取締役

佐藤 庄一

【再委託先】

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 主任 下屋敷 司

（業務管理者）工学部長 堺 茂樹

奥州市鑄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

千葉 祐

（４）他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

アドバイザー 氏 名	アドバイザー 役 職	主な指導・協力事項
前田 健蔵	(株)柴田製作所 代表取締役	産業機械・輸送機械向けの高強度ハブの実体強度評価に関する指導
(株)長谷川鑄工所	開発部	建築物・住宅向け配管用継ぎ手の実体強度評価に関する指導
千住スプリングラー(株)	品質保証部	建築物・住宅向け消火設備用バルブの実体強度評価に関する指導
杉本 安一	(有)日下レアメタル研究所 常務取締役	鑄鉄の溶湯処理技術に関する指導
堀江 皓	堀江鑄造技術研究所 所長	鑄造全般、特に鑄鉄の高強度化技術に関する指導 研究開発事業の運営に関する指導
佐藤 広昭	さとう経営法務事務所 代表	事業化推進に関する指導 研究開発事業の運営に関する指導

1-3 成果概要

本研究開発では、鋳物加工などで発生する機械加工屑（切り粉）を溶解工程でリサイクル活用し、鋳鉄の高強度化技術との組み合わせにより、産業機械・建設機械に加えて、建築物の長寿命化のため住宅設備からも強いニーズに応えられる高強度・薄肉の高機能鋳物の開発を進めた。

その開発では、切り粉の再溶解技術の高度化を行い、高強度・快削性を備えた高 Mn・高強度鋳鉄の開発において下記の成果が得られた。

①切り粉の再溶解技術

①-1 キュボラによる再溶解

再溶解で使用するキュボラでの切り粉を外部業者に委託し円柱状のブリケットに加工する。ブリケットの重量は、通常使用されている 2.5kg～4.5kg/ヶの範囲とする。ブリケットをキュボラで再溶解する際、溶湯温度の低下を招くと酸化現象が発生しやすくスラグの発生が増える。また、一般的にブリケットの配合量を増加させると、材質硬化が低くなり、JIS 規格を満足できなくなる。

そこで、精錬効果の高いブリケットの量をベットークス（キュボラの底に積み上げたークスで、キュボラではこの燃焼熱で材料を溶解する。）の高さとの最適化を検討し、切り粉ブリケットの配合量を現状の 10%から段階的に 50%まで配合量を増加させても、現在製造している製品の材質（JIS 規格 FC200、FC250）を満たす鋳鉄の溶製技術の開発に取り組んだ。

実績値として目標 50%に対し 60%まで配合量の増量を実施。FC200 の配合で溶湯し、60%まで増量しても JIS 規格を満足することができた。その結果から FC250 配合でも JIS 規格を満足させることが可能と思われる。

ただし、材料となる切り粉が外部調達のため材質成分が不明確な点があり、今後長期操業をするにあたり材質の安定、品質の安定をどう維持していくかが課題である。

①-2 高周波誘導炉による再溶解

岩手大学工学部附属鋳造技術研究センター水沢サテライトの高周波誘導炉による基礎試験では①-1 のキュボラ同様、高温溶解を実施するとともに、湿式（切削液を含んだ状態）、乾式（乾燥炉にて脱脂工程を施した状態）両方の切り粉ブリケットを比較し、5%、7%、10%と徐々に配合量を増加し試験。本研究用に導入した 250kw 電気炉での溶解試験の前に成分の安定、作業性等の基礎調査を実施した。

湿式・乾式共にブリケット配合量増加に伴い、引張り強さ・硬さは上昇傾向にあるが、溶解歩留まりは低下、溶解時間も長くなる傾向が見られた。また配合割合が増すと、ブリケットの浮き上がりが発生しノロも多く発生しその除去のため作業がしづらくなっていく。

250kw 高周波誘導炉での溶解試験では、上記の基礎調査の結果を踏まえ、ブリケット状での再溶解は困難であると判断し、切り粉での再溶解とし、切り粉配合割合を段階的に 10%、15%、20%、25%、30%、35%と増量する試験を実施した。なお、基礎試験の結果から、実操業での状態確認のため湿式の切り粉（自社発生品）での試験を実施した。

結果として、目標配合率 10%に対し 35%まで配合溶解を実現した。機械的性質においては JIS 規格をクリアできるが、配合量増加に伴い、作業面及び白煙の発生による環境面等から 20%程度の配合量が最適と思われる。

①ー３ 接種の高度化

キューボラ溶解での鉄源に、ブリケットの配合割合を段階的に増量し、その溶湯に接種剤キャスロン75の添加量0.2%、0.4%と接種処理し、各試料に鑄造。また接種剤CaSiの添加量0.4%で接種処理し、各鑄型に鑄造しそれぞれの溶湯の性状調査を実施。なお事前に社内での実操業を想定し項目を絞り込んでの試験とした。

結果として、キューボラ溶解においては接種剤の添加量増量に伴いチルが減少し、引張り強さも50%配合量の0.4%接種でのテストピース（TP）は巣の欠陥がありデータが取れなかったが、FC200の配合溶解の中でほぼ規格を満足する結果になった。

①ー４ 再溶解した溶湯の性状評価

キューボラおよび高周波誘導炉で切り粉を配合して溶解された溶湯の化学成分、試験片の機械的性質、黒鉛組織、基地組織を調査した。これらの評価に関しては、国立大学法人岩手大学および奥州市鑄物技術交流センターが所有する発光分光分析装置、万能引張試験機、硬度計、光学顕微鏡を使用して材質評価を行った。

①ー１～３の研究を通し現行製品の管理材質（建設機械部品、住宅設備バルブ・・・機械的性質FC250、黒鉛形状A型、基地組織パーライト、配管用継ぎ手・・・機械的性質FC200、黒鉛形状A型、基地組織パーライト）が目標値に達しているかを調査した。

１）キューボラで再溶解した溶湯の性状評価

- ・ブリケット配合割合の増量に合わせてSと微量元素ΣA1、ΣA2の増加が見られた。
- ・ブリケット配合割合の増量に合わせて引張り強さ、成熟度が向上する傾向にある。
- ・接種剤の添加量を増すと、引張り強さ、成熟度が向上する傾向にある。またアルカ土類接種剤の方が比較硬さが低下する傾向が見られる。
- ・実体製品での調査はMn添加のブリケット60%配合で調査することとした

２）高周波誘導炉での再溶解した溶湯の性状評価

- ・切り粉配合割合の増量に合わせてチル深さが深くなる傾向にある。
- ・切り粉配合割合の増量に合わせて成熟度が向上する傾向にある。

②切り粉の再溶解技術に資する高Mn 鑄鉄の高強度化技術

高Mn 鑄鉄の製造に向けて、国立大学法人岩手大学およびアドバイザーの指導のもと、キューボラ及び電気炉への溶解材料の配合方法、キューボラ及び電気炉への溶解方法、Mnの添加方法、接種剤及び接種量の選択、接種剤の添加方法、炉前試験方法などの鑄鉄の高強度化に関する技術高度化を進めた。また高Mn 鑄鉄の製造技術の高度化を進め、株式会社根岸工業所が製造している、産業機械、建設機械、住宅設備向け製品を対象として上記製品についての現行の実体強度を調査確認し、試作および評価を行い、実体強度を現行比で20%向上を目標とした。

②ー１ 高Mn 鑄鉄の製造

- （１）キューボラおよび電気炉による高Mn 鑄鉄の製造
- （２）高強度部品の製造
- （３）試作した高強度部品の評価

（１）ー１ キューボラによる高Mn 鑄鉄の製造

ベース溶湯（ブリケット配合0%）にキャスロン0.2%接種とMn添加溶湯（ブリケッ

ト配合60%)にCaSiO.4%接種を各鋳型及び建設機械、産業機械、継ぎ手の実体製品に鋳造し、引張り強度20%向上を目標に溶湯性状、実体強度、顕微鏡組織、機械加工性の比較調査を行った。

結果として、目標値実体強度の20%向上に対し、
Φ30テストピース・・・25%向上
Φ14テストピース・・・18%向上 ※
XVカバー100（産業用バルブ）・・・30%向上
5110コネクター（建設機械）・・・33%向上
45° LB2 1/2（継ぎ手）・・・15%向上 ※
※Φ14 テストピース、45° LB2 1/2 は未達。

(1) - 2 250kw高周波誘導炉による高Mn 鋳鉄の製造
ベース溶湯(切り粉配合0%)にキャスロン0.2%接種とMn 添加溶湯(切り粉配合20%)にCaSiO.4%接種を各試験片及び実体製品に鋳造し、引張り強度の20%向上を目標に溶湯性状、実体強度、顕微鏡組織、機械加工性の比較調査を行った。

結果として、目標実体強度20%向上に対し、
Φ30テストピース・・・30%向上
Φ14テストピース・・・45%向上
XVカバー100（産業用バルブ）・・・29%向上
5110コネクター（建設機械）・・・20%向上
45° LB2 1/2（継ぎ手）・・・18%向上 ※
※45° LB2 1/2 は未達。

③研究開発後の課題・事業化展開

③-1 研究開発後の課題

研究開発を通じて、以下の課題が生じた。

- ・試験対象の一部製品（45° LB2 1/2（継手））において、強度が確保できなかったことから、研究開発の継続により、強度確保と強度向上が必要
- ・競争力向上のため、高周波誘導炉における切り粉配合率のさらなる向上が必要

③-2 事業化展開の目標

製品の事業化展開について、以下の目標達成を目指す。

- ・目標を達成した製品について、アドバイザー企業などとの協力により、実体強度の検証・評価を通じた、事業化展開を実施
- ・操業安定化のための技術向上を通じて、高周波誘導炉における切り粉配合率のさらなる向上を達成

④研究開発事業の総括および運営管理

研究開発を円滑に進めるため、総括研究代表者（PL：株式会社根岸工業所代表取締役）および副総括研究代表者（SL：同取締役専務）が研究開発事業を統括した。

また、研究開発の企画実施・進捗管理および事業化の具体的方策の検討を進めるため、再委託先（研究実施機関）、アドバイザー企業などの参加を得て、研究開発推進会議を平成23年6月17日、平成23年11月21日の2回開催し、研究開発の推進と情報共有と事業化に係る打合せを行った。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社 根岸工業所 担当者：取締役専務 佐藤輝貴
〒023-1101 岩手県奥州市江刺区岩谷堂字根岸101
TEL 0197-35-5753 FAX0197-35-3249
Eメール negishi@pup.waiwai-net.ne.jp

第2章 本論

2-1 切り粉の再溶解技術

2-1-1 キュボラによる再溶解

1) 試験の概要

キュボラ溶解での鉄原にブリケット配合割合を10%、20%、30%、50%、60%と配合し、それぞれの配合割合の溶湯をチル試験片、発光分光分析鑄型、引張り試験鑄型に、無接種、キャスロン接種剤を0.2%、0.4%接種処理した溶湯を鑄造して以下項目の調査を行った。

2) 試験項目

- イ) チル試験 全チル、クリアチル深さ
- ロ) 化学成分分析試験 主要5元素、合金元素、不純物元素
- ハ) 機械的性質試験 引張り強さ (N/mm^2)、成熟度 (RG)、ブリネル硬さ (HB)、比較硬さ (RH)

3) 試験方法

キュボラ溶解での鉄原にブリケット配合割合を10%、20%、30%、50%、60%と配合し、それぞれの配合割合の溶湯を取鍋に受ける時点で無接種、キャスロン接種剤0.2%、0.4%接種処理をし、その溶湯をチル試験片、発光分光分析用金型、引張り試験用 $\phi 30$ 丸棒に鑄造し、試験を行った。

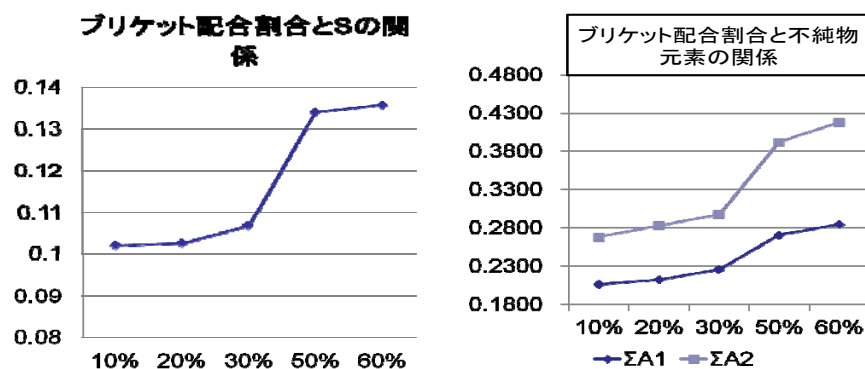


4) 試験結果

イ) チル深さ

ブリケットの増量によつてのチルの大きな変化は見られなかった。

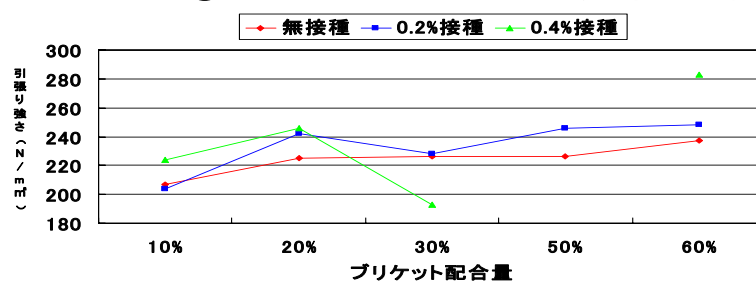
ロ) 化学成分



ブリケット配合割合の増量に合わせてSと不純物元素ΣA1、ΣA2の増加が見られる。

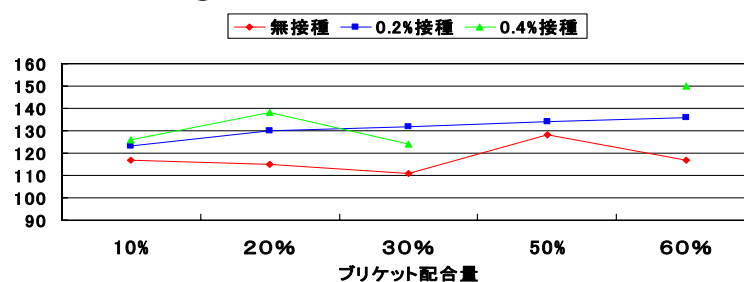
ハ) 機械的性質 (※50%配合の0.4%接種 TPは巣欠陥がありデータ取りできず。)

①ブリケット配合割合と引張り強さの関係



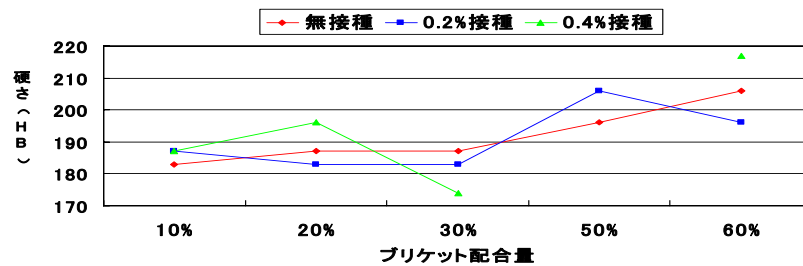
配合割合増加に合わせて引張り強さも向上する傾向にある。

②ブリケット配合割合と成熟度の関係



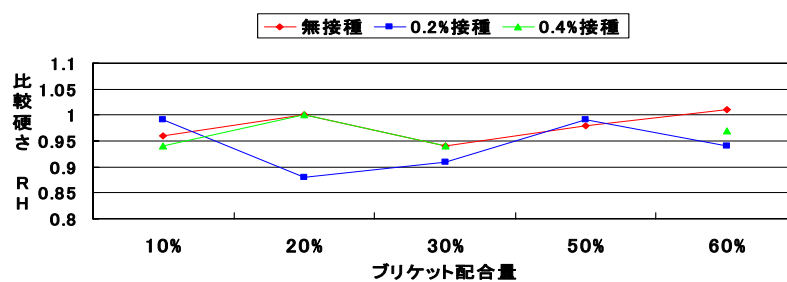
配合割合増加に合わせて成熟度も向上する傾向にある。

③ブリケット配合割合とブリネル硬さの関係



配合割合増加に合わせて硬さも増す傾向にある。

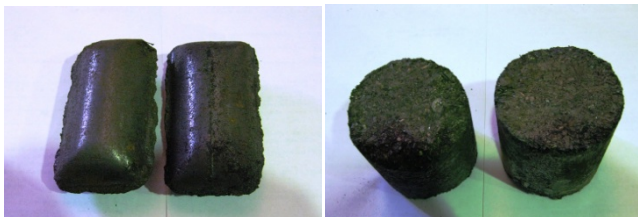
④ブリケット配合割合と比較硬さの関係



接種処理を行うことにより比較硬さは1以下になる。

2-1-2 高周波誘導炉による再溶解

①基礎試験



乾式ブリケット

湿式ブリケット

1) 乾式ブリケットの再溶解

1、試験の概要

溶解原料として乾式ブリケット、銑鉄、鋼屑の配合割合を変えて配合し、岩手大学工学部 附属鑄造技術研究センター水沢サテライトの高周波誘導炉で溶解し、以下項目を調査した。

2、試験項目

イ) 歩留まり試験 溶解歩留まり

ロ) チル試験 全チル、クリアチル深さ

ハ) 化学成分分析 主要5元素、合金元素、不純物元素

ニ) 機械的性質試験 引張り強さ (N/mm²)、成熟度 (RG)、ブリネル硬さ (HB)、比較硬さ (RH)

ホ) 溶解時間 溶解温度までの時間

ハ) 溶解作業性 原料装入、溶解作業、ノロ取り作業の三作業で比較。

3、試験方法

溶解原料を黒鉛坩堝に、銑鉄100%、ブリケット10%~50%他は銑鉄での配合の5溶解をそれぞれ1480℃まで昇温溶解し、無接種（元湯）を各鋳型に鋳造し、その後接種剤（キャスロン）0.2%で接種処理し、再度各鋳型に鋳造して測定をした。溶解時間と作業性を調査するため鋼屑配合も1溶解行った。

4、試験結果

イ) 歩留まり試験

ブリケット配合割合が増すと溶解歩留まりが低下する。

ロ) チル試験

ブリケット配合割合が増すとチル深さが増す。

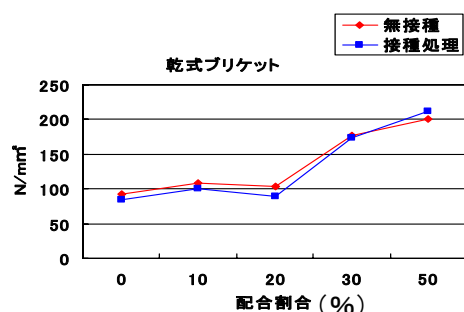
ハ) 化学成分

ブリケット配合割合とSの関係…配合割合増加とともにS量が増加。

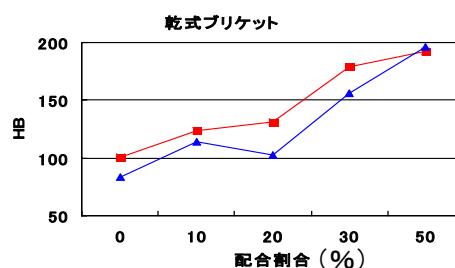
ブリケット配合割合とΣA1、ΣA2の関係…配合割合増加とともにΣA2が増加。

二) 機械的性質

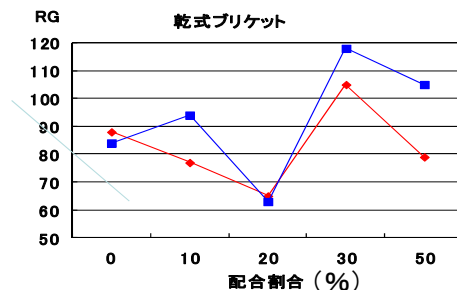
ブリケット配合割合と引張り強さの関係



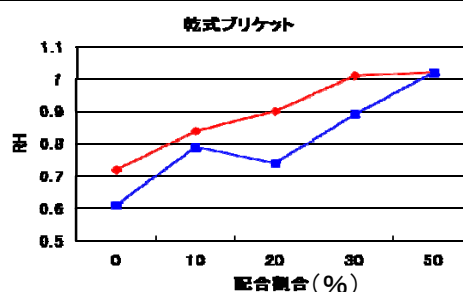
ブリケット配合割合と硬さの関係



ブリケット配合割合と成熟度の関係



ブリケット配合割合と比較硬さの関係



ホ) 溶解時間

ブリケット配合割合が増すに従って溶解時間が長くなる傾向にある。

ただし鋼屑をサンドイッチ状に配合装入すると溶解時間の短縮が計られる。

へ) 溶解作業性

ブリケット配合割合が増すと浮き上がりが発生しノロも多く発生し作業がしづらくなってくる。

ただし鋼屑をサンドイッチ状に配合装入すると浮き上がりもなく作業性が良くなる。

2) 湿式ブリケットの再溶解

1、試験の概要

乾式ブリケットと同様

2、試験項目

乾式ブリケットと同様

3、試験方法

溶解原料を黒鉛坩堝にブリケット10%~50%で他は銑鉄配合での4回溶解を行い、以下は乾式ブリケットと同様の方法で鑄造し測定した。溶解時間と作業性を調査するため鋼屑配合も1溶解行った。

4、試験結果

イ) 歩留まり試験

ブリケット配合割合が増すと溶解歩留まりが低下する。

ロ) チル試験

ブリケットの配合割合が増すとチル深さが増す。

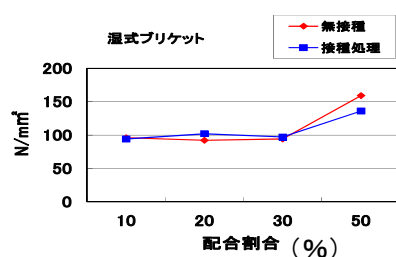
ハ) 化学成分分析

ブリケット配合割合とSの関係…配合割合増加とともにS量が増加。

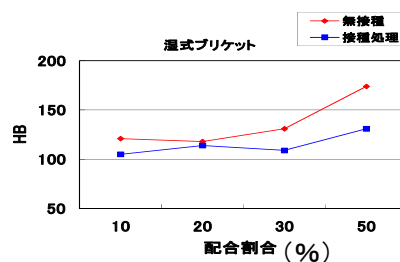
ブリケット配合割合とΣA1、ΣA2の関係…配合割合増加とともにΣA2が増加。

二) 機械的性質

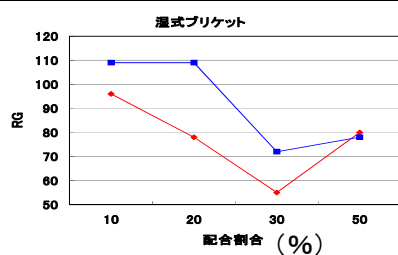
ブリケット配合割合と引張り強さの関係



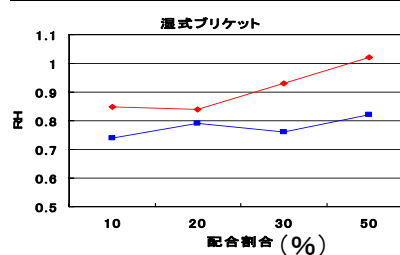
ブリケット配合割合と硬さの関係



ブリケット配合割合と成熟度の関係



ブリケット配合割合と比較硬さの関係



ホ) 溶解時間

ブリケット配合割合が増すに従って溶解時間が長くなる傾向が見られる。
ただし鋼屑をサンドイッチ状に配合装入すると溶解時間が短縮される。

ハ) 溶解作業性

配合割合が増すと浮き上がりが発生しノロも多く発生し作業がしづらくなる。
ただしサンドイッチ状に配合装入すると浮き上がりもなく作業性が良くなる。
作業環境面では湿式ブリケットの方が配合割合増加とともに白煙の発生割合が多くなっていく。



②250kw高周波誘導炉による切り粉の再溶解

1) 試験の概要

岩手大学工学部附属鑄造技術センター、水沢サテライトでのブリケット溶解基礎試験の結果、浮き上がりが発生し、250kw高周波誘導炉でのブリケットの再溶解は困難であると判断し、切り粉（自社発生産品）での再溶解とし、切り粉配合割合を段階的に10%～35%まで増量し、以下の項目を調査した。（基礎試験の結果から実操業での状態確認のため、湿式での切り粉で試験を行った。）

2) 試験項目

- イ) 歩留まり試験 溶解歩留まり
- ロ) チル試験 全チル、クリアチル深さ
- ハ) 化学成分分析 主要5元素、合金元素、不純物元素
- ニ) 機械的性質試験 引張り強さ (N/mm²)、成熟度 (RG)、ブリネル硬さ (HB)、比較硬さ (RH)
- ホ) 溶解時間 溶解温度、目標成分までの時間
- ヘ) 溶解作業性 原料装入、溶解作業、ノロ取り作業の三作業で比較。
- ト) 電力原単位 溶解電力量で算出

3、試験方法

溶解原料、切り粉、鋼屑、戻り材を250kw高周波誘導炉に配合割合毎に装入し、溶解温度1500℃、FC200成分まで調整、溶解後出湯（取鍋受湯）時キャスロン接種剤で0.2%接種処理し、各鑄型に鑄造して測定した。



4、試験結果

イ) 歩留まり試験

切り粉配合割合増量によつての溶解歩留まりの変化は見られない。

ロ) チル試験

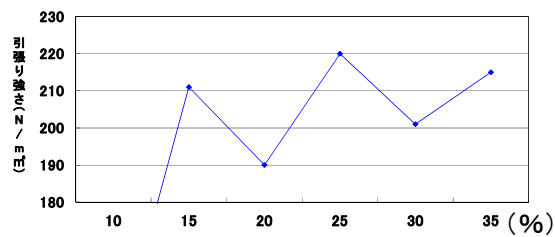
切り粉の配合割合増量にあわせてチル深さが深くなる傾向にある。

ハ) 化学成分

切り粉配合割合増量にあわせて化学成分の大きな変化は見られない。

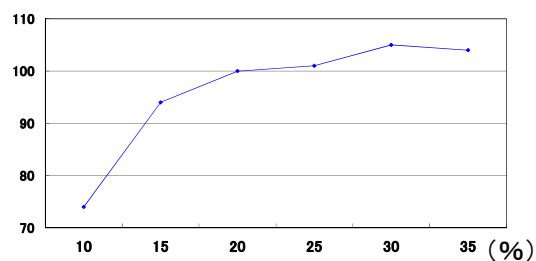
二) 機械的性質

切り粉配合割合と引張り強さの関係

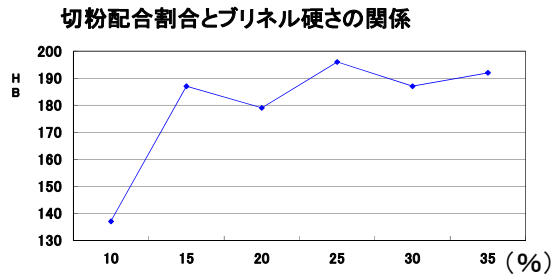


配合割合増量によつての引張り強さの傾向は見られない。

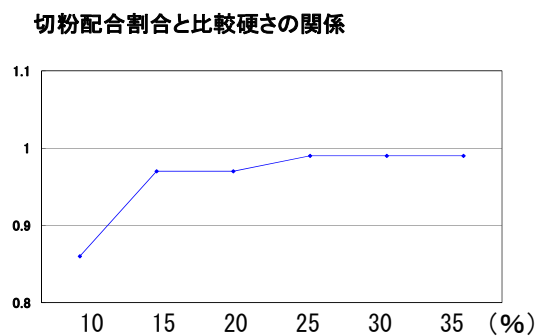
切り粉配合割合と成熟度の関係



配合割合増量によつて成熟度は向上する傾向が見られる。



配合割合10%を除き増量によって硬さの大きな変化は見られない。



配合割合10%を除き増量によっての比較硬さの大きな変化は見られない。

ホ) 溶解時間

切り粉20%配合では成分調整のため時間が長くなったが、増量によっての溶解時間に大きな変化は見られない。

ハ) 溶解作業性

現在の溶解電力量からすると切り粉配合割合20%が最適と思われる。

ト) 電力原単位

切り粉配合割合によっての電力原単位の傾向的变化は見られない。

切り粉の再溶解 まとめ

1、キューボラによる再溶解

目標50%に対し60%まで配合溶解を実施した。材質的にはFC200の配合でブリケット60%配合迄の中で、ほぼ規格を満足しておりFC250配合溶解でも可能であると思われる。

2、高周波誘導炉による再溶解

目標10%に対し35%まで配合溶解を実施した。作業面また白煙による環境面等から配合量20%程度が最適と思われる。

2-1-3 接種の高度化

1) 試験の概要

キューポラ溶解での鉄原にブリケット配合割合を段階的に増量し、その溶湯に接種剤キャスロンの添加量 0.2%、0.4%と接種処理し各鋳型に鋳造し、それぞれの溶湯の性状調査を行った。なお事前に社内での実操業を想定し項目を絞り込んでの試験とした。

2) 試験項目

イ) チル試験 全チル、クリアチル深さ

ロ) 化学成分分析 主要 5 元素、合金元素、不純物元素

ハ) 機械的性質試験 引張り強さ (N/mm²)、成熟度 (RG)、ブリネル硬さ (HB)、比較硬さ (RH)

3) 試験方法

キューポラ溶解でブリケット配合割合 10%~60%と割合を変え、それぞれの割合の溶湯にキャスロン接種剤 0.2%と 0.4%の添加量での接種処理をし各鋳型に鋳造をする。また 60%ブリケット配合割合の溶湯に CaSi 接種剤 0.4%添加処理をし各試料に鋳造して、それぞれの試験項目について調査比較した。(社内の実操業を想定し、絞り込んで試験をした。)

4) 試験結果

イ) チル試験

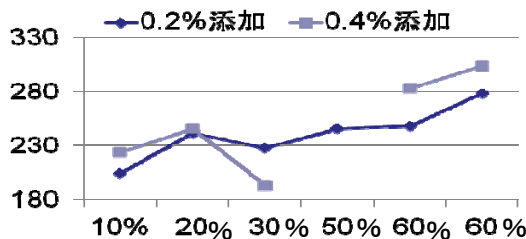
接種剤の添加量を増すとチル深さは減少する。

ロ) 化学成分

接種剤の添加量を増すとΣIの値が高くなる。

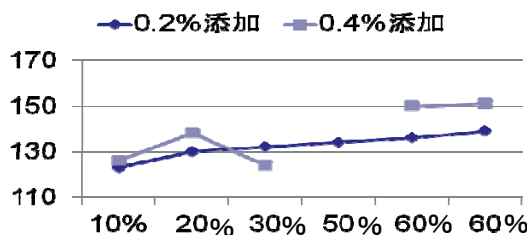
ハ) 機械的性質 (50%配合の 0.4%接種 TP は巣欠陥がありデータ取りできず。)

接種剤の添加量と引張り強さの関係



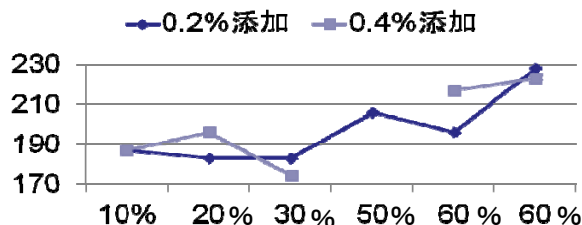
添加量が増すと引張り強さが増加傾向になる。
FC200の配合溶解の中でほぼ規格を満足する結果になった。

接種剤添加量と成熟度の関係

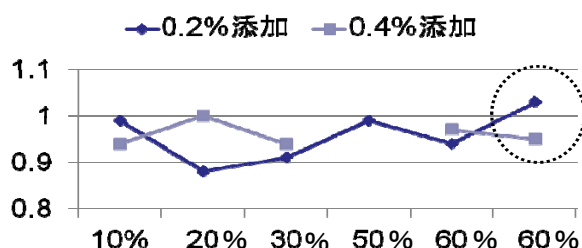


添加量が増すと成熟度も向上傾向になる。

接種剤の添加量と硬さの関係



接種剤の添加量と比較硬さの関係



CaSi接種剤の方が比較硬さが低下する。

2-1-4 再溶解した溶湯の性状評価

1) キュボラで再溶解した溶湯の性状評価

- イ)ブリケット配合割合の増量に合わせてSと微量元素ΣA1、ΣA2の増加が見られる。
- ロ)ブリケット配合割合の増量に合わせて引張り強さ、成熟度が向上する傾向にある。
- ハ)接種剤の添加量を増すと引張り強さ、成熟度が向上傾向にある。またアルカリ土類接種剤の方が比較硬さが低下する。
- 二)実体製品での調査はMn添加のブリケット60%配合で調査することとした。

2) 高周波誘導炉で再溶解した溶湯の性状評価

- イ)切り粉配合割合の増量に合わせてチル深さが深くなる傾向にある。
- ロ)切り粉配合割合の増量に合わせて成熟度が向上する傾向にある。

2-2 切り粉の再溶解技術に資する高 Mn 鋳鉄の高強度化技術

2-2-1 高 Mn 鋳鉄の製造

①キュボラによる高 Mn 鋳鉄の製造

1) 試験の概要

ベース溶湯（ブリケット配合0%）にキャスロン0.2%接種と Mn 添加溶湯（ブリケット配合60%）に CaSi0.4%接種を各鋳型および実体製品に鋳造し、引張り強度の20%向上を目標に溶湯の性状、実体強度、顕微鏡組織、機械加工性の比較調査を行った。

2) 試験項目

イ) チル試験 全チル、クリアチル

ロ) 化学成分分析 主要5元素、合金元素、不純物元素

ハ) 機械的性質試験 引張り強さ (N/mm^2)、成熟度 (RG)、ブリネル硬さ (HB)、比較硬さ (RH)

ニ) 実体強度 XV カバー100、5110コネクター、45° LB21/2継ぎ手の実体引張り強さ (N/mm^2)、硬さ (HB)

ホ) 顕微鏡組織 引張り試験棒、実体製品の顕微鏡組織

ヘ) 機械加工性 NC 旋盤 (QTN300) の主軸負荷値 (kw)



3) 試験方法

キュボラ溶解でブリケット配合0%で FC200 配合溶湯を各試験片および実体強度測定製品、機械加工性確認製品に鋳造し調査を行う。また同じキュボラ溶解でブリケット配合60%で FC200 配合に炉頂より Mn 含有量 1.5%目標に添加した溶湯を各鋳型および実体強度測定製品、機械加工性確認製品に鋳造し、調査を行って比較し強度向上確認を行った。

イ) チル試験 チル試験片（シェル型）に鋳造してチル深さを測定した。

ロ) 化学成分分析 発光分光分析用金型に鋳造して化学成分分析を行った。

ハ) 機械的性質試験 引張り試験用 $\Phi 30$ および $\Phi 14$ 丸棒に鋳造して測定した。

ニ) 実体強度 XV カバー100、5110コネクター、45° LB21/2継ぎ手に鋳造して切りだし引張り8号試験片8B、8A、平型4*10に加工して測定した。

ホ) 顕微鏡組織 引張り試験片から切りだして観察した。

ヘ) 機械加工性 $\Phi 260$ コーナープーリーに鋳造し、NC 旋盤 (QTN300) で溝入れ加工し、その時の主軸負荷値を測定した。

4) 試験結果

イ) チル深さ

高Mn溶湯の方がチル深さが増す。

ロ) 化学成分

高Mn溶湯の方がS、ΣA1、ΣA2が高くなる。

ハ) 機械的性質

Φ30TPで25%の強度向上で成熟度も大きく向上した。

二) 実体強度

実体製品		XVカバ-100		5110コネクター		45° LB2・1/2	
		引張り強さ N/mm ²	硬さ HB	引張り強さ N/mm ²	硬さ HB	引張り強さ N/mm ²	硬さ HB
区分	ベース溶湯	227	179	231	192	285	200
	高Mn溶湯	296	241	308	241	327	224
強度向上率		30%		33%		15%	

XVカバ-100、5110コネクターは目標の20%向上を達成できた

ホ) 顕微鏡組織

各試料とも高Mn溶湯の方が黒鉛面積率が減少し、フェライトが消えパーライトが微細になっている。

ヘ) 機械加工性

Φ260コーナプーリーの溝切り加工時の主軸負荷値で比較を行う。

a) 比較対象製品 Φ260 コーナプーリー

b) 使用加工マシン NC 旋盤 QTN300

c) 加工条件 周速120m/min、送り0.15mm/rcv、切込量1.5mm

d) 使用工具 鋳物用超硬チップ(GDM6020N-040GM、材質PP-1215京セラ)

e) 加工部位寸法 外径Φ260、溝深さ20mm、チップ溝幅6mm

Mn含有量と主軸負荷値の関係

Mn含有量の増加とともに主軸負荷値は上昇する傾向にある。

②250kw高周波誘導炉による高Mn 鋳鉄の製造

1) 試験の概要

ベース溶湯(切り粉配合0%)にキャスロン0.2%接種とMn添加溶湯(切り粉配合20%)にCaSi0.4%接種を各試験片および実体製品に鋳造し、引張り強度の20%向上を目標に溶湯の性状、実体強度、顕微鏡組織、機械加工性の比較調査を行った。

2) 試験項目

- イ) チル試験 全チル、クリアチル深さ
- ロ) 化学成分分析 主要5元素、合金元素、不純物元素
- ハ) 機械的性質試験 引張り強さ(N/mm²)、成熟度(RG)、ブリネル硬さ(HB)、比較硬さ(RH)
- ニ) 実体強度 XVカバー100、5110コネクター、45°LB21/2継ぎ手の実体引張り強さ(N/mm²)、硬さ(HB)
- ホ) 顕微鏡組織 引張り試験棒、実体製品の顕微鏡組織
- ヘ) 機械加工性 NC旋盤(QTN300)の主軸負荷値(kw)

3) 試験方法

250kw高周波誘導炉溶解で切り粉配合0%でFC200配合溶湯を各試験片および実体強度測定製品、機械加工性確認製品に鋳造し調査を行う。また同じ誘導炉溶解にて切り粉配合20%でFC200配合溶湯にMn1.5%および2.0%を目標に添加した溶湯を各鋳型および実体強度測定製品、機械加工性確認製品に鋳造し、調査を行って比較し強度向上確認を行った。

- イ) チル試験 チル試験片(シェル型)に鋳造してチル深さを測定した。
- ロ) 化学成分分析 発光分光分析用金型に鋳造して化学成分分析を行った。
- ハ) 機械的性質試験 引張り試験用Φ30およびΦ14丸棒に鋳造して測定した。
- ニ) 実体強度 XVカバー100、5110コネクター、45°LB21/2継ぎ手に鋳造して切りだし、引張り8号試験片8B、8A、平型4*10に加工して測定した。
- ホ) 顕微鏡組織 引張り試験片から切りだして観察した。
- ヘ) 機械加工性 Φ260コーナープーリーに鋳造し、NC旋盤(QTN300)で溝入れ加工し、その時の主軸負荷値を測定した。



4) 試験結果

イ) チル深さ

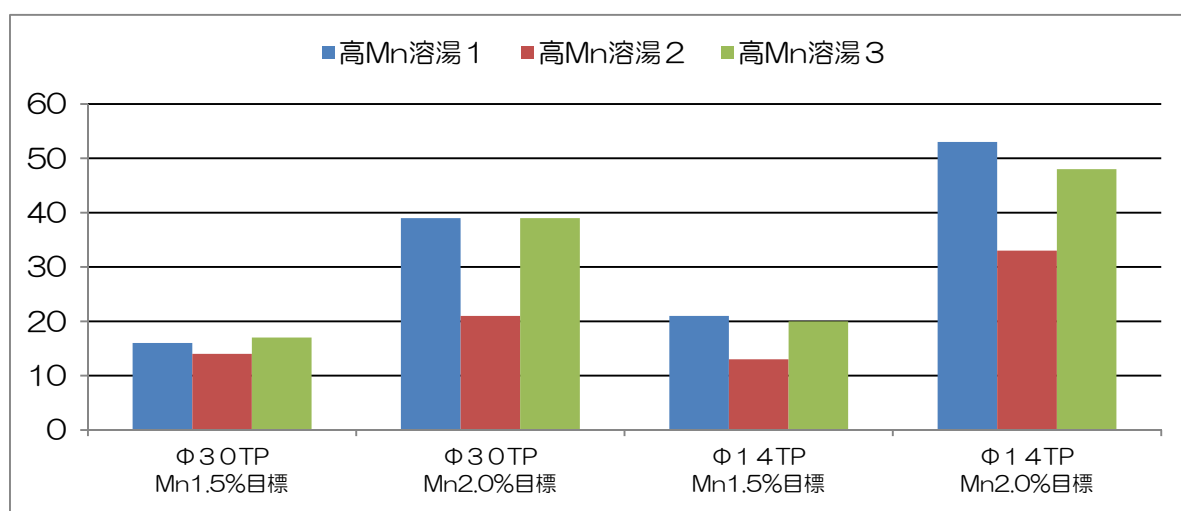
Mnの含有量の増加に合わせてチル深さが増す傾向にある。

□) 化学成分

高 Mn 溶湯の方が P、S、ΣA1、ΣA2 が高くなる。

ハ) 機械的性質

Mn 値		Φ30TP					Φ14TP	
		引張り強さ (N/mm ²)	強度向上率	成熟度 (RG)	ブリネル硬 さ (RH)	比較硬さ (RH)	引張り強さ (N/mm ²)	強度向上率
ベース溶湯		251	—	115	201	0.94	326	—
高 Mn 溶湯 1	1.51%	291	16%	126	212	0.93	393	21%
	1.9%	349	39%	146	241	0.95	499	53%
高 Mn 溶湯 2	1.52%	286	14%	128	228	1.01	367	13%
	1.8%	304	21%	135	235	1.00	432	33%
高 Mn 溶湯 3	1.51%	293	17%	125	212	0.93	395	20%
	1.95%	350	39%	148	248	0.98	482	48%

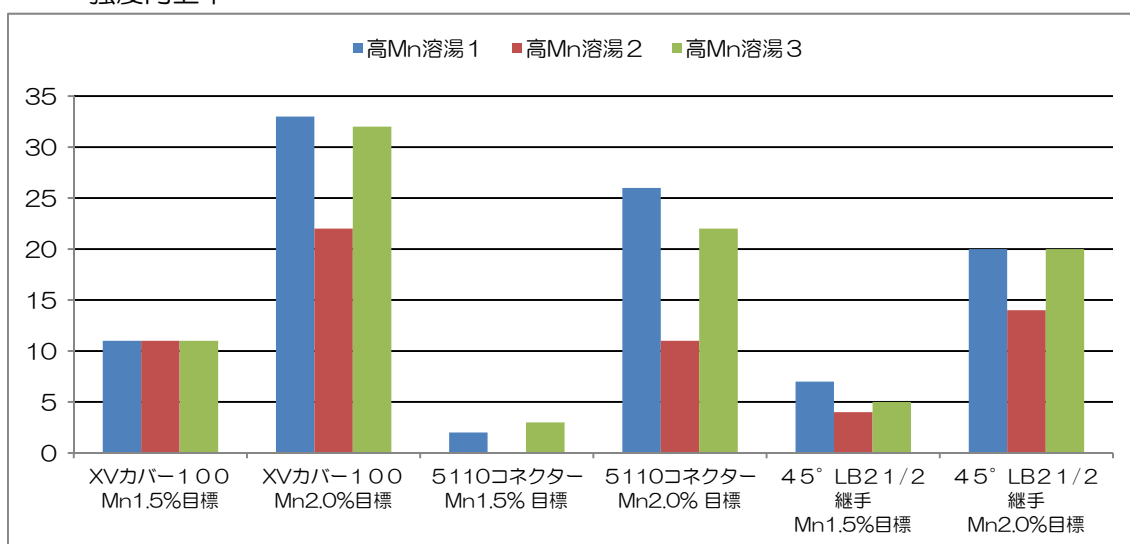


Φ30TP では 3 試料とも Mn2.0%目標で 20%の強度向上ができた。また Mn2.0%目標の方が強度向上割合が高くなっている。

二) 実体強度

		Mn 値	XV カバー 100			5110 コネクター			45° LB2 1/2 継ぎ手		
			引張り強さ (N/mm ²)	強度向上 率	ブリネル 硬さ (HB)	引張り強 さ (N/m m ²)	強度向上 率	ブリネル 硬さ (HB)	引張り強さ (N/mm ²)	強度向上率	ブリネル 硬さ (HB)
ベース溶湯			263	—	187	277	—	196	313	—	198
高 Mn 溶湯 1	1.51		291	11%	212	282	2%	241	334	7%	249
	1.9		351	33	228	350	26	269	377	20%	283
高 Mn 溶湯 2	1.52		286	11%	206	278	0	235	326	4%	245
	1.8		320	22%	228	308	11%	248	358	14%	268
高 Mn 溶湯 3	1.51		293	11%	212	286	3%	238	330	5%	246
	1.93		348	32	235	338	22%	254	375	20%	282

強度向上率



Mn 含有量の多い方が強度向上率が高くなっている。

ホ) 顕微鏡組織

各試料とも高Mn 溶湯の方が黒鉛面積率が減少し、フェライトが消え、パーライトが微細になっている。

ハ) 機械加工性

Φ260 コーナプーリーの溝切り加工時の主軸負荷値で比較を行う。

a) 比較対象製品 Φ260 コーナプーリー

b) 使用加工マシン NC 旋盤 QTN300

c) 加工条件 周速120m/min、送り0.15mm/rcv、切込量1.5mm

d) 使用工具 鋳物用超硬チップ (GDM6020N-040GM、材質 PP-1215 京セラ)

e) 加工部位寸法 外径Φ260、溝深さ20mm、チップ溝幅6mm

Mn含有量と主軸負荷値の関係

Mn増加とともに負荷値は大きくなる傾向にある。

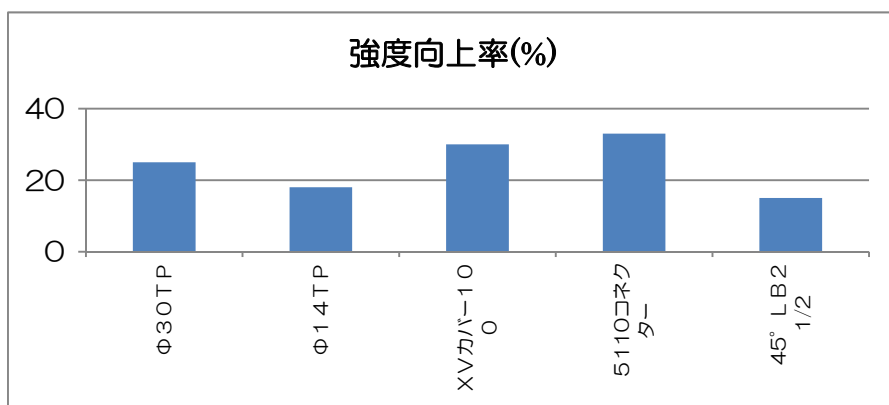
2-2-2 高強度製品の製造

実体製品XVカバー100、5110コネクタ、45°LB21/2は高Mn鉄の製造時に合わせて製造した。

2-2-3 試作した高強度製品の評価

①キューボウによる高強度製品（n=1）

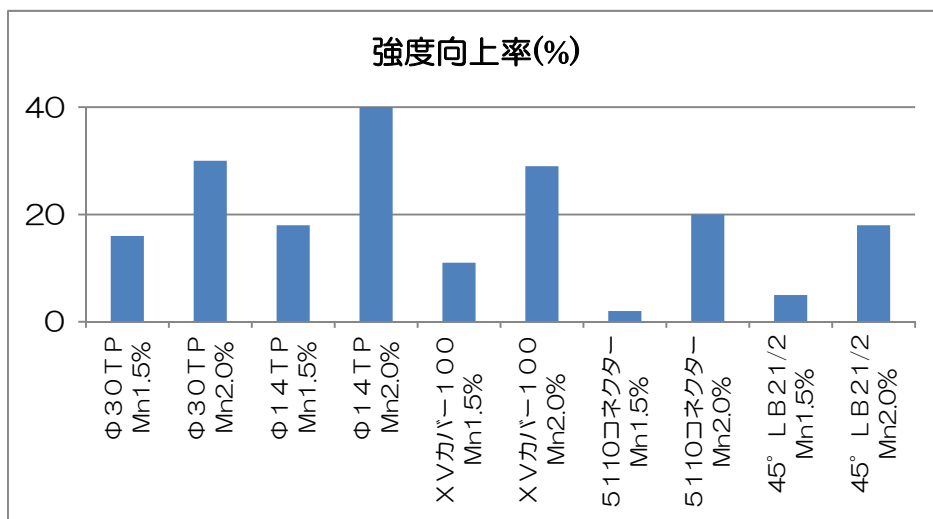
強度向上目標 20%



Φ30TPおよびXVカバー100、5110コネクタにおいては目標の20%を達成できたがΦ14TPおよび45°LB21/2では未達であった。

②高周波誘導炉による高強度製品（n=3）

強度向上目標 20%



Mn2.0%目標でΦ30、Φ14TPおよびXVカバー100、5110コネクタにおいては、目標の20%を達成できたが45°LB21/2では未達であった。またMn1.5%目標よりも2.0%目標の方が全てにおいて強度が向上している。

※なお、高強度製品の耐圧、耐久試験等については方法等について今後協議を進めていく。

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果（まとめ）

3-1-1 切り粉の再溶解技術

（1）キュボラによる切り粉の再溶解

目標 現状10%を50%まで増量する。

実績 60%まで増量。FC200配合で実施しJIS規格をほぼ満足した。その結果からFC250配合でもJIS規格を満足させることが可能と考えられる。

（2）高周波誘導炉による切り粉の再溶解

目標 10%まで増量する

実績 35%まで増量。作業性、作業環境等から20%程度が最適と思われる。

3-1-2 切り粉の再溶解技術に資する高Mn鋳鉄の高度化技術

（1）キュボラによる高Mn鋳鉄の製造（Mn1.5%目標で）

目標 実体強度の20%向上

実績	Φ30テストピース	・・・25%向上
	Φ14テストピース	・・・18%
	XVカバー100（バルブ）	・・・30%
	5110コネクター（建設機械）	・・・33%
	45°LB21/2（継手）	・・・15%

Φ14テストピース、45°LB21/2は未達であった。※

（2）高周波誘導炉による高Mn鋳鉄の製造（Mn2.0%目標で）

目標 実体強度の20%向上

実績	Φ30テストピース	・・・30%向上
	Φ14テストピース	・・・45%
	XVカバー100（バルブ）	・・・29%
	5110コネクター（建設機械）	・・・20%
	45°LB21/2（継手）	・・・18%

45°LB21/2は未達であった。※

※キュボラおよび高周波誘導炉による高Mn鋳鉄の製造での実体強度20%向上未達要因として薄肉製品は冷却速度が速いため、ベース溶湯段階ですでにかなりの強度向上となっており、Mn添加によつての強度向上が肉厚製品より低くなる。またMn含有量の差による影響もあると考えられる。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

3-2-1 研究開発推進会議における意見交換のポイント

(1) 第1回研究開発推進会議（平成23年6月17日）

研究開発に関する事業概要および中間報告に対して、アドバイザーから出された主な意見は以下のとおり。

- ①実験時の条件（環境・設備など）について
 - ・キューボラ溶解時の温度管理が重要
 - ・炉前における湯だまりの管理なども重要
- ②切り粉・ブリケットの状態による影響について
 - ・湿式（ホット）・乾式（コールド）ごとの溶解状況の把握が必要
- ③実験結果に関する評価について
 - ・溶解歩留まりの把握とその向上に向けた技術向上が重要
 - ・高Mn 鋳鉄の硬さと切削性の重視が必要
 - ・高Mn の場合、成分元素レベルの解析にも留意すべき
- ④事業化・実用化に向けた検討項目について
 - ・湿式・乾式など切り粉・ブリケットの状態を問わず、安定的な溶解の実現が必要となることから、試験段階から操業技術の向上を目指すことが不可欠
 - ・製品の品質の安定化は不可欠であり、切り粉・ブリケットの状態と成分元素など評価結果との関係を整理・仕分けし、品質のバラツキ防止に留意することが重要

(2) 第2回研究開発推進会議（平成23年11月21日）

研究開発の進捗状況および評価方法に対して、アドバイザーから出された主な意見は以下のとおり。

- ①実験結果に関する評価について
 - ・キューボラでの再溶解は、ベッドコークスの高さなど高温溶解の状態を維持することが重要
 - ・6月時点の検討項目を大幅に克服して、実体製品の高強度化について、目標をほぼ達成していることは高く評価
 - ・薄肉製品の一部で目標にわずかに達していないが、「型バラシ」の時間管理など操業技術面からの検証と今後の研究継続が必要
 - ・高Mn 鋳鉄は、高周波電気炉では目標を達成できていることから、今後は、キューボラ溶解時のMn 含有量のさらなる歩留まり向上のための操業技術に注目が必要
- ②事業化に向けた課題について
 - ・厚肉製品への応用の可能性が検証できたが、今後の鋳造製品の需要を考慮した場合、薄肉製品に関する技術の安定性が課題
 - ・湿式（ホット）・乾式（コールド）のどちらにしても出所を含めて、状態管理と安定化が必要であり、品質向上には不可欠
 - ・切り粉状態での実験結果は評価が高い一方で、ブリケットのからブリケットの加工過程にも目が行き届くよう自社内での加工を検討することが品質管理にとって重要

3-2-2 研究開発後の課題

(1) 製品における強度の確保と向上

切り粉の再溶解技術に関して、前述の研究成果をもとに、以下の製品について、

強度の向上により、目標達成を目指す。

なお、東日本大震災を契機とする住宅設備用鋳造製品の高強度化と軽量化への需要拡大とともに、産業機械用・建設機械用における環境対策への対応を行う。

① 45° LB21/2（継手）の強度確保

実験結果（キュポラ溶解：15%/高周波誘導炉：18%）の目標（それぞれ20%）の達成

② 5110コネクター（建設機械）の強度向上

実験結果（高周波誘導炉：20%）のさらなる強度向上

（2）高周波誘導炉における切り粉配合率のさらなる向上

業界内の競争力の向上を目指して、高周波誘導炉における切り粉配合率（目標：20%）のさらなる向上および操業安定化のための技術向上を実現する。

3-2-3 事業化展開の目標

（1）製品の事業化展開

製品の事業化展開のため、XVカバー100（バルブ）など目標を達成した製品について、アドバイザー企業および取引先メーカーにおける実体強度の検証・評価を通じて、事業化展開を目指す。

なお、上記の製品についても、強度の目標を達成した時点で、順次、実体強度の検証・評価に移行し、事業化を進める。

（2）高周波誘導炉における切り粉配合率のさらなる向上

操業安定化のための技術向上を通じて、高周波誘導炉における切り粉配合率のさらなる向上と事業化展開を進める。

3-2-4 課題解決および事業化展開のスケジュール（目標）

課題・事業化項目	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	備考
① 45° LB21/2	目標強度確保	実体強度の実証・評価		住宅設備用鋳造品への応用
② 5110コネクター	目標強度向上	実体強度の実証・評価		
③ 切り粉配合率の向上	操業安定化の技術向上と配合率向上			
④ 目標達成の製品 （XVカバー100）	実体強度の実証・評価→事業化			新製品への応用および製品提案を継続

【専門用語等の説明】

鑄鉄： 炭素量 2%以上の鉄と炭素との合金で、炭素量 2%以下の鋼と異なり、2%以上の余分の炭素は黒鉛として現れ、黒鉛の形で片状黒鉛鑄鉄（ねずみ鑄鉄）と球状黒鉛鑄鉄に分かれる。我が国では約 580 万 t/年生産され、その 55%は自動車用として用いられている。

高マンガン鋼： 自動車の車体用に開発されたマンガン（Mn）を多く含んだ鉄鋼材料。この材料の鑄鉄へのリサイクルが難しく、近年問題となってきた。

銑鉄： 鑄鉄の溶解原料となる鉄源で、高炉メーカーが製造して鑄物業に供給している。

キューポラ：鑄鉄の溶解炉で、コークスを燃料とし、炉体の横から空気を吹き込んでコークスを加熱・溶解し、この溶解熱で銑鉄や鋼屑等の溶解原料を溶解する炉。

高周波電気炉：溶解源材料に電磁誘導で発生した電流を流すことにより、溶解原材料の抵抗熱を利用して溶解する炉。アーク式電気炉は黒鉛電極からのアーク放電を熱源とした電気炉。

接種： 鑄鉄のチル化を抑制し、機械的性質を改善するために Ca-Si（カルシウムシリコン）合金、Fe-Si（フェロシリコン）合金等を鑄込み直前の鑄鉄溶湯に少量添加する溶湯処理法。

チル化： 鑄鉄を薄肉化すると冷却速度が大きくなり、凝固に際して炭素が黒鉛として晶出できず、セメントタイトと呼ばれる炭化物として晶出し、著しく脆弱化する現象。

注湯流接種：鑄型に鑄鉄溶湯を注入する際に、湯口に注がれる鑄鉄溶湯に粉末状の接種剤を振りかけて接種する方法。

インモールド接種：鑄型内の湯口底のフィルター上に塊状の接種剤を置き、溶湯を注入して接種する方法。