

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「重電機器用鋳鋼品の 高品質化のための技術開発」

研究開発成果等報告書

平成23年 9月

委託者 関東経済産業局

委託先 日本鑄造株式会社

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	p.1
1-2 研究体制	p.4
1-3 成果概要	p.6
1-4 当該研究開発の関連窓口	p.7
第2章 重電機器用鑄鋼品の高品質化のための技術開発	
2-1 ハイブリッド二次精錬炉の設備仕様決定	p.8
2-2 ハイブリッド二次精錬炉の設計・製作	p.8
2-3 真空中における不純物の除去試験	p.9
2-4 重電機器用鑄鋼品の試作	p.9
2-5 試作品の品質調査・解体調査	p.10
2-6 今後の製造方法設定	p.18
第3章 総括	
3-1 研究開発成果	p.18
3-2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況	p.19
3-3 今後の事業化に向けた取り組み	p.19

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

1-1-1 研究開発の背景

本研究開発は、「中小企業の特定期間のづくり基盤技術の高度化に関する指針」のうち、以下の項目に対応した研究開発である。

(十) 鑄造に係る技術に関する事項

1 鑄造に係る技術において達成すべき高度化目標

・川下製造業者等の抱える課題とニーズ

(4) 重電機器・環境機器に関する事項

カ. 低コスト化 キ. 短納期化

● 背景

我が国は世界の中で有数の重電機器製造技術を持ち、発電所・発電機の製造を担っている。それら重電機器に多く使われている鑄鋼品は当社を始め国内の中小企業である鑄鋼メーカーが製造している。近年、資源の節約と炭酸ガスによる地球温暖化等の環境への負荷低減の観点から発電機の効率向上を目的としたタービンの高温・高圧化が進んでいる。そのため、我々鑄鋼メーカーへも高温強度の高い合金材質で形状の複雑な重電機器用鑄鋼品の高品質化ニーズが高まっている。

● 研究開発動向

本事業では中型(25t規模)で低投資額・低ランニングコストで操業できる“ハイブリッド二次精錬炉”(ハイブリッド/既存保持炉に真空精錬機能を付加する)の開発を行い、当該炉を用いて重電機器用鑄鋼品の高品質化のための技術開発を行う。

高品質鑄鋼品をつくり込むための重要なプロセスに溶鋼中不純物を除去する二次精錬技術がある。大手鉄鋼メーカーや特殊鋼メーカーではアーケル炉や転炉の一次精錬に加え、二次精錬炉(RH法やタンク式脱ガス法)を使用し鋼の清浄化を図っているが、それらの設備は莫大な投資や巨大なスペースが必要で中小の鑄鋼メーカーでは設置出来ない。

又、高温強度の高い合金材質で複雑な形状の重電機器用鑄鋼品を製造する場合、溶鋼に含まれる不純物に起因する欠陥が発生する。

当社の8t規模の実績では、二次精錬を適用しなかった場合は、溶解で5～6ppmであった水素ガス濃度が取鍋への出鋼や製品凝固時の濃化作用によりガス欠陥領域に達し、ミクロボロシテイが発生する。結果として、この欠陥補修に多くの労力と時間を要しており、コスト、納期を圧迫しているのが実情である。一方、二次精錬を適用した場合は、水素ガス濃度が低減し、製品でもガス欠陥発生領域まで水素ガス濃度は到達せず、欠陥は発生しない。

1-1-2 研究の目的及び目標

発電機の効率向上を目的としたタービンの高温高圧化が進んでおり、重電機器用鋳鋼品にも高い高温強度と合金材質の高品質化が求められている。そのため、溶鋼の不純物除去を行う二次精錬の技術開発は、重電機器用鋳鋼品の高品質化に対し非常に重要である。

●本研究の目的は中小企業でも設置可能である保持炉に真空精錬機能を付加するハイブリッド二次精錬炉の開発を行い、重電機器用鋳鋼品の製造に適用することで、低コスト化と短納期化を達成することである。

●研究の目標は、ハイブリッド二次精錬技術適用後の鋳鋼材中の有害元素の硫黄(S)30ppm以下、トータル酸素(T. O)40ppm以下、水素(H)4ppm以下とする。加えて、衝撃特性の20%の向上及び高温強度の10%の向上を目標値とする。

1-1-3 研究の概要

本研究開発では、ハイブリッド二次精錬炉の開発を行い、これを用いて重電機器用鋳鋼品の高品質化のための技術開発を行う。

ハイブリッド二次精錬炉の設備仕様は、取鍋内を真空とし、鑄込速度制御のため、スライディングノズルを2ヶ所設置する設計・製作を行う。

次に、ハイブリッド二次精錬炉の設計・製作を行う。ハイブリッド二次精錬炉はハイブリッド二次精錬炉用取鍋、ハイブリッド二次精錬炉用真空配管、ハイブリッド二次精錬炉用取鍋移行台車、ハイブリッド二次精錬炉用真空蓋で構成する。ハイブリッド二次精錬炉用取鍋は、不純物の除去反応を極限状態まで近づけるためアーケ炉スラグを再使用し、取鍋内の溶鋼を不活性アルゴンガスにより強撹拌する設計とする。更に、製品ごとに最適な鑄込速度が得られるスライディングノズルを2ヶ所保有する取鍋を設計、製作する。

ハイブリッド二次精錬炉用真空配管、真空蓋は、強撹拌しても水素ガスが上昇しないような構造とし、真空度は5～50torr(0.007～0.07気圧)程度とする。また、取鍋内の雰囲気調整する構造とする。

次に、真空下における不純物の除去試験を行う。従来のアーケ炉の溶解工程では硫化物、酸化物等の不純物は十分に除去出来ない。これは、大気でのアーケ炉溶解・一次精錬では炉の密閉度が低く、十分な雰囲気調整ができていないこと、及び溶鋼の撹拌力が弱いために「スラゲ・メタル反応」が十分に進行しない状態で一次精錬が終了していることが原因と考えられる。このハイブリッド二次精錬炉を用いて溶鋼中に含まれている不純物(硫化物、酸化物)を減少させ、かつ、水素の上昇を防止する精錬の技術開発を行う。

真空条件の異なる精錬において、スラグと溶鋼との不純物除去反応や水素ガスの挙動など明確になっていない事象が多い。真空度、処理時間、処理温度、不活性ガスの吹

込み量等を操業パラメータとし、硫黄(S)量、トータル酸素(T. O)量、水素(H)量の挙動を把握することにより、最適操業条件の技術開発を行う。

次に、重電機器用鑄鋼品の試作を行う。現状では不純物の除去が不十分であることに加え、重電機器用鑄鋼品は複雑形状であるため、製品の鑄造欠陥発生は不可避免である。その鑄造欠陥は黒皮表面の割れ状欠陥と内部のガス系ミクロポロシティによる欠陥とがあるが、これらの欠陥は本技術により大幅に軽減可能と考えられる。試作は、重電機器用鑄鋼品のうち、タービン車室を選定する。

加えて、試作品の品質調査・解体調査を実施する。非破壊検査は、従来より行われているタービン車室の試験法により行い、従来品との品質レベルを比較する。非破壊試験が完了後に試作品本体の実体破壊検査を行い、試作品内部の品質状況を定量的に把握する。

また、試作品の品質調査・破壊調査で得られた品質レベル(化学成分、機械的性質等)を基に、タービン車室の製造方法の見直し、今後の製造方法設定を行う。

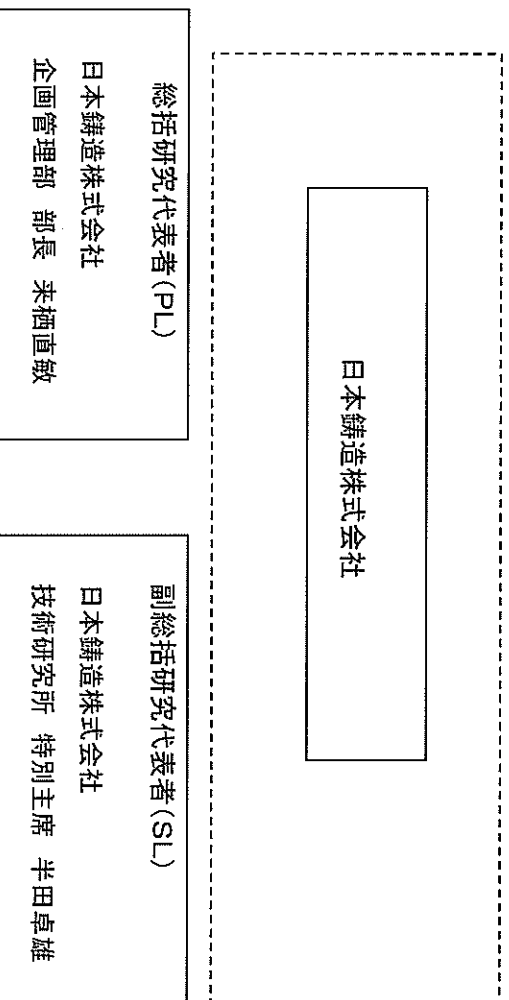
最後に、まとめとして試作品の品質の結果から今後製造する重電機器用鑄鋼品の製造コストと標準工期の設定を行い、効果の確認を行う。

最終的には以下の研究項目を実施する。

- ① ハイブリッド二次精錬炉の設備仕様決定
- ② ハイブリッド二次精錬炉の設計・製作
- ③ 真空中における不純物の除去試験
- ④ 重電機器用鑄鋼品の試作
- ⑤ 試作品の品質調査・解体調査
- ⑥ 今後の製造方法設定
- ⑦ プロジェクトの管理・運営

1-2 研究体制

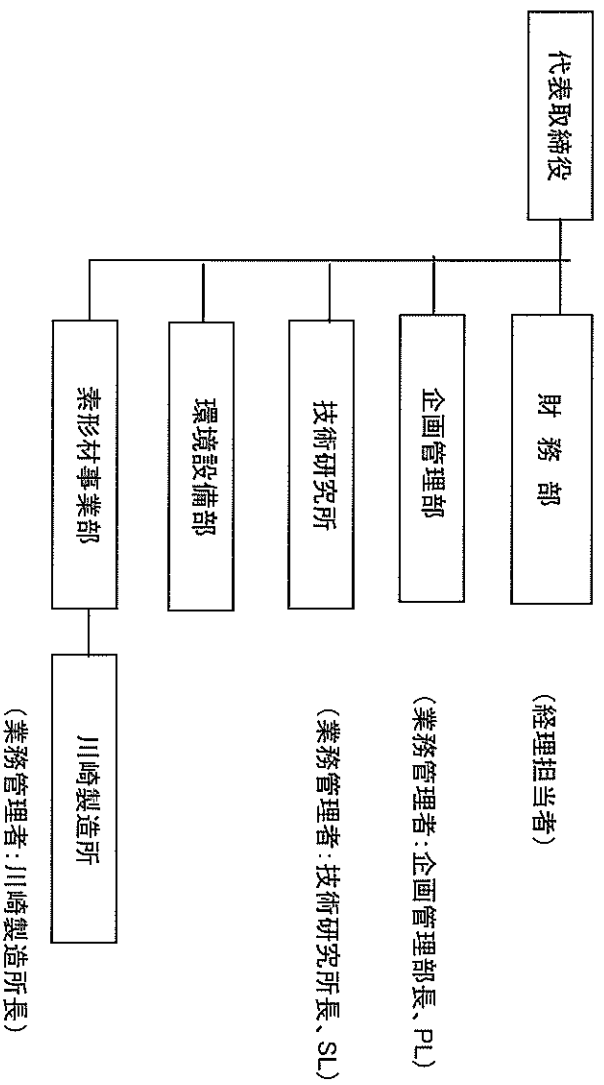
1-2-1 研究組織(全体)



1-2-2 管理体制

【事業管理機関】

【日本鑄造株式会社】



1-2-3 管理員及び研究員

【事業管理機関】日本鑄造株式会社

① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
来栖 直敏	企画管理部 部長 兼 川崎製造所長	⑦

② 研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
来栖 直敏(再)	企画管理部 部長 兼 川崎製造所長	①,②,③,④,⑤,⑥
半田 卓雄	技術研究所	①,③,④,⑤,⑥
黒住 隆雄	環境設備部	①,②,⑥
町田 隼矢	素材材事業部 川崎製造所	①,②,③,④,⑤,⑥
古野 好克	企画管理部部長兼技術研究所長	①,②,③,④,⑤,⑥
溝江 順一	川崎製造所	①,②,③,④,⑤,⑥

1-2-4 アドバイザー

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
茂木 徹一	千葉工業大学 工学部 機械サイエンス科 教授	③,④,⑤
末光 毅	川崎重工業株式会社 ガスタービン・機械カンパニー 機械ビジネスセンター 品質保証部 基幹職	③,④,⑤

1-3 成果概要

表1に成果概要を示す。

表 1 成果概要

研究内容		実施項目及び成果
①	ハイブリッド二次精錬炉の設備仕様決定	仕様決定し、4月15日に発注した。
②	ハイブリッド二次精錬炉の設計・製作	台車、取鍋、真空蓋、真空系配管の4品目を設計・製作し、試運転の後、仕様を満足していることを確認したので5月31日に検収した。
③	真空中における不純物の除去試験	真空中での精錬試験を行い、以下の成果を得た。 - 到達真空度：7.5torr(目標5～50torr) - 不純物レベル(試作品) - S：12ppm(目標30ppm以下) - H：1.4ppm(目標4ppm以下) - T.O：26ppm(目標40pp以下) 目標を達成した。
④	重電機用铸鋼品の試作	比較材の铸造を4月20日、試作品の铸造を5月31日に実施した。
⑤	試作品の品質調査・解体調査	・非破壊検査(目標△30%) - 磁粉探傷検査での欠陥：△23% - 浸透探傷検査での欠陥：△91% - 超音波探傷検査での欠陥：△100% 大幅な改善ができた。 ・衝撃特性(目標+20%) - 常温でのシャルピー衝撃吸収エネルギー：+98～222% 大幅な達成ができた。 ・高温強度(目標+10%) 600℃での引張強さ、0.2%耐力：+9～28% 達成できた。
⑥	今後の製造方法設定	今後の標準製造方法の設定を行った。
⑦	プロジェクトの管理・運営	全体委員会を計3回開催し、成果報告書を作成・提出した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

①事業管理者

住所	神奈川県川崎市川崎区白石町2番1号
名称	日本鑄造株式会社
代表者役職・氏名	代表取締役社長 岩波 秀樹
連絡先	Tel (044) 322-3751 Fax (044) 344-4022
連絡担当者所属役職・氏名	企画管理部長 古野好克
Tel	(044) 322-3771 Fax (044) 322-3769
E-mail	y_furuno@nipponchuzo.co.jp

②総括研究代表者

(フリガナ)：	クルス ナトシ
氏名	来栖 直敏
所属組織名	日本鑄造株式会社 企画管理部
所属役職	部長
Tel	(044) 322-3763
Fax	(044) 355-0870

③副総括研究代表者

(フリガナ)：	ハンダ タクオ
氏名	半田 卓雄
所属組織名	日本鑄造株式会社 技術研究所
所属役職	特別主席
Tel	(044) 322-3771
Fax	(044) 322-3769

第2章 重電機器用鑄鋼品の高品質化のための技術開発

2-1 ハイブリット二次精錬炉の設備仕様決定

設備仕様は表2のとおり決定した。

表2 決定した設備仕様

品名	製作数
ハイブリット二次精錬炉用取鍋	1基
ハイブリット二次精錬炉用真空蓋	1式
ハイブリット二次精錬炉用取鍋移行台車	1式
ハイブリット二次精錬炉用真空配管	1式

表2の設備仕様に従い、4月15日に発注した。

2-2 ハイブリット二次精錬炉の設計・製作

設備仕様に基づき、ハイブリット二次精錬炉の設計・製作した。

設計・製作した品目は①ハイブリット二次精錬炉用取鍋 ②ハイブリット二次精錬炉用真空蓋 ③ハイブリット二次精錬炉用取鍋移行台車 ④ハイブリット二次精錬炉用真空配管の4品目である。

概念図を図1に示す。

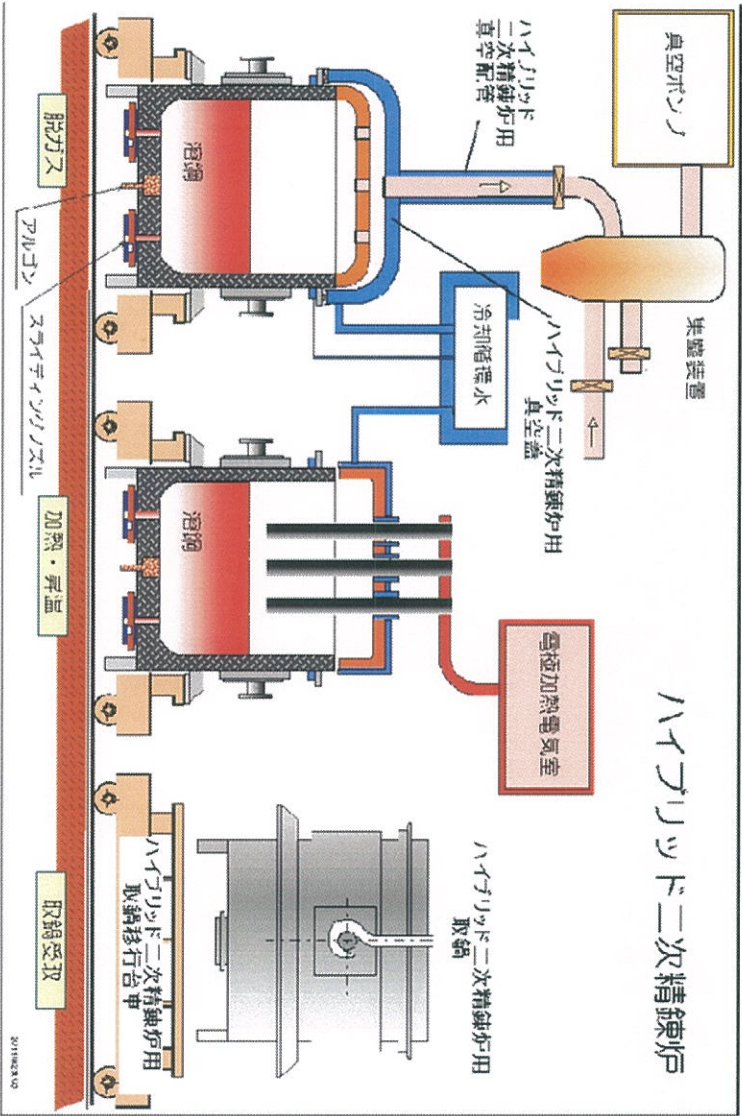


図1 ハイブリット二次精錬炉

2-3 真空下における不純物の除去試験

2-3-1 不純物除去試験

試運転処理後の分析結果を表3に示す。

表3 試運転処理後の分析結果

S(ppm)	H(ppm)	T. O(ppm)	N(ppm)
7	0.7	65	53

N：窒素

SとHは当初の目標を大幅に達成した。T. Oはサンプリングによるばらつきも考えられるので、試作品製造時は取銅ならびに製品からの切り出しを行った。

2-4 重電機器用鋳鋼品の試作

2-4-1 比較としての従来材の製造

試作に先立ち、従来法(電気炉溶解→鑄造)による同一形状での製造を行った。分析結果を表4に示す。

表4 従来材の分析結果

表4 従来材の分析結果										単位:mass%(ppm)		
	C	Si	Mn	P	Al	S	H	T. O	N			
実績	0. 17	0. 37	0. 56	0. 014	0. 013	120 ppm	4. 4 ppm	95 ppm	83 ppm			

2-4-2 ハイグリッド二次精錬炉による試作品の製造

ハイグリッド二次精錬炉により試作品の製造を行った。

表5にハイグリッド二次精錬炉処理後の分析結果を示す。

表5 試作品の分析結果(取銅)

表5 試作品の分析結果(取鍋)						単位:mass%(ppm)			
	C	Si	Mn	P	Al	S	H	T. O	N
目標						30ppm 以下	4ppm 以下	40ppm m 以下	—
実績	0.18	0.30	0.65	0.015	0.004	12 ppm	1.4 ppm	53 ppm	59 ppm

2-5 試作品の品質調査・解体調査
2-5-1 試験片の採取位置

材料試験片などの採取位置を図2、図3に示す。

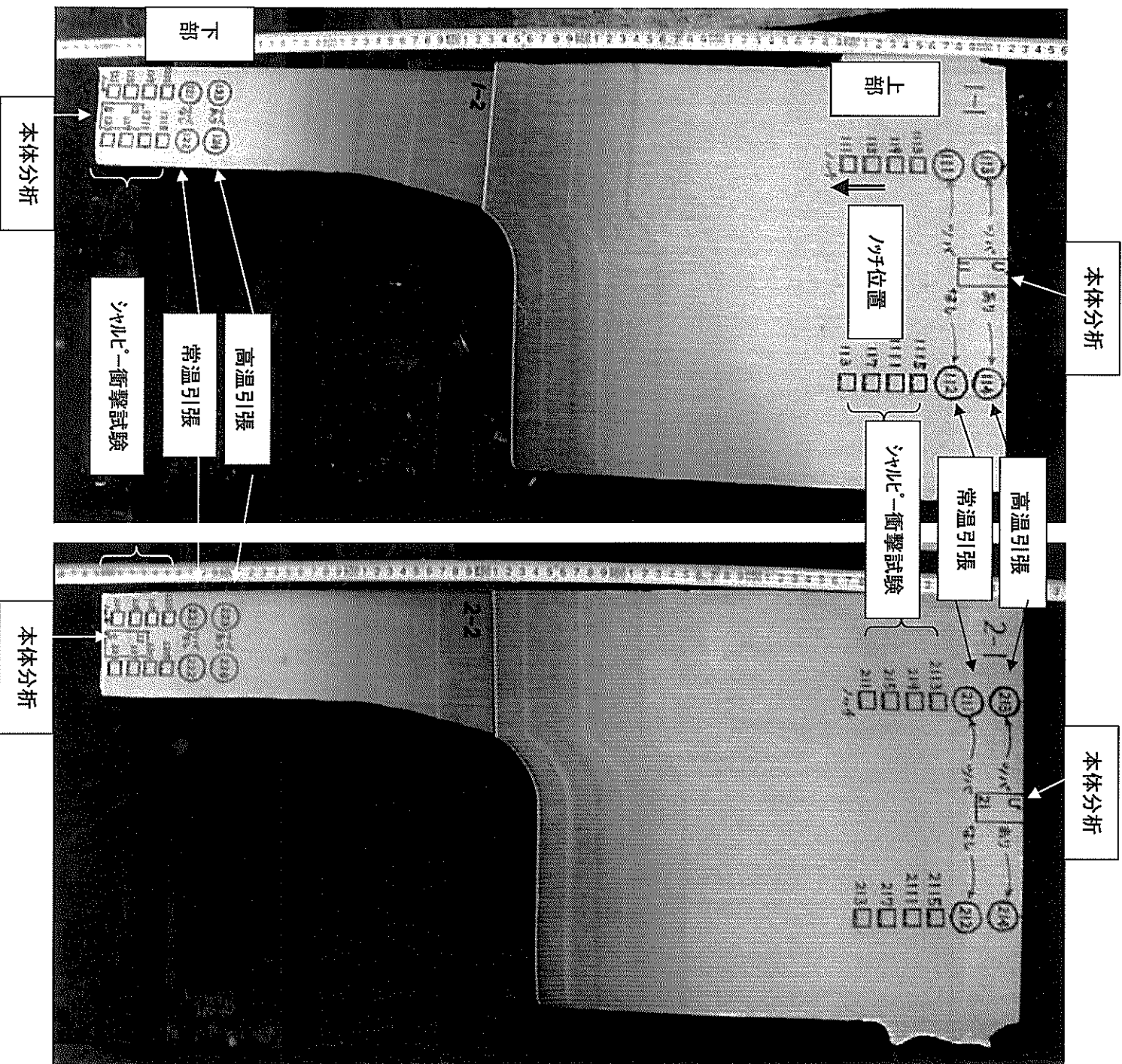


図2 従来材

図3 試作品

図2、図3は試験片を採取した断面を示しているが、写真の上側が鑄造姿勢の上に相当し、押湯が設置されていた位置になる。写真の下側が鑄造姿勢の下に相当する。以降、上とは鑄造姿勢の上側から採取された試験片を言い、下とは鑄造姿勢の下側から採取された試験片を言うこととする。鑄造姿勢の上部側は押湯があるため、凝固が遅くて、偏析を起こしやすく、又、結晶粒も大きくなりやすい。このため、2-5-2以降の各種試験は上と下を区別した試験結果の報告とする。

2-5-2 化学分析

表6に化学分析方法を示す。

表6 化学分析方法

分析元素：C、S、N、T、O 以外の元素	
分析方法：	JIS G 1256 蛍光 X 線分析方法
分析元素：C	
分析方法：	JIS G 1211-1 高周波誘導加熱燃焼—赤外線吸収法
分析元素：S	
分析方法：	JIS G 1215-4 高周波誘導加熱燃焼—赤外線吸収法
分析元素：N	
分析方法：	JIS G 1228 不活性ガス融解—熱伝導度法
分析元素：T、O	
分析方法：	JIS Z 2613 不活性ガス融解—熱伝導度法

①製品分析

表7に従来材、試作品とも本体から試料を採取し、分析に供した結果を示す。

表7 製品の分析結果と取鍋分析値との比較 単位:mass%(ppm)

	C	Si	Mn	P	Al	Ti	S	T.O
取鍋	0.17	0.37	0.56	0.014	0.013	0.03	120ppm	95ppm
	0.18	0.33	0.54	0.014	0.001	0.03	97ppm	41ppm
従来材	上	0.18	0.32	0.54	0.014	tr	92ppm	44ppm
下	0.18	0.32	0.54	0.014	tr	0.03	92ppm	44ppm
取鍋	0.18	0.30	0.65	0.015	0.004	0.01	12ppm	53ppm
	0.17	0.31	0.64	0.015	0.007	0.01	15ppm	25ppm
試作品	上	0.17	0.31	0.64	0.015	0.007	0.01	15ppm
下	0.19	0.31	0.65	0.016	0.001	0.01	16ppm	26ppm

大きな偏析と思われる分析値の変化は認められないが、従来材では電気炉で充分に還元されていないスラグが取鍋上部に浮遊しているため Al や Si が大きく変化し

ている。即ち、出鋼後、鑄造終了までの間で Al や Si がスラグにより酸化されたものと考えられる。

②スラグ分析

試作品のハイブリット二次精錬炉でのスラグ分析値を表8に示す。

表8 ハイブリット二次精錬炉でのスラグ分析値 単位 mass%

	T.Fe	MnO	S(スラグ中)	S(溶鋼中)	S 分配比
電気炉後	4.6	3.4	0.120	0.012	10
ハイブリット二次精錬炉後	0.55	0.15	0.300	0.0012	250

①で示したように電気炉溶解後、そのまま鑄造すると、取鋼上部へ表8に示すような成分のスラグが浮遊する。これは T.Fe:トータル Fe(FeO や Fe_2O_3 など Fe を含む酸化物)に含まれる Fe 総量の濃度)や MnO が溶鋼と反応し、溶鋼中の Al や Si が徐々に酸化されることを示している。ハイブリット二次精錬炉では電気炉スラグへ石灰やアルミナを添加し、スラグ成分の調整や攪拌によるスラグの還元を実施することにより、脱 S 反応を促進する。結果として、T.Fe は 4.6 から 0.55%、MnO は 3.4 から 0.15%まで還元された。スラグの S 吸収能が大幅に上昇し S 分配比(スラグ中 S / 溶鋼中 S)の値は 10 から 250 まで向上した。その結果、溶鋼中の S 濃度も 1/10 まで低減した。

③水素の推移

電気炉による精練では酸素吹精による脱炭反応にともなう脱水素反応が生じるが、取鋼への出鋼で 4～5ppm の水素レベルとなる。ハイブリット二次精錬炉を適用した場合は真空処理中に脱水素反応が起こり、1.4ppm 程度まで低減する。これは、溶鉄の水素溶解度で計算される値以下まで低下しており、充分な脱水素が進行していることがわかる。計算結果を図4に示す。

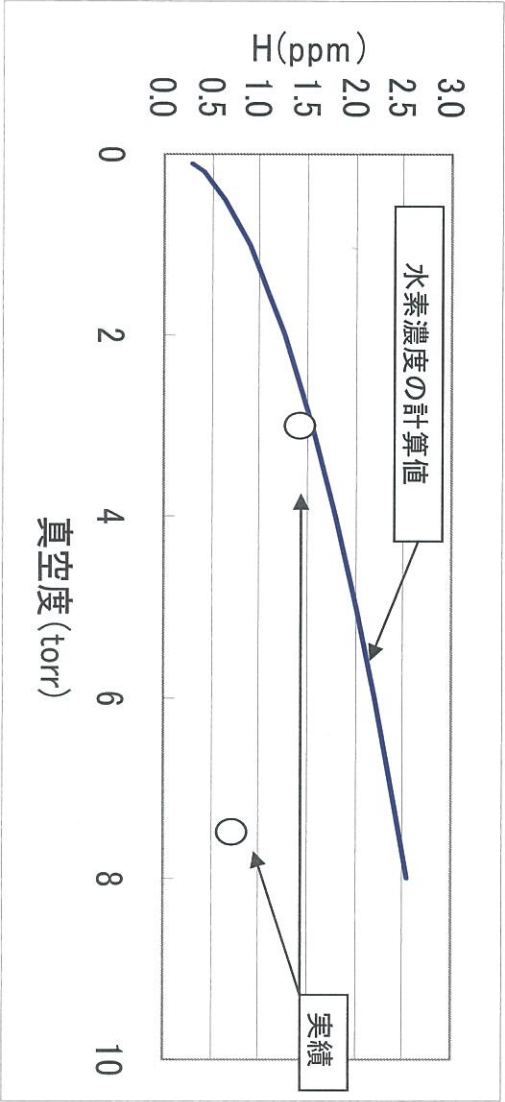


図4 真空度と水素濃度の関係

④窒素濃度の推移

電気炉による精練では酸素吹精による脱炭反応にともなう脱窒素反応はほとんど進行せず、取鍋への出鋼での窒素吸収により80～90ppmの窒素レベルとなる。ハイグリッド二次精錬炉を適用した場合はゆるやかに脱窒素反応が起こり、60ppm程度まで低減する。これは、溶鉄の窒素溶解度で計算される値まで低下しておらず、不十分な状態であることがわかる。計算結果を図5に示す。

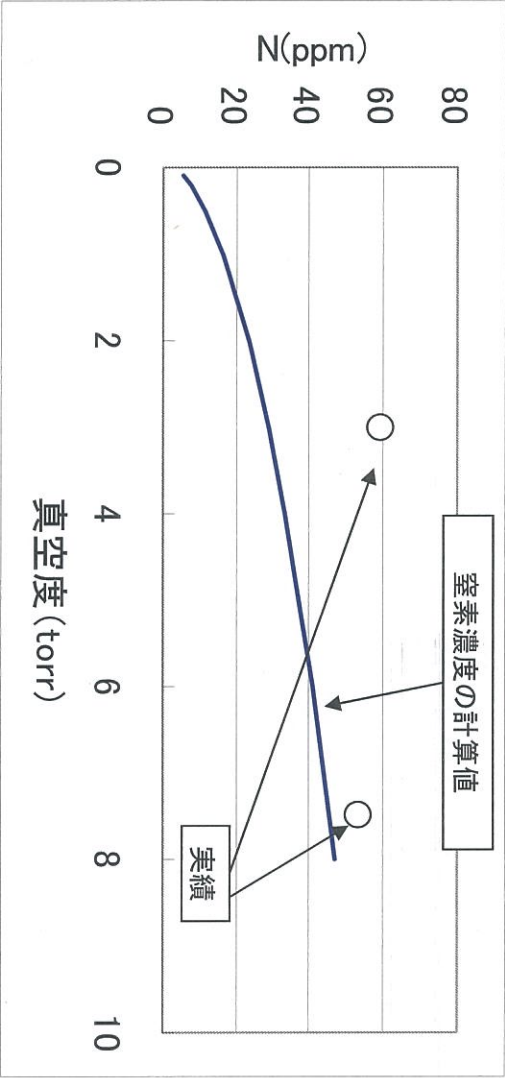


図5 真空度と窒素濃度の関係

⑤酸素濃度の推移

酸素濃度は T.O(トータル酸素)を分析しているが、これは製品中の酸化物系在物の総量に比例するものと考えられる。電気炉溶解後、取鍋へ出鋼すると、出鋼時に空気を巻き込みトータル酸素濃度が上昇する。結果として100ppm 弱の酸素濃度となっている。ハイグリッド二次精錬炉における真空処理では真空中(即ち空気、酸素の存在しない状態)で適正な攪拌を行うと、酸化物系在物が合体・浮上し濃度が減少する。更に鑄型内で凝固するまでの間に更に浮上分離が進むため製品からの分析値は大幅に減少したものと考えられる。

⑥insol-Al,insol-Ti の分析結果

表9に insol 分析方法を示す。表10に insol 分析結果を示す。

表9 insol 分析方法

分析元素:	insol. Al、Ti
分析方法:	Al: 酸分解、Ti: 電解抽出残渣を
	JIS G 1258-3
	ICP 発光分光分析方法
	にて定量分析する

表 10 insol 分析結果

	位置	TiO(ppm)	insol-Al(mass%)	insol-Ti(mass%)
従来材	上	41	0.002	0.020
	下	44	0.003	0.022
試作品	上	25	0.002	0.010
	下	26	0.002	0.010

試作品は insol 分(酸化物、窒化物など)は少なく、特に Ti 系の介在物に差があると考えられる。

2-5-3 機械的性質調査

試作品ならびに従来材の本体から試験片を採取し、機械的性質を調査した。調査内容を表 11 に示す。

表 11 機械的性質の調査方法

試験温度 : 常温、600℃
 試験項目 : 0.2%耐力、引張強さ、伸び、絞り
 試験片形状 : JIS Z 2241 (付属書 D) 14A 号試験片

①0.2%耐力、引張強さ

高温強度の向上という観点で、600℃での0.2%耐力と引張強さの比較を表 12 にまとめた。+9%から+28%の強度上昇が認められた。

表 12 高温強度の従来材と試作品の比較

測定位置	0.2%耐力 (MPa)		変化率 (%)	引張強さ (MPa)		変化率 (%)
	従来材	試作品		従来材	試作品	
上	275.5	352.0	+28	314.0	373.5	+19
下	330.0	359.0	+9	352.0	383.5	+9

以上の結果より、ハイブリッド二次精錬炉の適用により、不純物元素(S や N、O)の低減を図ることができ、介在物が起点となる破断確率が大幅に低減している。その結果測定値が上昇したと考えられる。

2-5-4 シヤルピー衝撃試験

従来材ならびに試作品の本体から試験片を採取し、衝撃試験を調査した。調査内

容を表13に示す。

表13 シヤルピー衝撃試験方法

試験温度	： 20℃、40℃、60℃、80℃、100℃		
温度管理方法	： 20℃は室温（空調された室内にて実施） 40～100℃ ：ホットプレート加熱-接触温度計にて 測定した試験直前の実体温度		
試験項目	： 吸収エネルギー、脆性破面率		
試験片形状	： JIS Z 2242 Vノッチ試験片		

衝撃試験の結果から上部と下部でのサンプリング位置の違いが顕著に現れている。上部からサンプリングされた試験片では絶対値が低くなっている。また、試作品は大幅に吸収エネルギーが大きくなっていることがわかる。常温での吸収エネルギーの比較を表14に示す。

表14 常温での吸収エネルギーの比較

測定位置	吸収エネルギー (J)		変化率 (%)
	従来材	試作品	
上	12.7	25.1	+97
下	10.1	32.5	+222

表14から明らかなように、上部からサンプリングした試験片では+97%、下部からサンプリングした試験片では+222%の吸収エネルギーの向上が確認できた。

表15 破面遷移温度の比較

採取位置	破面遷移温度(℃)		温度差 (℃)
	従来材	試作品	
上	71	54	△17
下	92	54	△38

表15より破面遷移温度でも試作品は大幅な遷移温度の低下が確認できた。

2-5-5 断面の浸透探傷試験

断面の浸透探傷試験では従来材と試作品に差は認められない。

2-5-6 断面のサルファプリント試験

表16にサルファプリント試験方法を示す。

表16 サルファプリント試験方法

試験方法：JIS G 0560 サルファプリント試験方法準拠
試験目的：硫酸を含有する腐食液中に浸漬した写真印画紙に、硫黄含有率が高く分布する部分を焼きつけることによって、材料中に存在する硫化物や偏析の位置及び面積を検出する

サルファプリント試験の結果では従来材は硫化物が散在していることがわかった。これと比較すると、試作品は大きな硫化物は認められず、又、わずかな偏析も観察されなかった。

2-5-7 非破壊検査

従来材ならびに試作品の非破壊検査方法を表17に示す。

表17 非破壊検査方法

磁粉探傷試験	磁化方法：プロット法 磁粉の種類：湿式蛍光磁粉 判定基準：インジケーション長さが5mm以上は不合格
浸透探傷試験	探傷方式：水洗性染色浸透法及び速乾式現像法 検査物の温度：常温 判定基準：磁粉探傷に順ずる。
超音波探傷試験	探傷方法：ASTM A609 判定基準：傷エコーがDACの50%を越える範囲

①磁粉探傷

従来材と試作品の欠陥長さ、個数を表18に示す。

表18 磁粉探傷試験結果の比較

		単位	従来材	試作品	変化率
線状欠陥	平均長さ	mm	35.2	29.6	84%
	総個数	個	79	72	91%
	延べ長さ	mm	2779	2130	77%

試作品は従来材と比較して、磁粉探傷試験結果から得られる線状欠陥の平均長さ、個数とも減少している。比較のため延べ長さ(長さ×個数の累計)を行うと23%の低減が判明した。

②浸透探傷試験

従来材と試作品の欠陥長さ、個数を表19に示す。

表19 浸透探傷試験結果の比較

単位		従来材	試作品	変化率
線状欠陥	平均長さ	mm	5	57%
	総個数	個	1	17%
	延べ長さ	mm	5	9%

試作品は従来材と比較して、浸透探傷試験結果から得られる線状欠陥の平均長さ、個数とも大幅減少している。延べ長さ(長さ×個数の累計)の比較を行うと91%の低減が判明した。

③超音波探傷試験

超音波探傷試験では、表20のように試作品において欠陥は検出されなかった。

表20 超音波探傷結果の比較

単位		従来材	試作品	変化率
点状欠陥	総個数	2	0	0%

以上をまとめると図6となる。補修時間の低減の推定を表21に示す。

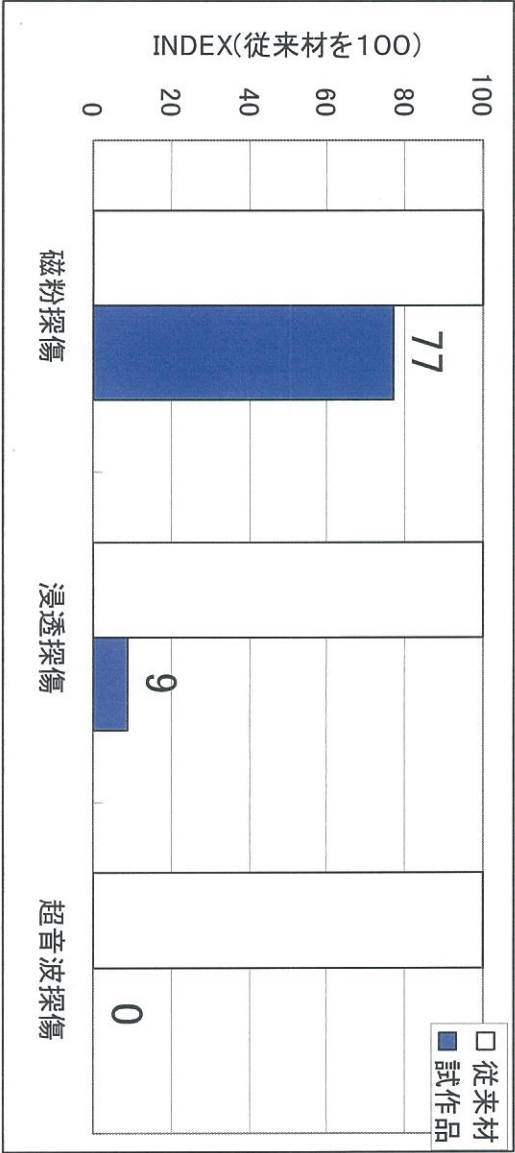


図6 非破壊検査の比較(まとめ)

表21 補修時間の推定

検査法	従来法での 補修時間 (index)	削減率 (%)	ハイブリッド二次精 錬炉での補修時間 推定(index)
超音波探傷	13	△100	0
磁粉探傷	79	△23	61
浸透探傷	8	△91	1
合計	100	△38	62

2-6 今後の製造方法設定

本研究によりハイブリッド二次精錬炉の有効性は十分に確認できた。今後の重電機器用鋳鋼品の製造における①プロセスの選択 ②標準工期の見直し ③製造コストの見直しを行った。

①製造プロセスの選択

スクラップ、合金鉄など原料⇒電気炉溶解⇒取鋼へ出鋼

⇒ハイブリッド二次精錬炉 加熱工程⇒真空精練工程⇒ casting

②標準工期の見直し

従来法と比較して補修時間の38%の削減が見込まれ、全工程の約13%の短縮が見込まれる。

③製造コストの見直し

ハイブリッド二次精錬炉の適用により、補修時間が短縮、ひいては補修コストが低減できる。もともと従来法の原価構成では補修費が全体の28%を占めており、この部分の38%を削減できるので、総原価の約11%が削減できる。

加えて、溶接補修の低減により、再熱処理費用の削減や補修時の変形を想定した駄肉の低減が可能となり、歩留の向上も期待できる。更に工期の短縮から工場内滞留時間の短縮も併せて図ることができる。

第3章 総括

3-1 研究開発成果

ハイブリッド二次精錬炉の開発が完了した。この炉を用いた精錬技術を適用し、重電機器用鋳鋼品の試作を行った。試作品の製造に際し、従来法(電気炉から出鋼した溶鋼を直接 casting する方法)で製造した従来材も製造した。

この二つの重電機器用鋳鋼品を解体・調査し、以下の結果を得た。

①不純物元素(S、H、T、O)の大幅な低減を達成した。実績では目標をクリアし、以下のレベルまで到達した。

S:20ppm以下、H:2ppm以下、T、O:30ppm以下

②試作品の品質レベルは大幅に向上した。実績では目標値をクリアし、以下のレベルまで到達した。

磁粉探傷検査での欠陥:△23%、浸透探傷検査での欠陥:△91%

超音波探傷での欠陥:△100%

その結果、欠陥の補修時間が38%削減できる結果を得た。製造コストの11%削減、製造工期の13%短縮が達成できた。

③衝撃特性や高温強度の向上が達成できた。

衝撃エネルギーは約2～3倍、高温強度は約20%向上した。

以上、3項目の達成により、今後の重電機器用鋳鋼品のコスト低減、工期短縮更が可能となり、受注拡大が期待できる。

3-2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況

●工業所有権

2件を出願予定である。

●対外発表

1件を発表予定である。

3-3 今後の事業化に向けた取り組み

重電機器用鋳鋼品の高品質化のための技術開発を平成23年2月より約8ヶ月の間実施しました。研究結果は前述のとおり、当初の目標を達成しました。今後は、本研究の結果を生かし、重電機器用鋳鋼品の高品質化さらにはコスト、納期の改善をおこない、日本国内でしか造れない鋳造品として拡販していきたいと考えております。重電機器用鋳鋼品のみならず他の鋳鋼鋳造品へも本研究成果は適用可能であり、さらなる深化が期待できるところです。

鋳鋼鋳造品は中国・韓国の技術力の向上により、ますます競争が激化しているうえに、昨今の円高により産業空洞化がすすむ気配を感じております。生き残りには新しい技術開発は必至であり、本研究をその礎とする所存であります。

最後に、本研究により、当社内の若手研究者も含め新しいことへ取り組む(挑戦する)意欲が感じられました。また、アドバイザーの先生方との人脈も広がり、今後の活躍が期待できます。本研究の機会を与えて下さったサポイン事業には心の底から感謝しています。