

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高灰分コークス使用時における高生産性操業技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成24年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 社団法人日本鑄造協会

目 次

第 1 章 研究開発の概要	2
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	2
1-2 研究体制 (研究組織・管理体制, 研究者氏名, 協力者)	2
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	6
第 2 章 本論	6
① 鑄物用コークスと高炉用コークスの最適配合比率の確定	
①-1 鑄物用コークスと高炉用コークスの物性値等の特性の確認	6
①-2 鑄物用コークスと高炉用コークスとを混合した場合の混合比率と通気性, 燃焼性 (発熱量) および反応性 (CO 発生量) の確認	7
①-3 鑄物用コークスと高炉用コークスの最適配合比率の想定	9
② 混合コークスを完全燃焼させるための送風空気の最適条件の確定と送風技術の確立	
②-1 最適送風圧力および送風量の確定	9
②-2 送風羽口の設計と製作	18
③ 熱風発生技術の確立と装置の開発	
③-1 排出ガスの組成, 温度および排出量の測定	22
③-2 熱風炉 (熱交換器) の設計と製作	28
④ 溶銑の品質管理技術の確立	
④-1 実操業下での溶銑品質の確認	29
④-2 スラグの生成と処理技術の確立	30
最終章 全体総括	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

1) 研究の背景

日本の自動車産業は低価格競争に直面し、自動車産業による鑄鉄鑄物部品の低コスト化要求は非常に大きい。鑄鉄鑄物の溶解炉として全溶解量の約4割を占めるキュポラの溶解エネルギー源はコークスであるが、熱効率を上げるため低灰分で高価格の鑄物用コークスを使用している。これを高灰分であるが低価格の高炉用コークスで置換え、品質と生産性を維持したまままで操業する技術を開発することにより、溶銑コストの低減化を実現する。

2) 研究の目的及び目標

鑄鉄鑄物の溶解炉として全溶解量の約4割を占めるキュポラの溶解エネルギー源はコークスである。キュポラ操業に使用されるコークス（以下鑄物用コークスという）は、熱効率を上げるため低灰分（灰分8%程度以下）で、かつ形状の大きなもの（平均200mm程度）が使用されており、そのため高価格である。これに対し製鉄所の高炉で鉄鉱石の還元で使用される高炉用コークスは高灰分（10%以上）で小さく（平均粒径50mm）、値段が安い。低価格ではあるが現用の鑄物用コークスとは特性の異なる高炉用コークスをキュポラ操業に使用できれば、鑄鉄鑄物の低コスト化につながる。よって、高灰分の高炉用コークスをキュポラの熱源として使用するための技術を開発することを目的とした。

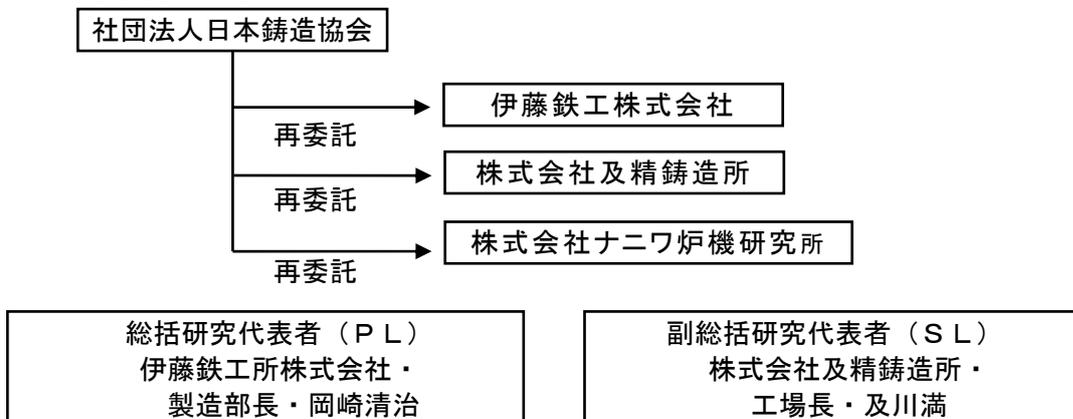
具体的には以下の研究開発項目を設定し実行した。

- ① 鑄物用コークスと高炉用コークスの最適配合比率の確定
 - ①-1 鑄物用コークスと高炉用コークスの物性値等の特性の確認
 - ①-2 鑄物用コークスと高炉用コークスとを混合した場合の混合比率と通気性、燃焼性（発熱量）および反応性（CO発生量）の確認
 - ①-3 鑄物用コークスと高炉用コークスの最適配合比率の想定
- ② 混合コークスを完全燃焼させるための送風空気の最適条件の確定と送風技術の確立
 - ②-1 最適送風圧力および送風量の確定
 - ②-2 送風羽口の設計と製作
- ③ 熱風発生技術の確立と装置の開発
 - ③-1 排出ガスの組成、温度および排出量の測定
 - ③-2 熱風炉（熱交換器）の設計と製作
- ④ 溶銑の品質管理技術の確立
 - ④-1 実操業下での溶銑品質の確認
 - ④-2 スラッグの生成と処理技術の確立

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

(1) 研究組織及び管理体制

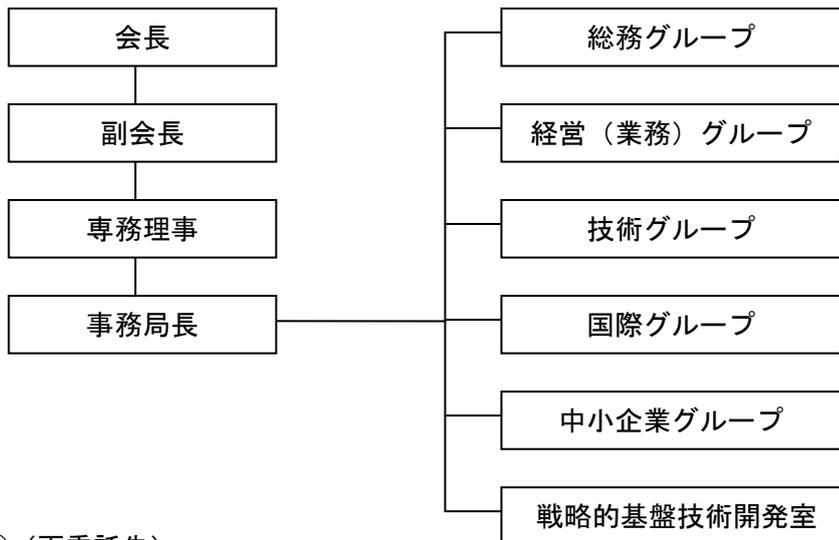
1) 研究組織（全体）



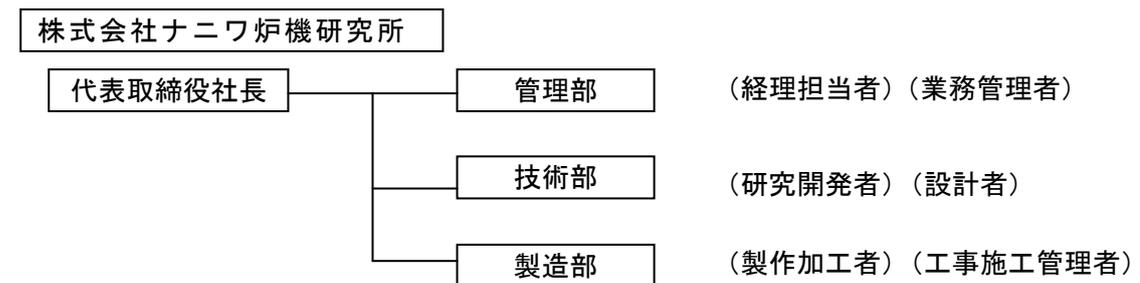
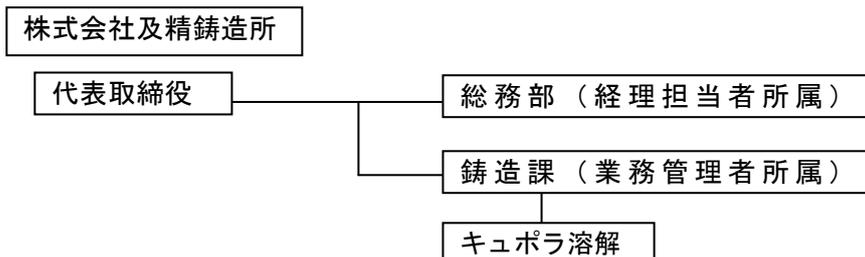
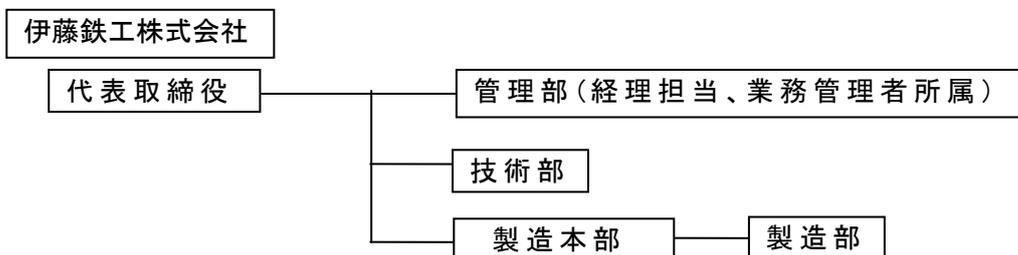
(2) 管理体制

① 事業管理者

[社団法人日本鑄造協会]



② (再委託先)



(3) 管理員及び研究員

【事業管理者】 社団法人日本鑄造協会

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
竹田 功	戦略的基盤技術開発室グループリーダー	④
早川 浩二	総務グループリーダー, 戦略的基盤技術開発室リーダー	④
深井 知子	戦略的基盤技術開発室・担当	④

②研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
なし		

※管理員が研究員を兼ねる場合は、①・②の双方に記載すること。この場合、②への再掲載にあたって、氏名の後に「(再)」と記載すること。

【再委託先】※研究員のみ

伊藤鉄工株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
岡崎清治	製造部部长	①②③
馮 輯	製造部鑄造課長	①②③
水野慎也	鑄造課主任	①②③
岡崎正次	鑄造課員	①②
藤波博之	鑄造課員	①②
高橋雅宏	鑄造課主任	①②
高澤慎治	鑄造課主任	①②

株式会社及精鑄造所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
及川 敬	代表取締役社長	①②③
及川 満	工場長	①②③
津田 哲	副工場長	①②③
千葉孝彦	鑄造課長	①②③

株式会社ナニワ炉機研究所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
立入 勝啓	取締役技術部長	①②③
石井 一義	技術部	①②③
野島 聡大	技術部	①②③
斎藤 博之	技術部	①②③
後藤 史朗	技術部	①②③

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

社団法人日本鑄造協会

(経理担当者) 戦略的基盤技術開発室 担当 深井 知子

(業務管理者) 戦略的基盤技術開発室 グループリーダー 竹田 功

※竹田功の業務管理は早川浩二(戦略的基盤技術開発室 グループリーダー)が行う。

(再委託先)

伊藤鉄工株式会社

(経理担当者) 管理部部長 新井慶次

(業務管理者) 管理部部長 新井慶次

株式会社及精鑄造所

(経理担当者) 総務部経理部長 千葉 文雄

(業務管理者) 工場長 及川 満

※及川満の業務管理は及川敬(代表取締役社長)が行う。

株式会社ナニワ炉機研究所

(経理担当者) 管理部部長 村田 博敏

(業務管理者) 専務取締役 村田 博敏

(4) 他からの指導・協力者

研究開発委員会

氏名	所属・役職	備考
岡崎清治	伊藤鉄工株式会社 製造部部长	PL
馮 輯	伊藤鉄工株式会社 製造部鑄造課長	委
水野慎也	伊藤鉄工株式会社 鑄造課主任	委
及川 敬	株式会社及精鑄造所 代表取締役社長	委
及川 満	株式会社及精鑄造所 工場長	SL 委

立入 勝啓 石井 一義 清水 恒之 竹田 功	株式会社ナニワ炉機研究所 取締役技術部長 株式会社ナニワ炉機研究所 設計技術部リーダー 草野産業株式会社 社団法人日本鑄造協会	委 委 委 委 アドバイザー
---------------------------------	--	----------------------------

1-3 成果概要

① 鑄物用コークスと高炉用コークスの最適配合比率の確定

平成 21 年度に実施した 0.5 t/h パイロットキュポラによる燃焼実験、溶解実験および伊藤鉄工、(株)及精鑄造所における現状操業調査結果をもとに、実際の小型キュポラ操業における鑄物用/高炉用コークスの最適配合比率を確定するための溶解実験を伊藤鉄工(株)、(株)及精鑄造所で行った。

①-1 鑄物用コークスと高炉用コークスの物性値等の特性の確認

実験に使用した鑄物用コークスと高炉用コークスの物性を調査し比較した。

①-2 鑄物用コークスと高炉用コークスとを混合した場合の混合比率と通気性、燃焼性（発熱量）および反応性（CO 発生量）の確認

0.5t/h パイロットキュポラを用い、鑄物用コークスと高炉用コークスのベッドコークスおよび追込めコークスに配合比率を変えて溶解実験を実施し、高炉用コークス 50%以上の使用を可能とする操業条件を追究し、操業時の通気性、燃焼性（発熱量）および反応性（CO 発生量）を確認した。

伊藤鉄工(株)での実験においては、平成 21 年度の研究で開発した 2 t/h キュポラ溶解帯装置（2 段羽口）の効果を実証する実験を行った（後述の②-1, ②-2）。また(株)及精鑄造所での実験においては、平成 21 年度に開発した 1.5 t/h キュポラ実験用炉頂熱交換器を使用し熱風溶解の効果について調査した（後述の③-1, ③-2）。

①-3 鑄物用コークスと高炉用コークスの最適配合比率の想定

平成 22 年度にパイロットキュポラや実用炉（伊藤鉄工(株)および(株)及精鑄造所での実験）を使用して、2 段羽口および熱風操業が出湯温度の上昇に効果があることを確認すると共に、高炉用コークス 100%での操業が可能であることがわかった。その結果、平成 23 年度は、高炉用 100%に固定して研究開発を実施し、実験回数が少ないためコークス粒度の変動、操業条件の変動に対して対応可能かを N 増し実験を行ない実証した。

② 混合コークスを完全燃焼させるための送風空気の最適条件の確定と送風技術の確立

伊藤鉄工(株)、(株)及精鑄造所と(株)ナニワ炉機研究所は、最初に送風空気の温度、送風圧力および送風量と、前記①節で想定した最適配合比率の混合コークスの燃焼状況の関係を実験により把握し、最適送風圧力および送風量を確定した。ついで、この条件を長時間維持しうる送風羽口の設計と製作を行った。

②-1 最適送風圧力および送風量を確定

平成 22 年度においては、0.5 t/h パイロットキュポラの実験で得られた送風量と送風圧の最適条件を小型実用炉に適用し、その最適条件の妥当性を確認するための溶解実験を実施した。ここで言う最適条件とは、出湯温度、コークス比などの諸条件を総合的に判断したものである。

具体的実験内容は、①節で述べた内容と同じであるが、この実験を通して最適送風圧力および送風量を究明した。本実験は、主に伊藤鉄工(株)、(株)及精鑄造所で行った。

②-2 送風羽口の設計と製作（酸素付加装置）

平成 22 年度および 23 年度に実用炉での実験において、送風圧力と送風量の関係を明らかにすることができた。細粒の高炉用コークスを 100%安定的に使用するためには、送風量を確保することが重要であることが明らかとなった。

平成 21 年度にパイロットキュポラ向けに設計製作した 0.5 t/h パイロットキュポラ実験用熱交換器（2 段羽口）の結果を基に、実用の小型キュポラ向けに実験用の 2 t/h キュポラ溶解帯装置（2 段羽口）を設計製作した。平成 22 年度および 23 年度に伊藤鉄工に設置した 2 段羽口の溶解実験の結果、2 段羽口は燃焼率を上げ溶解効率を上げる効果があり、高炉用コークス 100%で操業できることを確認した。

2 段羽口は、燃焼率や溶解効率向上に寄与し、高炉用コークス 100%の使用を実現するのに有効であることが認められた。ただし、そのメカニズムが明確でない。平成 23 年度は、シミュレーション実験でそのメカニズムを明らかにした。

③ 熱風発生技術の確立と装置の開発

③-1 排出ガスの組成、温度および排出量の測定

(株)及精鑄造所において従来の冷風操業と実験用に設置した熱交換器を用いた熱風操業を比較し、熱風の効果を確認するとともに、排出ガスの組成、温度を測定し、熱風が排ガスに及ぼす影響を調査した。その結果、熱風操業により出湯温度が上昇し、高炉用コークス 100%の使用も可能である見通しが得られた。

③-2 熱風炉（熱交換器）の設計と製作

平成 22 年度に及精鑄造所に設置した 1.5 t/h キュポラ実験用炉頂熱交換器を長期間使用し、熱交換器の内部状況を継続して観察し熱交換性能、メンテナンス性、ダストの付着状況を調査した。その結果、熱交換性能は設計目標を 100%クリアした。ダストの付着もほとんどなくメンテナンス性もすぐれていることを実証できた。平成 23 年度では熱交換器の熱交換性能およびメンテナンス性をさらに高めるため改善策を実施し良好な結果を得た。

④溶銑の品質管理技術の確立

④-1 実操業下での溶銑品質の確認

高炉用コークスを使用した場合の溶銑品質として組成の変化を確認するために、実験溶湯から試料を採取し解析を行なった。

④-2 スラッグの生成と処理技術の確立

高灰分コークスの使用によりスラッグ発生量の増加が予想されたが、実操業において支障をきたすほどのスラッグ発生量の増加は認められなかった。よって特別な処理技術の必要はなく、従来の処理技術で対応できた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

社団法人 社団法人日本鑄造協会 戦略的基盤技術開発室 竹田 功
電話番号：03-3431-1375, FAX:03-3433-7498 E-mail:takeda@foundry.jp

第2章 本論

① 鑄物用コークスと高炉用コークスの最適配合比率の確定

①-1 鑄物用コークスと高炉用コークスの物性値等の特性の確認

パイロットキュポラで使用した高炉用および鑄物用コークス、伊藤鉄工(株)および(株)及精鑄造所で平成 22 年度に使用した高炉用および鑄物用コークスの物性値等の特性を調査した。その結果を表 1 に示す。また、小型実用キュポラの実験で使用した高炉用および鑄物用コークスの外観写真を図 1 および図 2 に示す。

各コークスの特性をまとめると次の通りである。

- パイロットキュポラ溶解実験で使用したコークスは炉内径が小さいため炉径に適したコークス粒度にするため鑄物用コークスも高炉用コークスも同一の粒度のものを使用した。伊藤鉄工(株)や(株)及精鑄造所の実用炉では通常使用される鑄物用コークスに比べ高炉用コークスの粒度は半分の粒度になる。
- コークス中の灰分は高炉用コークスの方が鑄物用コークスに比べ 4%程度多く、その分、固定炭素は少なく発熱量が低い。
- 真比重は高炉用コークスの方が小さく、気孔率は高い。
- 価格は高炉用コークスの方が低く、メリットがある。
- 入手できる高炉用コークスに制限があるため中国製の高炉用コークスを使用した。
- 平成 23 年度には後述する②項および③項ではインド産高炉用コークスや鑄物用高灰分コークス(灰分 12.3%)も使用し実用試験を実施した。

表1 コークスの物性値等の特性の確認

コークスの種類	0.5 t/h パイロットキュポラ 実験用鑄物用 コークス	伊藤鉄工(株) 使用鑄物用 コークス A	(株)及精鑄造所 使用鑄物用 コークス	0.5t/hパイロ ットキュポラ 実験用高炉用 コークス	伊藤鉄工(株), (株)及精鑄造所 実験用高炉用 コークス
粒度 (mm)	30-50	90-150	90-150	30-50	40-80
灰分 (%)	7.5	8	7	11.38	12.2
揮発分 (%)	0.6	0.7	0.8	0.44	1.3
固定炭素 (%)	91.9	91.3	92.2	88.18	86.6
全硫黄 (%)	0.6	0.46	0.61	0.48	0.44
真比重	1.945	1.932	1.945	1.933	
落下強度 (SI4/50)	97.5	98.7	97.7	99.1	
気孔率 (%)	33	43.2	31.2	47.1	
価格 (円/kg)	80	80	90	55	
発熱量 (kcal/kg)	7,426	7,377	7,450	7,125	6,997
生産地	国産	中国産	国産	中国産	中国産



図1 実験用高炉コークス（粒度：40-80mm）
伊藤鉄工(株), (株)及精鑄造所で使用



図2 鑄物用コークス（粒度：90-150mm）
伊藤鉄工(株)で使用

①-2 鑄物用コークスと高炉用コークスとを混合した場合の混合比率と通気性、燃焼性（発熱量）および反応性（CO発生量）の確認

本研究では平成21年度に0.5t/hパイロットキュポラを用いコークスの燃焼実験と溶解実験を実施し、高炉用コークス使用に対して混合比率と通気性、燃焼性および反応性等の基礎的なデータを得た。平成22年度は実用小型炉の溶解実験に先立ち2段羽口送風や熱風送風操業の効果を確認にするため高炉用コークスを使用した溶解実験を実施した。

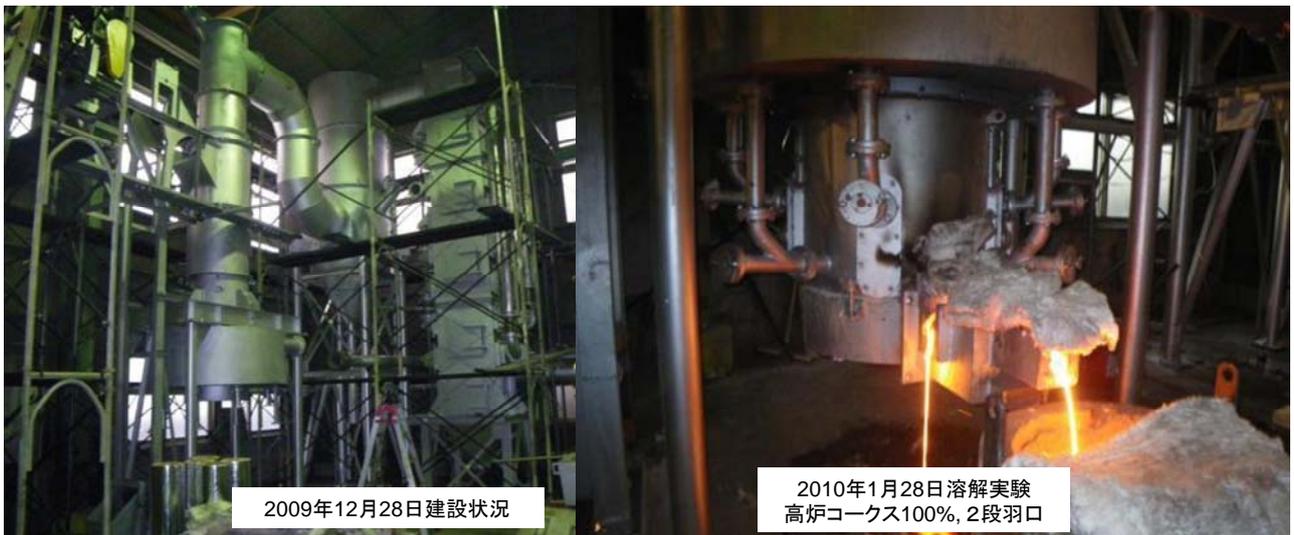
i 0.5 t/hパイロットキュポラによる高炉用コークス使用溶解実験（平成21,22年度実施）

i-1 実験方法

表2に実験に使用した0.5t/hパイロットキュポラの構造と主要寸法を示し、図3に0.5t/hパイロットキュポラ溶解設備の写真を示した。

表2 0.5 t/hパイロットキュポラの構造と主要寸法

形式	非水冷キュポラ	羽口形式	1段羽口	2段羽口
溶解能力 [t/h]	0.5	上下羽口間距離 [mm]	0	200
羽口面内径 [mm]	400	羽口本数	8本	下段4本, 上段4本
有効高さ [mm]	2400	羽口寸法 [mm]	φ60	φ60
有効高さ比	6	羽口角度	5°	5°
羽口～炉底までの深さ [mm]	250	羽口比	5.5	5.5
送風量 [Nm ³ /min]	10	羽口風速 [m/s]	7～15	7～15
送風温度 [℃]	常温～300	標準ベッド高さ [mm]	800	800



2009年12月28日建設状況

2010年1月28日溶解実験
高炉コークス100%, 2段羽口

図3 0.5 t/h 実験用パイロットキュポラ溶解設備

図4に0.5 t/hパイロットキュポラ溶解設備の計装フロー図を示した。実験設備はキュポラ羽口を1段羽口と2段羽口に切り替えることができ、キュポラ排熱を利用した熱交換器により熱風操業が可能なように設備されている。

表3に0.5 t/hパイロットキュポラ溶解実験の実験条件を示した。溶解実験はコークス比や送風量を同じにし、2段羽口と熱風操業の効果を確認するため1段羽口で冷風と熱風操業、2段羽口で冷風と熱風操業を行い比較した。また熱風操業において2段羽口の上下段羽口間隔を200mmから400mmに変更し溶解実験を実施した。

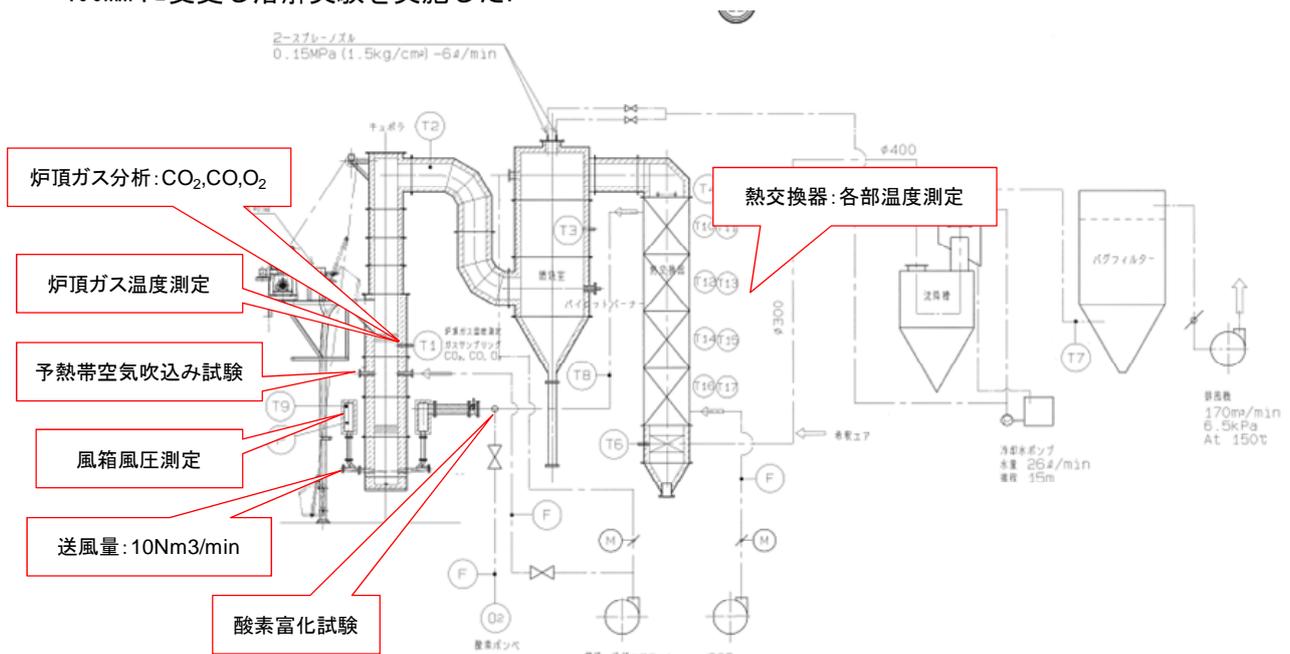


図4 0.5 t/hパイロットキュポラ溶解設備の計装フロー図

表3 0.5 t/hパイロットキュポラ溶解実験の実験条件

実験条件	冷風	熱風	酸素富化 立上のみ	コークス 比 (%)	送風量 (m ³ /min)	コークスベッド [*] 高さ (mm)
高炉用コークス 1段羽口	●		●	20	10	800
高炉用コークス 1段羽口		●	●	20	10	800
高炉用コークス 2段羽口 (200mm)	●		●	20	10	800
高炉用コークス 2段羽口 (200mm)		●	●	20	10	800
高炉用コークス 2段羽口 (400mm)		●	●	20	10	800

i-2 高炉用コークスを用いた 0.5 t/h
パイロットキュボラによる溶解実験結果

図 5 に高炉用コークスを用いた 0.5 t/h
パイロットキュボラによる溶解実験結果と
して、出湯温度に及ぼす 2 段羽口と熱風の
効果を示した。

出湯温度は 1 段羽口冷風操業に比べて 2 段
羽口冷風操業の方が高く、1 段羽口熱風操
業の方が高くなることを確認した。また、
2 段羽口で熱風操業すればさらに出湯温度が
高くなることも確認した。

2 段羽口で、羽口間の高さの影響について
調べたが、上段羽口を 200mm から 400mm に上
げて出湯温度は変化がないことが知られた。

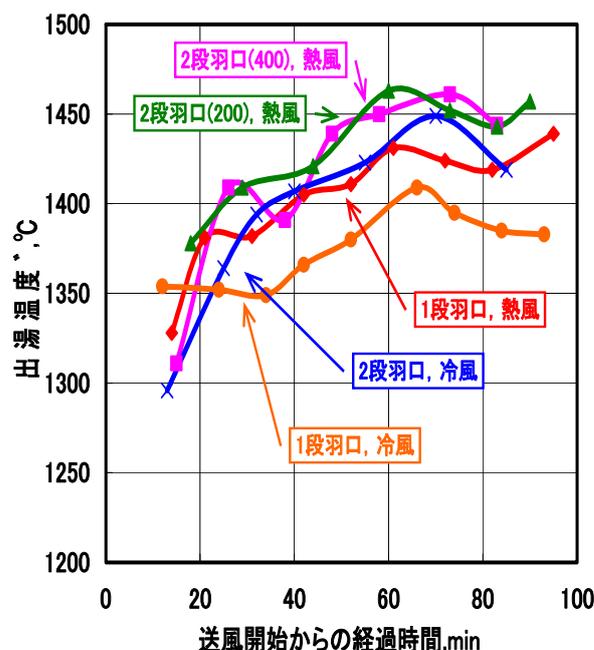


図 5 出湯温度に及ぼす 2 段羽口と熱風の効果

ii 研究成果

平成 22 年度に 0.5 t/h パイロットキュボラを使用して、2 段羽口および熱風操業が出湯温度の上昇に効果があることを確認すると共に、高炉用コークス 100%での操業が可能であることがわかった。

① - 3 鑄物用コークスと高炉用コークスの最適配合比率の想定

i 実験内容

前項の実験がこのサブテーマの実験を兼ねる。

ii 研究成果

2 段羽口操業や熱風操業が高炉用コークスの使用に対し有効であることが知られ、高炉用コークス 100%での操業が可能であることがわかった。

② 混合コークスを完全燃焼させるための送風空気最適条件の確定と送風技術の確立

②-1 最適送風圧力および送風量を確定

i. 小型実用炉を用いた 2 段羽口による溶解実験(伊藤鉄工株)

「高炉用コークスの実用化に向けた 2 段羽口操業の有効性実証試験」

i-1. 実験方法

キュボラは同じ構造で羽口のみを 2 段羽口に改造した 1 号炉と従来通りの 1 段羽口の 2 号炉を使用し比較した。表 4 にキュボラの構造と主要寸法を示した。図 6 に本研究で考案した 2 段羽口の設置状況を示し、図 7 に 2t/h 熱風キュボラの計装フロー図を示した。表 5 に実証試験の操業条件一覧を示した。

表 4 2t/h キュボラの構造と主要寸法

形式	熱風水冷 キュボラ	羽口形式	1 段羽口 (2 号炉)	2 段羽口 (1 号炉)
溶解能力 [t/h]	2.0	上下羽口間距離 [mm]	0	250
羽口面内径 [mm]	650	羽口本数	6 本	下段 3 本, 上段 3 本
有効高さ [mm]	2930	羽口寸法 [mm]	φ 60	φ 60
有効高さ比	4.5	羽口角度	水平	水平
羽口～炉底までの深さ [mm]	500	羽口比	19.6	19.6
送風量 [Nm ³ /min]	30	羽口風速 [m/s]	62	62
送風温度 [°C]	300	ベッド高さ [mm]	1150	1150

$$\text{羽口風速 [m/s]} = \frac{\text{送風量 [Nm}^3\text{/min]} \times 273}{60 \times (273 + \text{熱風温度})} \times 6$$

表 5 実証試験の操作条件一覧

試験内容	熱風・冷風別	羽口構造	コークス種類	コークスサイズ (mm)	コークス配合 (%)	コークス比(%)	銑鉄 (%)	鋼屑 (%)	戻材 (%)	コークス単価比
2 段羽口効果	熱風	1段	鑄物用	90~120	100	FCD:12.6	37.2	17.5	45.3	100
						FC: 11.4	34.8	20.9	44.3	
	熱風	2段	鑄物用	90~120	100	FCD:11.8	40.1	17.8	42.1	100
						FC: 12.6	37.6	23.2	39.2	
高灰分コークス使用	熱風	1段	高灰分	120~150	50	FCD:12.7	47.1	20.5	32.5	90
			鑄物用	70~100	50	FC: 11.7	36.5	17.9	45.6	
	熱風	2段	高灰分	120~150	50	FCD:12.7	47.1	20.5	32.5	90
			鑄物用	70~100	50	FC: 11.7	37.2	14.2	48.5	

溶解材質 FCD 目標出湯成分 C: 3.75% (3.65-3.85%), Si: 1.50% (1.45-1.90%)
 FC C: 3.30% (3.00-3.50%), Si: 1.85% (1.60-2.10%)

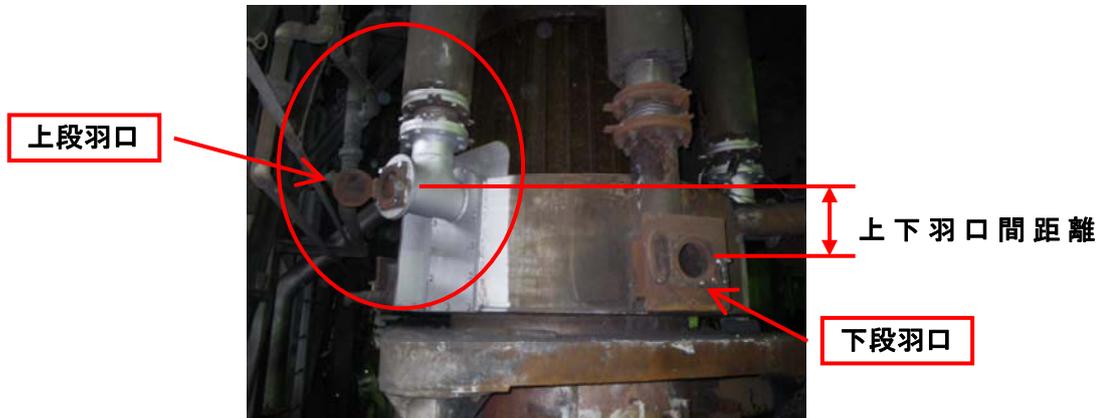


図 6 2 段羽口の設置状況 (6 本中 3 本を上段羽口に改造)

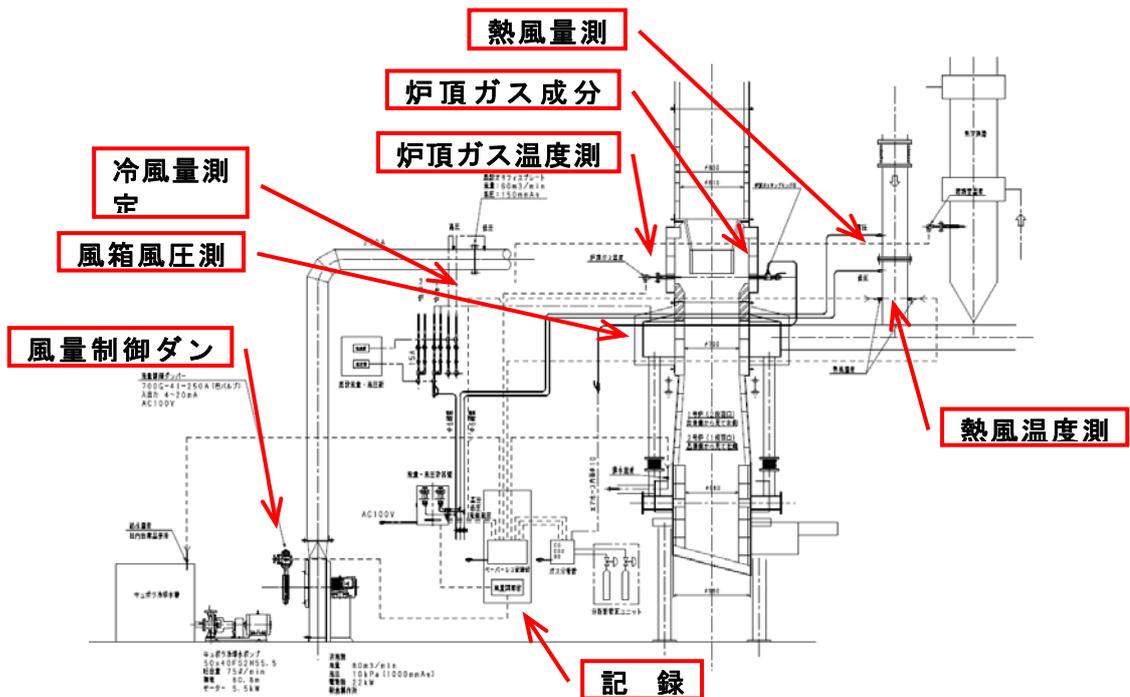


図 7 2t/h キュポラ計装フロー図 (伊藤鉄工機)

i-2. 実験結果

(ア) 操業状況

図8、図9に通常の鋳物用コークスを使用した場合の1段羽口操業と2段羽口操業における送風量、風箱風圧、送風温度、炉頂ガス温度、炉頂ガス成分の推移の一例を示した。注湯量やその他の状況により図8、図9に示すように1日の操業において送風量が10~33Nm³/minまで変動がある。しかしながらこの送風量の変動により送風量とその他の要因との関係を後述するように導き出すことができた。

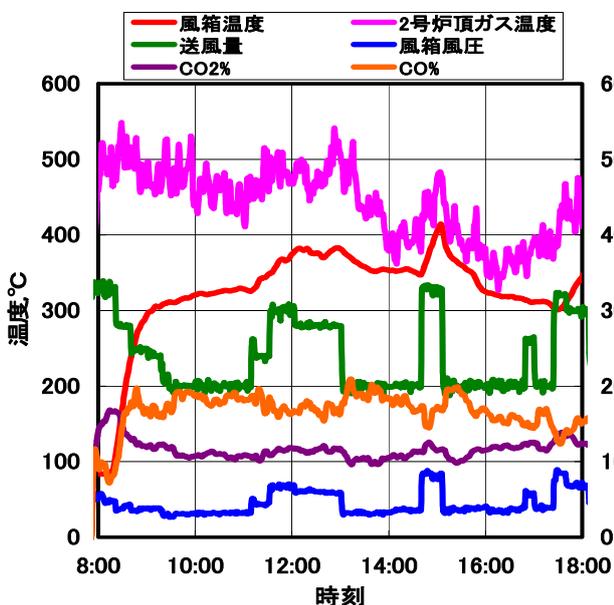


図8 キュポラ操業記録
(平成23年10月18日1段羽口)

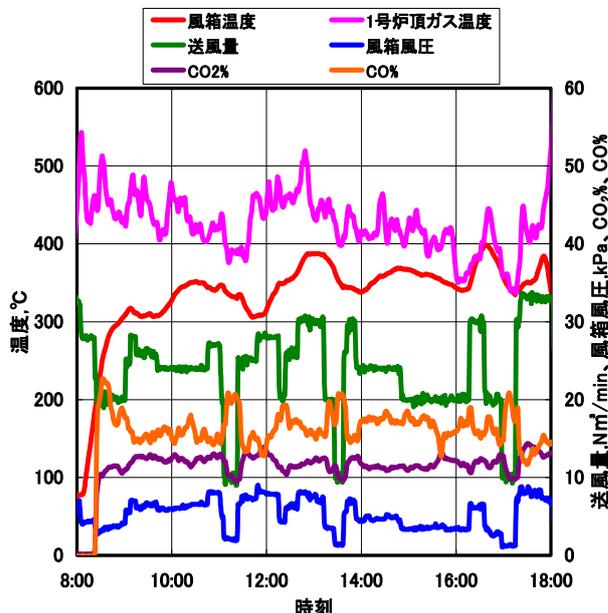


図9 キュポラ操業記録
(平成23年10月20日2段羽口)

(イ) 送風量と風箱風圧との関係

図10に1段羽口と2段羽口の送風量と風箱風圧との関係を比較した。理論的には風箱風圧すなわち炉内抵抗は送風量の2乗に比例するが、図10に示す通り送風量と風箱風圧はほぼ理論通りの結果になっており1段羽口と2段羽口の近似曲線を比較すると、その差はほとんど認められなかったが、2段羽口の場合、送風量に対して風箱風圧の変動が大きいことが知られた。

この原因は上下段羽口の風量分配を制御していないため炉内の状況、たとえば上段羽口前のコークスの状態、コークスの移動、コークスの燃焼状態等により上下段羽口への風量バランスが変動しているためと考えられる。

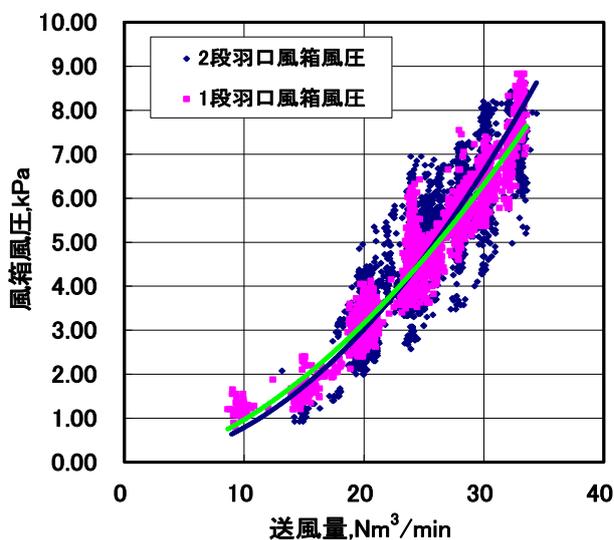


図10 送風量と風箱風圧との関係

(ウ) 送風量と溶解量との関係

図11に送風量と溶解量との関係を示した。

溶解量は送風量に比例し、その関係は1段羽口も2段羽口もほぼ同じであった。

(エ) 送風量と燃焼率との関係

図8、図9に示したように炉頂ガス中のCOガス濃度は1段羽口操業のほうが高く、送風量の変化に対応して変動していることが認められた。図12は送風量と燃焼率との関係を比較しているが、燃焼率は送風量が増加するほど高くなる傾向があり、また1段羽口と2段羽口を比較すると2段羽口のほうが高いことが認められた。表6、表7に示すように燃焼率の平均値では1段羽口は38.8%に対し、2段羽口では46.8%で2段羽口のほうが8%高い結果が得られた。

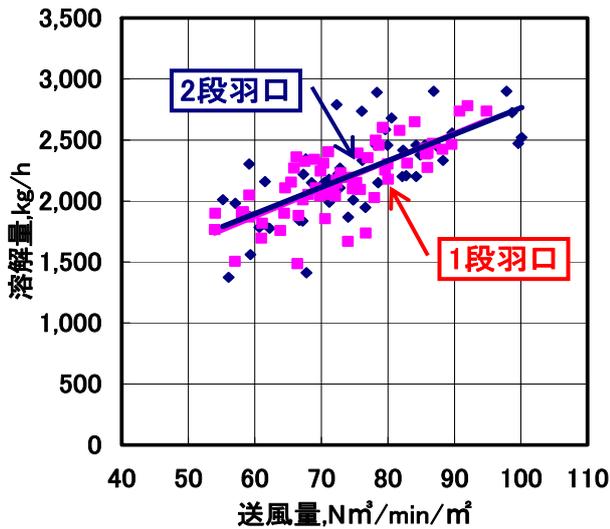


図 11 単位面積当たりの送風量と溶解量との関係

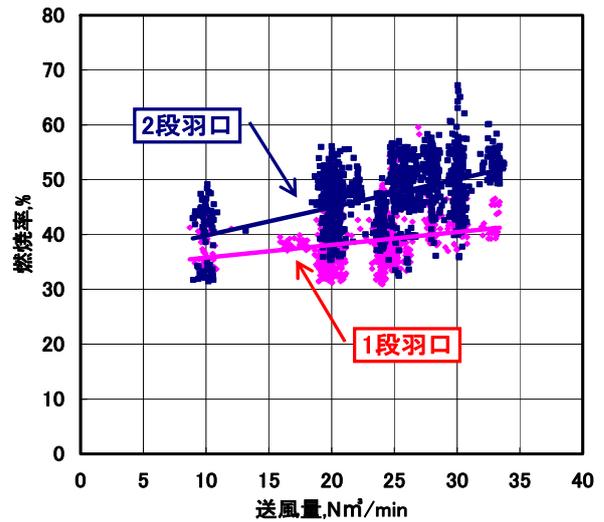


図 12 送風量と燃焼率との関係比較

表 6 送風量および送風温度と炉頂ガス温度および炉頂ガス成分の比較

羽口段数	送風量(Nm³/min)	送風温度(°C)	炉頂ガス温度(°C)	CO ₂ (%)	CO(%)
1 段羽口	23.2	357	430	11.0	17.8
2 段羽口	23.4	326	404	12.8	14.7

表 7 各操業結果の平均値比較

羽口段数	溶解速度(kg/h)	コークス比(%)	送風量(Nm³/h)	空気比	燃焼率(%)
1 段羽口	2,141	12.9	1,425	0.63	38.8
2 段羽口	2,211	12.3	1,491	0.67	46.8

空気比=送風量/(コークス燃焼量 x コークス中の固定炭素量 x 8.9Nm³/kg)

燃焼率=CO₂%/(CO₂%+CO%) x 100

(オ) 溶解効率の比較

送風量やコークス比などその日によって操業条件が異なり同一条件で比較することができないため、入熱量と出熱量を計算し1段羽口と2段羽口操業を熱量的に比較した。すなわち溶解効率をもって両者を比較することとした。表8に入熱量と溶湯保有熱を計算し溶解効率を比較した結果を示した。

表8は安定操業している10時から16時までの1時間ごとの入熱量と溶湯保有熱を1日単位で平均した数値を示している。さらに1段羽口と2段羽口に類別し平均した溶解効率を比較すると1段羽口は33.6%に対し、2段羽口は35.6%になり、2段羽口のほうが1段羽口より2%溶解効率が高くなっていることが知られた。

図13に送風量と溶解効率との関係を示した。送風量の変動に対し溶解効率はほぼ横ばいで推移し、全体的に2段羽口操業のほうが高い傾向が認められた。

前節で2段羽口操業のほうが燃焼率は8%高い結果を示したが、図14に示す燃焼率と溶解効率との関係を見ると、2段羽口のほうが燃焼率、溶解効率とも高くなっており、2段羽口により燃焼効率が向上し溶解効率が向上したことが実証された。

表 8 入熱量と溶湯保有熱および溶解効率の比較

羽口段数	全入熱量 (x10 ⁶ kcal/h)	コークス燃焼熱 (x10 ⁶ kcal/h)	送風顕熱 (x10 ⁶ kcal/h)	溶湯保有熱 (x10 ⁶ kcal/h)	溶解効率 (%)
1 段羽口	2.12	1.95	0.17	0.65	33.6
2 段羽口	2.10	1.92	0.17	0.68	35.6

全入熱量=コークス燃焼熱+送風顕熱

溶湯保有熱=溶解速度 x (出湯温度-20) x 0.204kca/kg・°C

溶解効率=溶湯保有熱/コークス燃焼熱 x 100

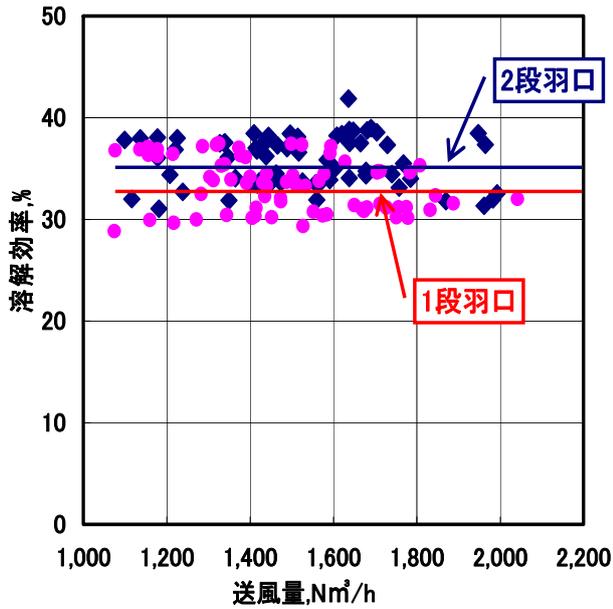


図 13 送風量と溶解効率との関係

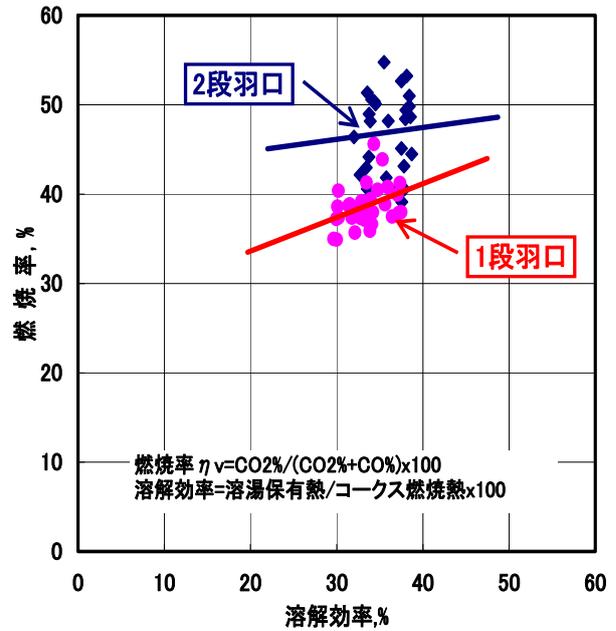


図 14 燃烧率と溶解効率との関係比較

(カ) 出湯温度と出湯成分の比較

表 9 に出湯温度と出湯成分の平均値を示した。材料配合割合やコークス比は日々異なるが、表 8 に示したように入熱量は 2 段羽口のほうが少ないにもかかわらず、出湯温度は 16°C 高く、吸炭量は 0.11% 多いという結果が示された。

図 15 に送風量と出湯温度との関係と比較した。出湯温度は送風量の増加とともに上昇する傾向があり、2 段羽口キュボラでは FC 溶解の割合が多く、コークス比や入熱量が低いにもかかわらず出湯温度は 1 段羽口より統計的に高い結果が認められた。

表 9 出湯温度および出

羽口段数	出湯温度(°C)	出湯 C
1 段羽口	1,516	3.6
2 段羽口	1,532	3.6

吸炭量=出湯 C 量-地金配合 C 量

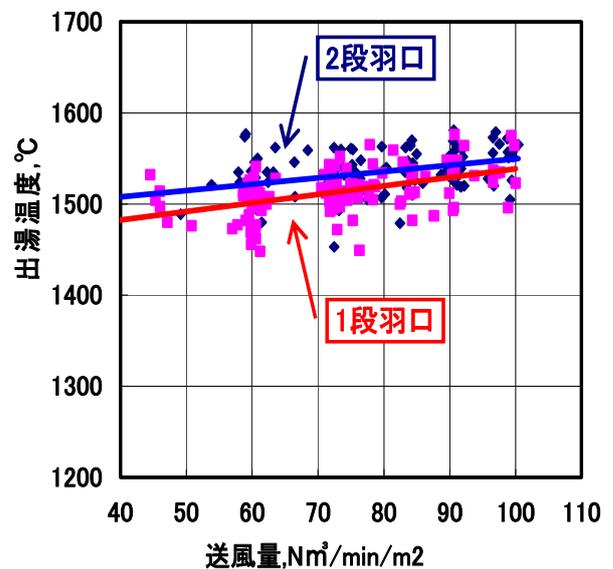


図 15 送風量と出湯温度との関係比較

(キ) 熱収支の比較

表 10 に測定結果の平均値をもとに 1 段羽口操業における熱収支表を示し、表 11 には 2 段羽口操業における熱収支表を示した。

表 10 1 段羽口操業における熱収支表

伊藤鉄工（鑄物用コークス、1 段、熱風）

2.2 T/H

溶解効率

32.4 %

20111024

入熱				出熱			
	Data	熱量 (kcal/T)	%		Data	熱量 (kcal/T)	%
1.コークス発熱量		949,478	90.7	1.溶湯保有熱		307,632	29.4
コークス中の固定炭素(%)	91.3			出湯温度 (°C)	1,508		
コークス比 (%)	12.9			2.スラグ保有熱		14,522	1.4
2.熱風顕熱		71,810	6.9	スラグ発生量 (%)	3.0		
送風量 (Nm ³ /min)	23.5			出滓温度 (°C)	1,508		
熱風温度 (°C)	340			3.石灰石分解熱		9,798	0.9
3.Fe酸化熱		272	0.0	石灰石投入量 (%)	2.3		
(スラグ中の1%がFeOとする)				4.炉頂ガス顕熱		99,471	9.5
4.Si酸化熱		22,299	2.1	炉頂ガス量 (Nm ³ /min)	26		
				炉頂ガス温度 (°C)	408		
5.Mn酸化熱		3,017	0.3	5.COガス燃焼熱		381,132	36.4
(溶湯中の0.6%のMnのうち30%が酸化したとする)				炉頂ガス CO (%)	17.6		
				炉頂ガス CO ₂ (%)	10.8		
				6.冷却水持出熱		50,855	4.9
				溶解帯冷却水量 (L/H)	10,000		
				給排水温度差 (°C)	11		
				7.その他の熱損失		183,466	17.5
合計		1,046,876	100.0	合計		1,046,876	100.0

溶解速度：2.163t/h

溶解効率：32.4%

表 11 2 段羽口操業における熱収支表

伊藤鉄工（鑄物用コークス、2段、熱風）

2.2 T/H

溶解効率

36.5 %

20111020

入熱				出熱			
	Data	熱量 (kcal/T)	%		Data	熱量 (kcal/T)	%
1.コークス発熱量		856,588	88.44	1.溶湯保有熱		312,732	32.3
コークス中の固定炭素(%)	91.3			出湯温度 (°C)	1,533		
コークス比 (%)	11.6			2.スラグ保有熱		14,763	1.5
2.熱風顕熱		72,509	7.49	スラグ発生量 (%)	3.0		
送風量 (Nm ³ /min)	23.2			出滓温度 (°C)	1,533		
熱風温度 (°C)	350			3.石灰石分解熱		9,798	1.0
3.Fe酸化熱		272	0.03	石灰石投入量 (%)	2.3		
(スラグ中の1%がFeOとする)				4.炉頂ガス顕熱		102,352	10.6
4.Si酸化熱		36,213	3.74	炉頂ガス量 (Nm ³ /min)	26		
				炉頂ガス温度 (°C)	428		
5.Mn酸化熱		3,017	0.31	5.COガス燃焼熱		352,605	36.4
(溶湯中の0.6%のMnのうち30%が酸化したとする)				炉頂ガス CO (%)	16.6		
				炉頂ガス CO ₂ (%)	11.8		
				6.冷却水持出熱		50,528	5.2
				溶解帯冷却水量 (L/H)	10,000		
				給排水温度差 (°C)	11		
				7.その他の熱損失		125,820	13.0
合計		968,598	100.0	合計		968,598	100.0

溶解速度：2.177t/h

溶解効率：36.5%

ii. 高灰分コークスを用いた 2 段羽口溶解実験

ii-1. 実験に使用したコークスの性状

実験ではベッドコークスに鑄物用コークスを使用し、追込めコークスに高灰分コークスを使用した。表 13 に実験に使用したコークスの性状を示した。

表 12 実験に使用したコークスの性状

コークス種類	粒度	組成(%)				真比重	見掛比重	気孔率(%)	SI強度	発熱量(kcal/kg)	
		灰分	揮発分	固定炭素	S						
鋳物用コークス	通常B	90~150	8	0.7	91.3	0.46	1.93	—	43.2	98.7	7,377
	細粒	70~100	7.4	0.6	92	0.69	1.95	1.39	28.7	—	7,434
高灰分コークス	粗粒(鋳物用)	120~150	12.3	1.2	86.5	0.67	1.91	1.22	36.1	—	6,989
	細粒(高炉用)	40~90	13.8	2.5	83.7	0.46	1.92	1.2	37.6	95.8	6,763

ii-2. 実験結果

(ア) 操業状況

ベッドコークスに鋳物用コークスを 400kg 投入し、その内羽口上の燃焼し消失するコークスは容積計算から約 300kg である。よって初込め後、追込めコークスを 300kg 投入する時間は 9 時以降となり、9 時以降は高灰分コークス配合による操業になっていると考えられる。

表 13 に各実験条件における操業結果の平均値を比較した。図 16~18 に鋳物用高灰分コークス 50%配合溶解と高炉用高灰分コークス 100%溶解における操業状況を示した。

表 13 高炉用コークスを使用した場合の各操業結果の平均値比較

羽口段数	コークス	溶解速度(kg/h)	コークス比(%)	送風量(Nm ³ /h)
1	鋳物用 100%	2,141	12.9	1,425
	鋳物用 50%+高灰分 50%	2,047	12.3	1,244
	高炉用 100%	2,252	13.4	1,217
2	鋳物用 100%	2,211	12.3	1,491
	鋳物用 50%+高灰分 50%	2,222	12.7	1,370

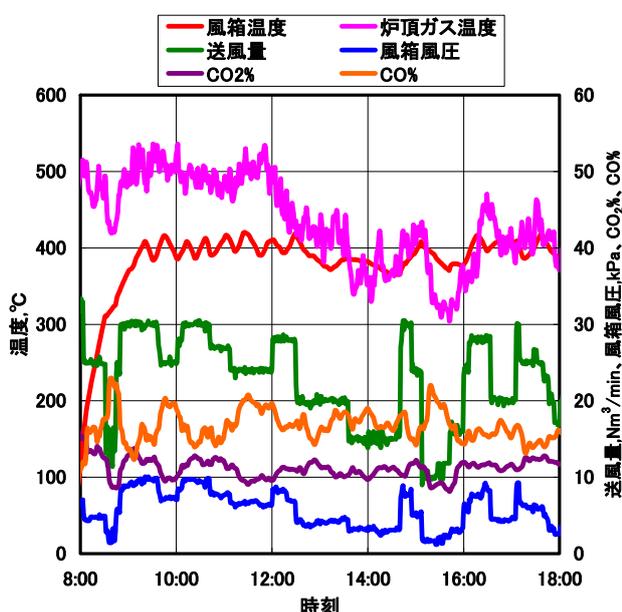


図 16 1 段羽口キュボラによる高灰分コークス 50%配合溶解(2011 年 11 月 15 日)

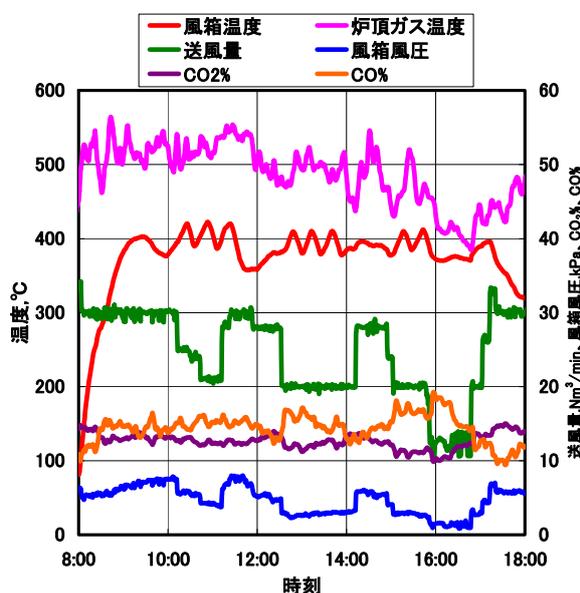


図 17 2 段羽口キュボラによる高灰分コークス 50%配合溶解(2011 年 11 月 21 日)

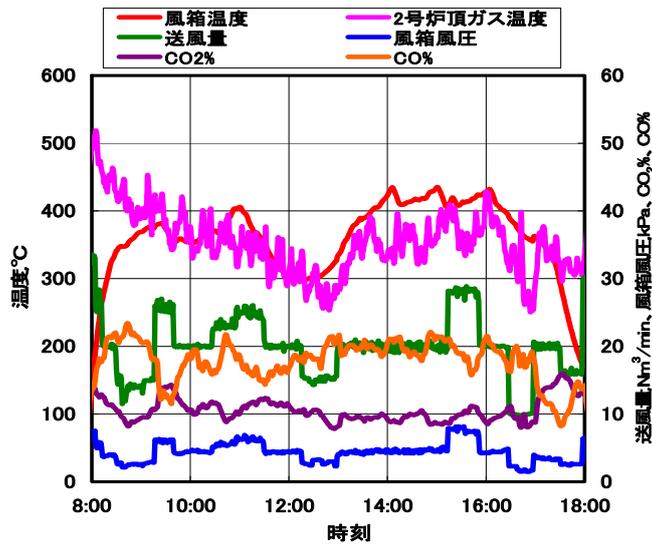


図 18 1 段羽口キュボラによる高炉用コークス 100%溶解 (2011 年 11 月 29 日)

(イ) 送風量と風箱風圧との関係

図 19 に高灰分コークス 50%配合溶解における送風量と風箱風圧との関係を 1 段羽口と 2 段羽口で比較した。その結果, 2 段羽口操作では 1 段羽口に比べて風箱風圧は全体的に低下する傾向が認められた。図 20 に鋳物用コークス 100%溶解と細粒高炉用コークス 100%溶解における送風量と風箱風圧との関係を比較した。図 20 に示すように風箱風圧は細粒高炉用コークス使用により全体的に高くなる傾向が認められ, 鋳物用コークス使用時に比べて風箱風圧は約 2kPa (200mmAq) 増加した。

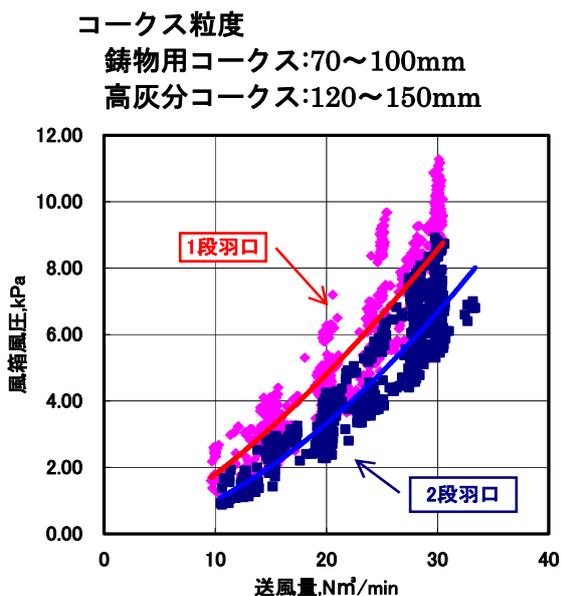


図 19 高灰分コークス 50%配合溶解における送風量と風箱風圧との関係

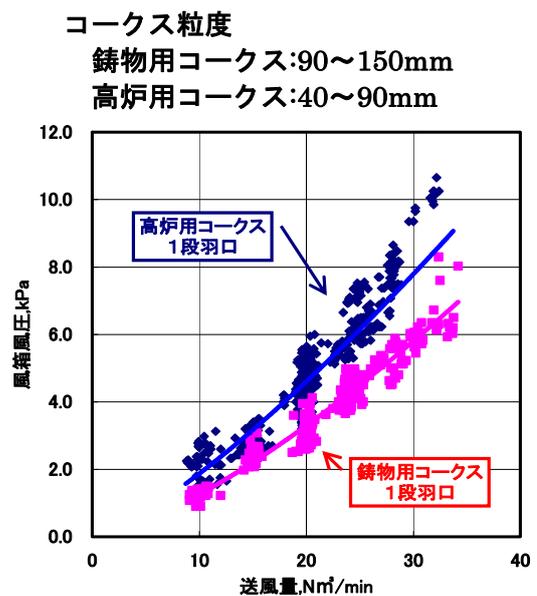


図 20 粗粒鋳物用コークスと細粒高炉用コークス 100%を使用した場合の送風量と風箱風圧との関係比較

(ウ) 炉頂ガス成分の変化

表 14 に高炉用コークスを使用した場合の炉頂ガス成分と燃焼率の比較を示し、図 21～23 に高灰分コークス 50%配合溶解および高炉用コークス 100%溶解における炉頂ガス成分と燃焼率の推移を示した。高炉用コークス配合による CO 濃度の増加，燃焼率の低下は認められず，2 段羽口による燃焼率は維持された。

小粒の高炉用コークス 100%溶解においては，鋳物用コークス溶解に比べて CO 濃度の増加や燃焼率の低下が予想されたがあまり差が認められない。これは炉頂ガス温度の低下や溶解速度の増加，後述する出湯温度の低下などの結果より，コークスベッドの低下が推察される。

表 14 高炉用コークスを使用した場合の送風量および送風温度と炉頂ガス温度および炉頂ガス成分の比較(平均値)

羽口段数	コークス	送風量 (Nm ³ /min)	送風温度 (°C)	炉頂ガス 温度(°C)	CO ₂ (%)	CO(%)	燃焼率 (%)
1 段	鋳物用 100%	23.2	357	430	11.0	17.8	38.2
	鋳物用 50% 高灰分 50%	19.2	331	380	11.1	15.7	41.6
	高炉用 100%	20.3	340	342	10.8	17.0	39.2
2 段	鋳物用 100%	23.4	326	404	12.8	14.7	46.6
	鋳物用 50% 高灰分 50%	23.1	374	477	12.8	14.5	46.9

上表のデータは 10 時～16 時までの平均値を示す。
燃焼率=CO₂%/(CO₂%+CO%)x100

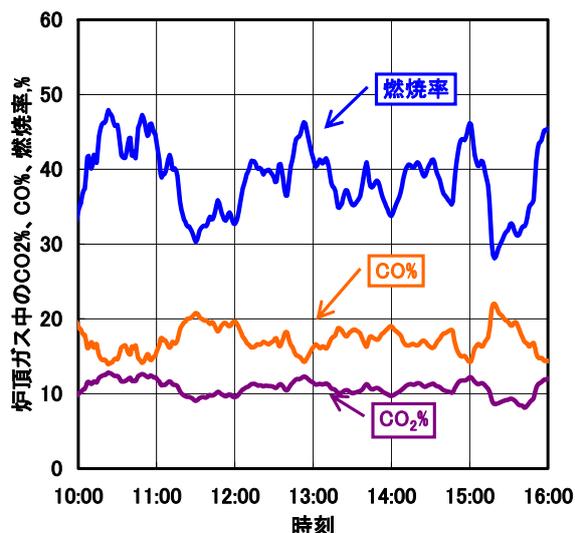


図 21 炉頂ガス成分(2011 年 11 月 15 日)
1 段羽口キュボラ，高灰分コークス 50%配合

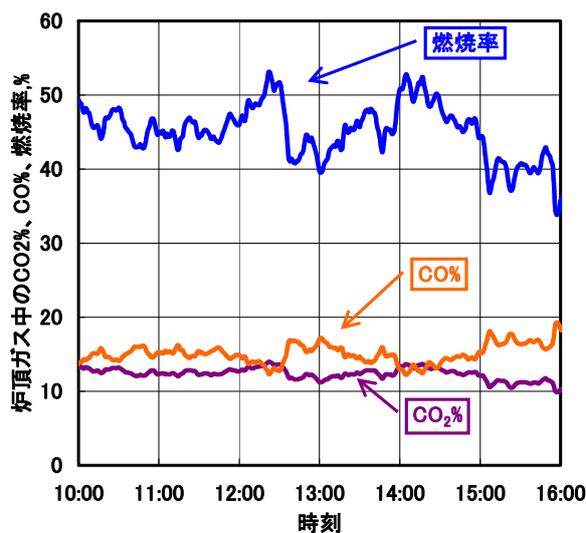


図 22 炉頂ガス成分(2011 年 11 月 21 日)
2 段羽口キュボラ，高灰分コークス 50%配合

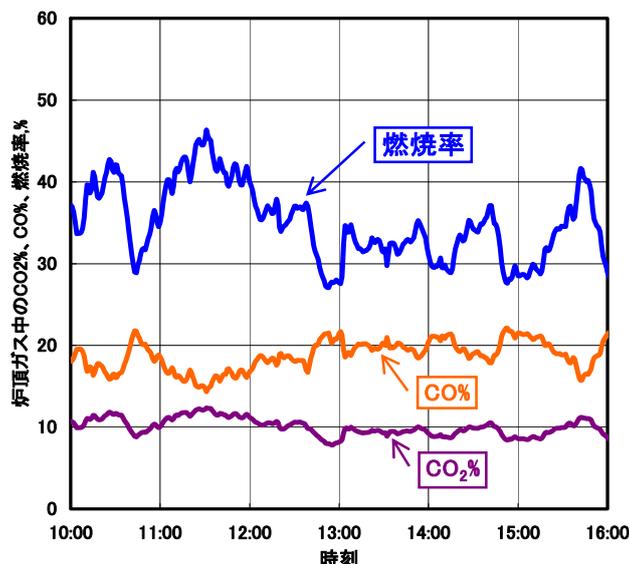


図 23 炉頂ガス成分(2011年11月29日)
1段羽口キュポラ, 高炉用コークス 100%

(エ) 溶解効率の比較

表 15 に高灰分コークスを使用した場合の入出熱量と溶解効率の平均値の比較を示した。高灰分コークス 50%配合溶解では溶解効率に差が認められなかった。

表 15 高灰分コークスを使用した場合の入熱量と溶湯保有熱および溶解効率の比較(平均値)

羽口 段数	コークス	全入熱量 ($\times 10^6$ kcal/h)	コークス燃焼熱 ($\times 10^6$ kcal/h)	送風顕熱 ($\times 10^6$ kcal/h)	溶湯保有熱 ($\times 10^6$ kcal/h)	溶解効率 (%)
1	鑄物用 100%	2.12	1.95	0.17	0.65	33.6
	鑄物用 50%	1.90	1.76	0.14	0.62	35.6
	高灰分 50%					
	高炉用 100%	2.14	1.99	0.15	0.65	33.1
2	鑄物用 100%	2.10	1.92	0.17	0.68	35.6
	鑄物用 50%	2.10	1.93	0.17	0.67	35.1
	高灰分 50%					

全入熱量=コークス燃焼熱+送風顕熱

溶湯保有熱=溶解速度 \times (出湯温度-20) $\times 0.204$ kcal/kg \cdot $^{\circ}$ C

溶解効率=溶湯保有熱/コークス燃焼熱 $\times 100$

(オ) 出湯温度と出湯成分の比較

表 16 に高灰分コークスを使用した場合の出湯温度と出湯成分の平均値を比較し、図 24 に出湯温度の推移を比較した。

図 24 に示すように同一のコークス比では高灰分コークス配合により出湯温度はわずかに低下する傾向を示し、吸炭量も低下する傾向を示した。

高炉用コークス 100%溶解においては出湯温度が著しく低下し吸炭量も半減しているためコークスベッドの低下が推察され、コークス比をさらに増加する必要が認められた。

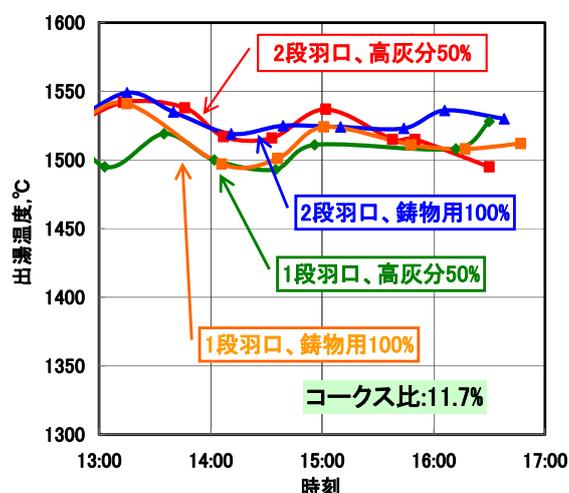


図 24 高灰分コークス配合溶解における出湯温度の推移比較

表 16 高灰分コークスを使用した場合の出湯温度および出湯成分の平均値比較

羽口段数	コークス	出湯温度(°C)	出湯C量(%)	吸炭量(%)	出湯Si量(%)
1	鋳物用 100%	1,516	3.69	0.61	1.86
	鋳物用 50% 高灰分 50%	1,528	3.55	0.45	2.12
	高炉用 100%	1,436	3.34	0.34	2.14
2	鋳物用 100%	1,532	3.62	0.72	2.09
	鋳物用 50% 高灰分 50%	1,528	3.59	0.53	2.08

吸炭量=出湯C量－地金配合C量

iii. 研究成果

伊藤鉄工(株)において2t/h熱風キュポラを1段羽口と2段羽口で操業した場合のデータを比較し、下記のように2段羽口操業の特徴と有効性を実証した。

(ア)溶解量は送風量に比例して増加するが、増加量は1段羽口も2段羽口も同じである。

(イ)燃焼率は、2段羽口のほうが8%高い結果が得られた。

(ウ)溶解効率は、2段羽口のほうが2%高い結果が得られた。

(エ)上記の結果より本研究の2段羽口により燃焼効率が向上し溶解効率が向上することが認められた。

(オ)2段羽口により出湯温度の上昇、吸炭量の増加が認められた。

(カ)送風量との関係では、本実験の範囲内では送風量の増加とともに風箱風圧、溶解量、燃焼率、出湯温度は上昇するが、溶解効率は一定となり最適上限風量を特定することはできなかった。

(キ)高灰分コークス配合溶解において50%配合で1段羽口と2段羽口の風箱風圧を比較すると2段羽口の方が風箱風圧は低くなった。小粒の高炉用コークス100%溶解では従来の鋳物用コークス使用に比べ全体的に2kPa風箱風圧が高くなった。

(ク)高灰分コークス使用時における燃焼率と溶解効率を1段羽口と2段羽口で比較するとその差はほとんど生じなかった。

(ケ)コークス比を従来と同じにした高炉用コークス100%溶解では、出湯温度が低下し、出湯C量と吸炭量が低下し、コークスベッドの低下が推察された。

②-2. 送風羽口の設計と製作

i. 炉内圧力解析実験

i-1. 研究内容

平成22年度の研究において2段羽口は、燃焼率や溶解効率向上に寄与し、高炉用コークス100%の使用を実現するのに有効であることが認められた。ただし、そのメカニズムが明確でない。平成23年度は、シミュレーション実験で炉内圧力分布を測定解析し、そのメカニズムを明らかにした。

i-2. 実験方法

(ア) 実験計画

表17に炉内圧力解析実験の要因と水準を示した。実験装置は(株)ナニワ炉機研究所で使用したパイロットキュポラと伊藤鉄工(株)の2.0T/Hキュポラと同じ炉内径とし、2段羽口の羽口間距離も同じにした。

表 17 炉内圧力解析実験の要因と水準

要因	水準									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
実験 No.										
炉内径 (mm)	400						650			
羽口本数	4	8	4+4	4	8	4+4	6	3+3	6	3+3
コークス粒径 (mm)	30	30	30	60	60	60	30	30	120	120
空隙率 (%)	51.4	51.4	51.4	53.8	53.8	53.8	51.4	51.4	54.3	54.3
羽口段数	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2
羽口比	14.3	7.1	7.1	14.3	7.1	7.1	15.3	15.3	15.3	15.3
羽口内径 (mm)	52.9						67.9			
上下羽口間距離 (mm)	0	0	200	0	0	200	0	250	0	250
コークスベッド高さ (mm)	800						1150			
送風量 (m ³ /min/m ²) [m ³ /min]	100 [12.6]						100 [33.2]			

炉内径 400mm の場合、1 段羽口で羽口本数 4 本の場合と 8 本の場合の 2 水準とした。

また 2 段羽口では上段 4 本，下段 4 本の 1 水準とした。

コークスは 3 種類の粒径の鋳物用コークスを使用し，粒径の範囲は 30mm: 30-50mm, 60mm: 40-80mm, 120mm: 90-150mm の範囲とした。

空隙率は後述の実測値を示す。

(イ) 実験装置

図 25 に炉内圧力解析実験装置の全体図を示し，図 26 に実験装置の設置状況を示した。

図 27 は実験装置内部の圧力測定パイプを示し，図 28, 29 に内径 400mm 実験装置の羽口取り付け状況を示した。

図 30 は内径 650mm 実験装置に粒径 30mm のコークスを充填した状態，図 31 は粒径 120mm のコークスを充填した状態を示した。

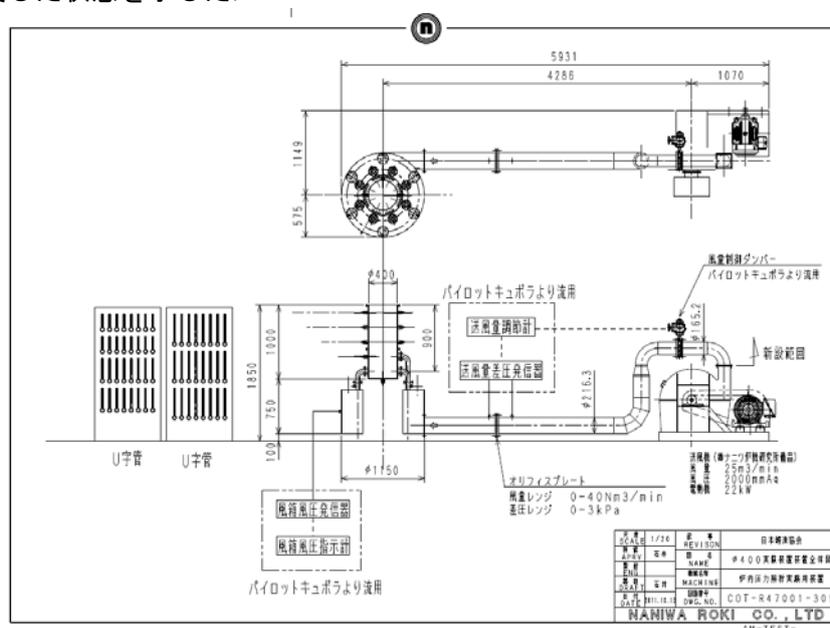


図 25 炉内圧力解析実験装置の全体図



図 26 実験装置の設置状況

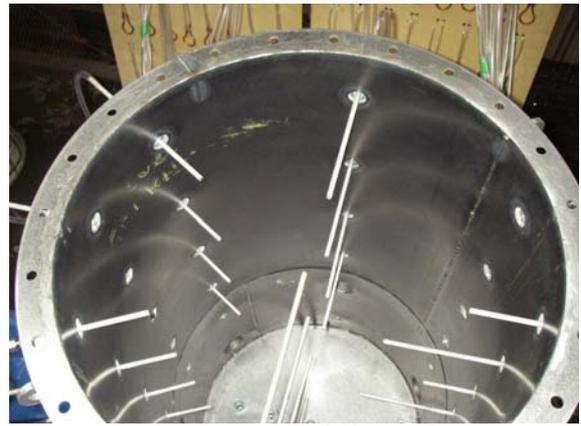


図 27 φ650 実験装置内部



図 28 φ400-8 本羽口実験装置



図 29 φ400-2 段羽口実験装置



図 30 φ650 実験装置に 30mm コークス充填



図 31 φ650 実験装置に 120mm コークス充填

(ウ) 炉内空隙率測定

コークス粒度の炉内抵抗に及ぼす影響は、下記の(1)式に示す充填層の圧力損失計算式 (Kezeny-Carman の式)を利用すれば推定することができるが、キューボラ炉内にコークスを充填した場合の空隙率やレイノルズ数は、実験により求めなければわからない係数である。

(1)式を簡単に説明すると、炉内圧力損失は風速の二乗と層の厚さおよび比表面積に比例し、粒径と空隙率の 3 乗に反比例することがわかる。

充填層(固定層)の圧力損失計算式より

$$\Delta P = f' \left(\frac{G^2}{g \cdot \rho_g} \right) \left(\frac{L \cdot S_0}{\varepsilon^3} \right) \dots \dots (1) \quad \text{Kozeny-Carman の式}$$

△P: 厚さ L における圧力損失(kg/m²) 1kg/m²≒1mmAq L : 充填層の厚さ(m)

f': 修正摩擦係数 =1.25(Re)^{-0.3} レイノルズ数 Re=20~150 の範囲(高炉の場合)

Re: レイノズル数 $Re = \frac{v_0 \cdot \rho_g}{\mu \cdot S_0}$, G: ガスのみかけ質量速度(kg/sec・m²) $G = \rho_g v_0$

$g=9.8\text{m/sec}^2$, ρ_g : 気体の密度(kg/m³)=1.293 (0°C Air), v_0 : ガスのみかけ流速(m/sec),

S_0 :比表面積(m²/m³), $S_0 = \frac{6(1-\varepsilon)}{\phi \cdot d \times 10^{-3}}$, ε : 空隙率, ϕ : 球係数 0.7,

d: 装入物の平均粒直径(mm)

そこで本実験では前述の実験装置の一部を利用し、実際に本実験で使用する粒径のこなる鑄物用コークスを使用し空隙率を実測した。

i-3. 実験結果

(ア) 炉内空隙率測定結果

図 32 に炉内空隙率測定結果よりコークス粒径と比表面積および空隙率との関係を示した。その結果、空隙率はコークス粒径が大きいほど高くなる傾向が認められたが、コークス粒径が 4 倍になっても空隙率は 3.5%増加するだけであるが、比表面積は 1/4 になり、前項(ウ)の(1)式より粒径による炉内抵抗への影響が大きいことが知られる。

(イ) コークス粒径と炉内抵抗との関係

図 33 にコークス粒径と炉内抵抗との関係を示したが、炉内抵抗は図 33 に示すようにコークス粒径が小さいほど大きくなり、炉内径 400mm の場合、コークス粒径 60mm に対し粒径が 30mm に半減すると炉内抵抗は 2.4 倍に増加し、炉内径 650mm ではコークス粒径 120mm に対し粒径が 1/4 になると炉内抵抗は 3 倍に増加した。

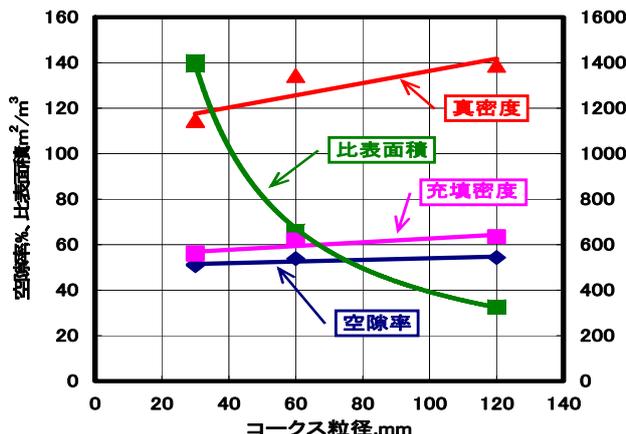


図 32 コークス粒径と比表面積および空隙率との関係

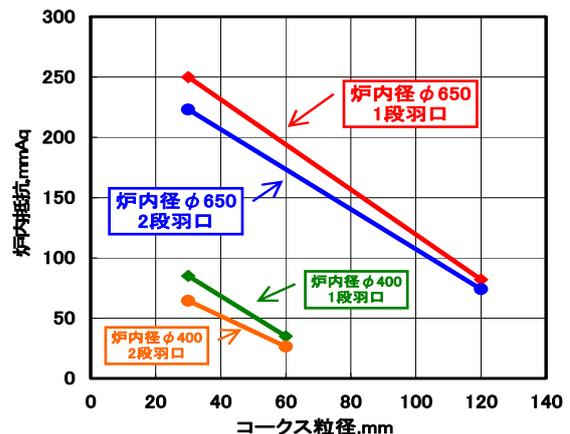


図 33 コークス粒径と炉内抵抗との関係

(ウ) 2 段羽口と炉内抵抗との関係

2 段羽口にすればコークス粒度に関係なく炉内抵抗を下げることができ、表 18, 図 34 に示すように炉内径 400mm では 75%に炉内抵抗が減少し、炉内径 650mm では 90%に炉内抵抗が減少することが認められ、上下羽口間距離の炉内径やコークスベッド高さに対する比率が大きいほど効果の大きいことが認められた。

表 18 上下羽口間距離と炉内抵抗との関係

コークス粒径(mm)	30	60	30	120
上下羽口間距離 / 炉内径	0.5	0.5	0.38	0.38
上下羽口間距離 / コークスベッド高さ	0.25	0.25	0.22	0.22
炉内抵抗減少率	0.76	0.75	0.89	0.90

炉内抵抗減少率=2 段羽口炉内抵抗 / 1 段羽口炉内抵抗 ×100
炉内抵抗は実験による実測値で計算

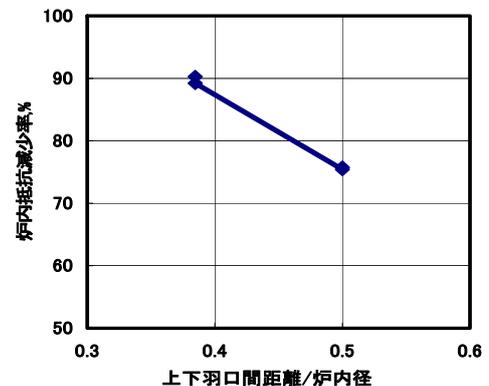


図 34 上下羽口間距離の比率と炉内抵抗減少率との関係

(エ) 1 段羽口と 2 段羽口の炉内圧力分布

図 35 に炉内径 650mm の実験装置における炉内圧力分布を 1 段羽口と 2 段羽口で比較した。炉内圧力は下段羽口レベルの中心部での圧力が 2 段羽口の場合、1 段羽口より低下する傾向が認められ、上段羽口レベルで中心部の圧力が下段羽口レベルより高くなる傾向を示した。

これより 2 段羽口では炉内上下方向および炉内中心部まで送風空気が浸透拡大し、コークス燃焼領域が拡大することが推測される。

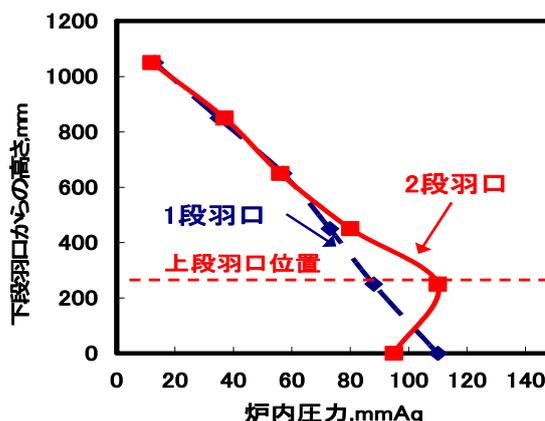


図 35 炉内中心部における圧力分布
(炉内径 650mm, コークス粒径 30mm)

ii. 研究成果

キュポラ炉内の圧力測定により小粒コークスの使用や 2 段羽口送風による送風空気の挙動を冷間にシミュレーション実験を行い数値的に解明した。その結果は次の通りである。

- (ア) 粒径 30~120mm のコークスを使用した場合の炉内空隙率は、50.8~54.3%でコークス粒径が大きくなるほど空隙率が大きくなる傾向を示したが、比表面積は粒径が 1/4 になると 4 倍に増加し炉内抵抗に対する粒度の影響が大きいことが知られた。
- (イ) コークス粒径と炉内圧力との関係を測定した結果、炉内径 650mm 炉で通常使用されるコークス粒径 120mm に対し、粒径 30mm のコークスを使用すれば、炉内抵抗が 3 倍増加した。
- (ウ) 炉内抵抗に及ばず 2 段羽口の効果では炉内径に対する上下羽口間距離の比率は 0.5 で 75%に炉内抵抗が減少し、0.38 で 90%に炉内抵抗が減少した。
- (エ) 炉内圧力分布を測定した結果、2 段羽口では上段羽口レベルの圧力が高くなり、上下および炉内中心部までコークス燃焼領域が拡大することが確認された。

③ 熱風発生技術の確立と装置の開発

③-1. 排出ガスの組成、温度および排出量の測定

i. 小型実用炉を用いた熱風操業による溶解実験(株及精鑄造所)

「高灰分(高炉用)コークスの実用化に向けた熱風操業の有効性実証試験」

i-1. 研究内容

本研究では平成 21 年度にパイロットキュポラに本研究で開発した熱交換器を設置しその効果を確認した。平成 22, 23 年度においては、(株)及精鑄造所に設置した小型実用キュポラ用熱交換器を使用し、熱風操業の有効性を実証するため現状の鑄物用コークスを使用した場合の冷風操業と熱風操業の比較検討およびコークス比削減の可能性を実証し、高炉用コークスの実用化を実現した。

i-2. 実験方法

(株)及精鑄造所において 1.5t/h 冷風キュポラに排熱回収型の熱交換器を設置し冷風と熱風で操業した場合のデータを比較した。また高炉用コークスを使用した実験操業についてもデータを比較検討した。図 36 に 1.5t/h キュポラ溶解設備の計装フロー図を示した。キュポラは同じ構造で熱交換器を接続した東側キュポラと従来通りの西側キュポラを使用し比較した。表 19 にキュポラの構造と主要寸法を示し、表 20 に実証試験の操業条件一覧を、表 21 に実験に使用したコークスの性状を示した。

表 19 キュポラの構造と主要寸法

形 式	水冷キュポラ	送風形式	冷風	熱風
溶解能力 [t/h]	1.5	羽口本数	6 本	6 本
羽口面内径 [mm]	590	羽口寸法 [mm]	φ 100	φ 100
有効高さ [mm]	3220	羽口角度	水平	水平
有効高さ比	5.5	羽口比	6	6
羽口~炉底までの深さ [mm]	380	羽口風速 [m/s]	11	20
ベッド高さ [mm]	(1200~1300)	送風量 [Nm ³ /min]	30	27
ベッドコークス投入重量 [kg]	220	送風温度 [°C]	20~30	300

表 20 実証試験条件一覧

溶解能力 (t/h)	熱風・冷風別	羽口構造	コークス種類	コークスサイズ (mm)	コークス配合 (%)	コークス比 (%)	銑鉄 (%)	鋼屑 (%)	戻材 (%)	コークス単価比
1.5	冷風	1 段	鋳物用	90~120	100	20.8	15	25	60	100
	熱風	1 段	鋳物用	90~120	100	16	40	5	55	100
	冷風	1 段	高炉用	40~90	100	17.5	12.5	27.5	60	72
	熱風	1 段	高炉用	40~90	100	17.5	12.5	27.5	60	72

冷風操業 溶解材質: FC250, 目標出湯成分: C: 3.25-3.55%, Si: 2.00-2.40%

熱風操業 溶解材質: FC150, 目標出湯成分: C: 3.45-3.75%, Si: 2.50-2.85%

表 21 実験に使用したコークスの性状

コークス種類	粒度	組成 (%)				気孔率 (%)	SI強度	発熱量 (kcal/kg)
		灰分	揮発分	固定炭素	S			
鋳物用 通常A	90~150	7	0.8	92.2	0.61	31.2	97.7	7,450
高灰分 細粒(高炉用)	40~90	13.6	1.6	84.8	0.51	37.5	94.8	6,852

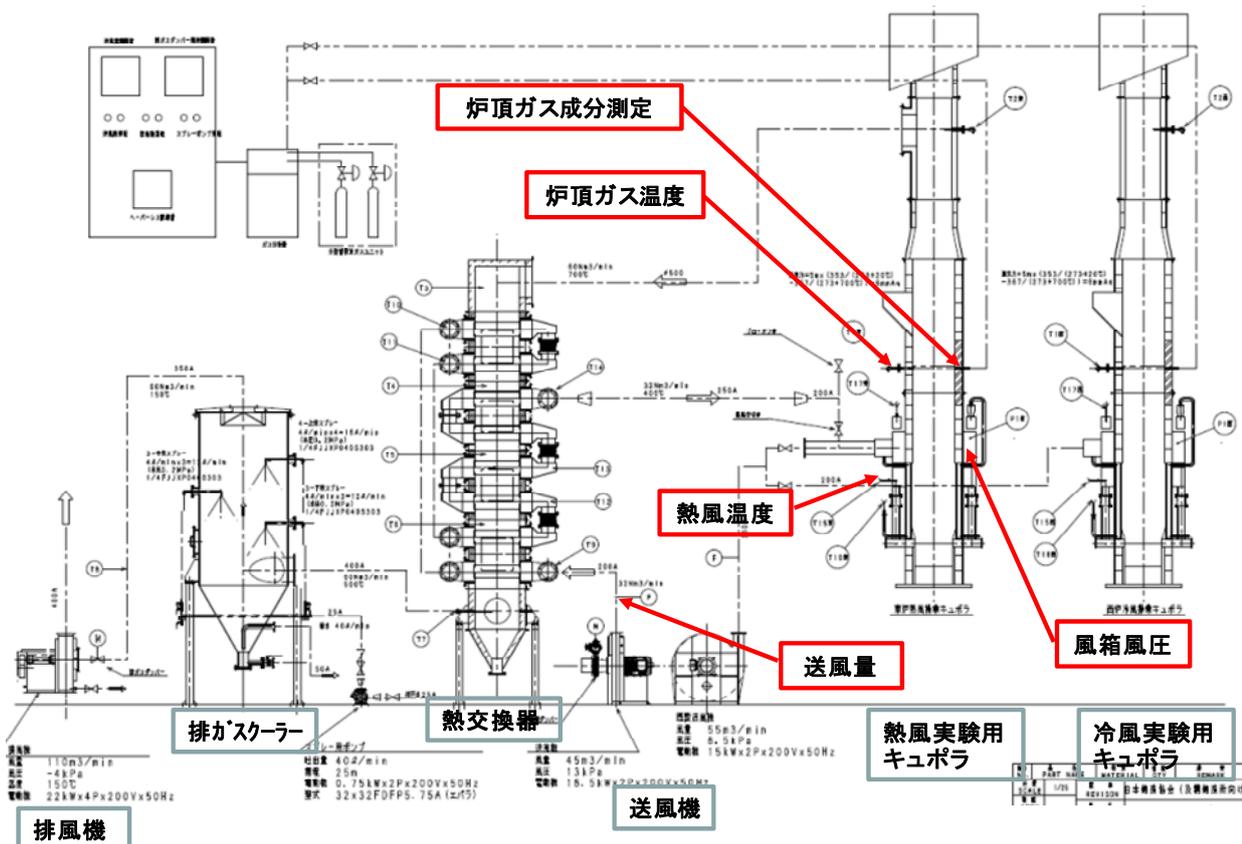


図 36 1.5t/h キュボラ計装フロー図(及精鑄造所)

i-4. 鋳物用コークスによる冷風操業と熱風操業の比較試験結果

(ア) 追込めコークス比の比較

追込めコークス比は、図 37 に示すように冷風(FC250)溶解で 20.8%対し、熱風(FC150)溶解では 16.0%まで低減しても支障なく溶解することができた。溶解速度は、冷風溶解で 1575kg/h に対し、熱風溶解では 1775kg/h に増加した。

(イ) 出湯温度の比較

図 38 に示すように出湯樋で測定した出湯温度は、熱風操業の場合、平均で 1499℃となり目標 1480℃に対し 19℃上回っていた。前炉での出湯温度を冷風と熱風で比較すると冷風操業での平均 1412℃に対し、熱風操業では平均 1431℃となり、19℃熱風操業のほうが高かった。

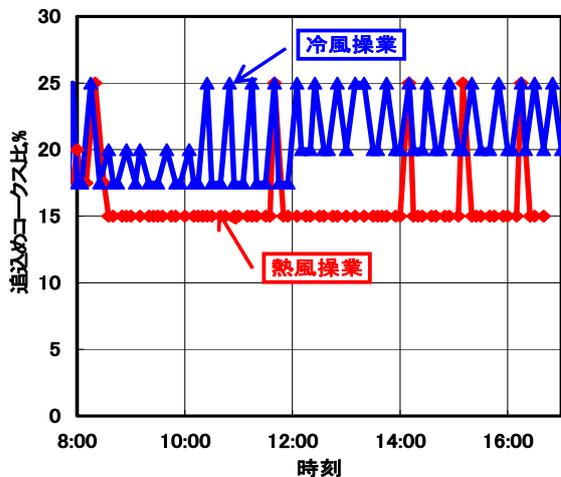


図 37 追込めコークス比の推移比較

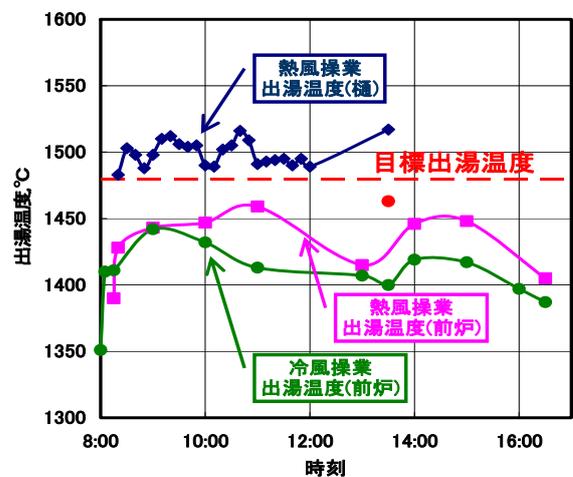


図 38 冷風操業と熱風操業の出湯温度の比較

(ウ) 出湯成分の比較

出湯成分は図 39 に示すように冷風 (FC250) 溶解における目標値 C:3.25~3.55%, Si:2.00~2.40% に対し、平均出湯 C 量は 3.45%, Si 量は 2.04%, 熱風 (FC150) 溶解における目標値 C:3.45~3.75%, Si:2.50~2.85% に対し、平均出湯 C 量は 3.65%, Si 量は 2.64% となり、コークス比を 4.8% 低減しても目標の範囲内であった。

(エ) 炉頂ガス成分と燃焼率の比較

図 40 に燃焼率の推移を示し表 22 に炉頂ガス成分と温度の平均値を比較した。熱風操業では冷風操業と比較すると CO が高く、CO₂ が低くなっている。燃焼率で比較すると冷風操業ではコークス比が 5% 多いにもかかわらず燃焼率が高くなっている。これは熱風による影響と送風量の差 (空気比の差) による影響と考えられ、熱風になればコークス燃焼温度の上昇、燃焼帯の低下により C+CO₂=2CO の還元反応が促進され CO 濃度が増加し燃焼率が低下するからである。

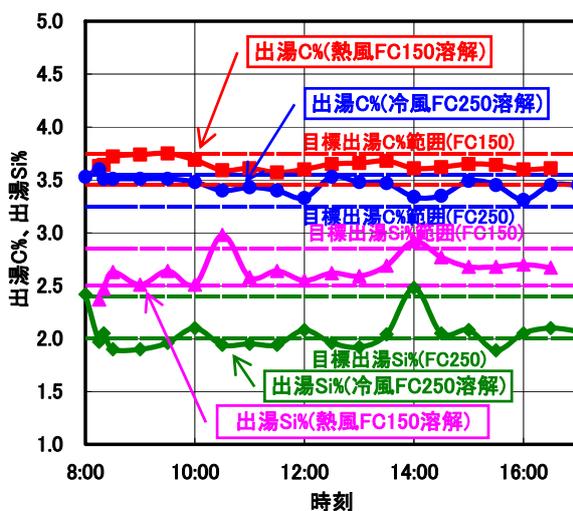


図 39 出湯成分の推移

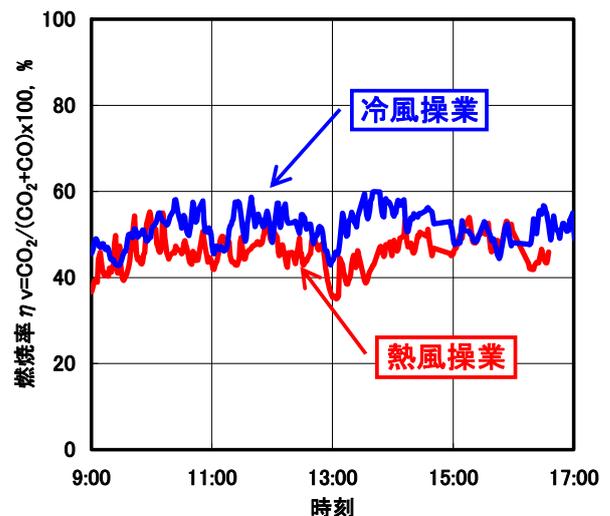


図 40 燃焼率の推移比較

表 22 炉頂ガス成分と炉頂ガス温度の平均値

	CO ₂ 濃度(%)	CO濃度(%)	燃焼率(%)	炉頂ガス温度(°C)	排ガス温度(°C)
冷風操業	13.1	12.5	51.3	500	600
熱風操業	12.1	14.4	45.7	400	719

炉頂ガス温度は熱風操業の方が冷風操業に比べて低くなっている。これは材料レベル(有効高さ)が同じであると考えれば、予熱帯での予熱効果が向上したためと考えられる。また逆に投入口の上で測定している排ガス温度は熱風操業の方が高くなっているが、これは熱風操業の方が炉頂ガス中のCO濃度が高いため投入口でのCOガス燃焼により排ガス温度が高くなったと考えられる。

(キ) 熱収支の比較

表 23, 表 24 に冷風および熱風操業の熱収支を示した。

冷風および熱風操業における溶解効率を比較すると表 25 に示すように熱風操業により 5.6% の溶解効率の向上が認められた。

表 23 冷風 (FC250) 溶解の熱収支

及精鑄造所 (鑄物用コークス、冷風) 1.575 T/H 溶解効率 20.3 % 20110912

入熱		データ	熱量 kcal/T	%	出熱		データ	熱量 kcal/T	%
1. コークス発熱量			1,484,781	95.7	1. 溶湯保有熱			301,920	19.5
コークス中の固定炭素 (%)	92				出湯温度 (°C)	1,480			
コークス比 (%)	20.0				2. スラグ保有熱			14,252	0.9
2. 熱風顕熱			17,601	1.1	スラグ発生量 (%)	3.0			
送風量 (Nm ³ /min)	31				出湯温度 (°C)	1,480			
熱風温度 (°C)	46				3. 石灰石分解熱			21,300	1.4
3. Fe酸化熱			272	0.0	石灰石投入量 (%)	5			
(スラグ中の1%がFe ₀ とする)					4. 炉頂ガス顕熱			176,670	11.4
4. Si酸化熱			47,301	3.0	炉頂ガス量 (Nm ³ /min)	34			
(炉内Siの30%が、酸化したとする)					炉頂ガス温度 (°C)	400			
5. Mn酸化熱			1,341	0.1	5. COガス燃焼熱			490,390	31.6
(溶湯中の0.4%のMnのうち20%が酸化したとする)					炉頂ガス CO%	12.5			
					炉頂ガス CO ₂ %	13.1			
					6. 冷却水持出熱			133,333	8.6
					溶解帯冷却水量 (ℓ/H)	3,000			
					給排水温度差 (°C)	70			
					7. その他の熱損失			413,429	26.7
合計			1,551,295	100.0	合計			1,551,295	100.0

表 24 熱風 (FC150) 溶解の熱収支

及精鑄造所 (鑄物用コークス、熱風) 1.775 T/H 溶解効率 25.8 % 20110913

入熱		データ	熱量 kcal/T	%	出熱		データ	熱量 kcal/T	%
1. コークス発熱量			1,184,528	89.3	1. 溶湯保有熱			305,796	23.1
コークス中の固定炭素 (%)	92				出湯温度 (°C)	1,499			
コークス比 (%)	15.9				2. スラグ保有熱			14,435	1.1
2. 熱風顕熱			78,428	5.9	スラグ発生量 (%)	3.0			
送風量 (Nm ³ /min)	31				出湯温度 (°C)	1,499			
熱風温度 (°C)	231				3. 石灰石分解熱			21,300	1.6
3. Fe酸化熱			272	0.0	石灰石投入量 (%)	5			
(スラグ中の1%がFe ₀ とする)					4. 炉頂ガス顕熱			156,764	11.8
4. Si酸化熱			61,214	4.6	炉頂ガス量 (Nm ³ /min)	34			
(炉内Siの30%が、酸化したとする)					炉頂ガス温度 (°C)	400			
5. Mn酸化熱			1,341	0.1	5. COガス燃焼熱			501,276	37.8
(溶湯中の0.4%のMnのうち20%が酸化したとする)					炉頂ガス CO%	14.4			
					炉頂ガス CO ₂ %	12.1			
					6. 冷却水持出熱			118,310	8.9
					溶解帯冷却水量 (ℓ/H)	3,000			
					給排水温度差 (°C)	70			
					7. その他の熱損失			207,901	15.7
合計			1,325,782	100.0	合計			1,325,782	100.0

表 25 溶解効率の比較

	溶解速度 (kg/h)	実質コークス比 (%)	出湯温度 (°C)	コークス燃焼熱 (kcal/h)	溶湯保有熱 (kcal/h)	溶解効率 (%)
冷風操業	1575	20.0	1480	2,341,584	475,524	20.3
熱風操業	1775	15.9	1499	2,097,948	542,788	25.9

$$\text{溶解効率}(\%) = \frac{\text{溶湯の保有熱}}{\text{コークス燃焼熱}} \times 100$$

実質コークス比 = 追込めコークス比 - 加炭に消費されるコークス比

コークス発熱量: 8080x0.92=7434kcal/kg, 溶湯の比熱: 0.204kcal/kg・°C

ii. 高灰分(高炉用)コークスを用いた熱風操業試験結果

(ア) コークス比と出湯温度

追込めコークス比は図 41 に示すように 17.5%を基準として操業したが、出湯温度は 1500°C以上となり、さらにさらに低減する余地が認められた。

(イ) 風箱風圧の比較

図 42 に送風量、風箱風圧、送風温度の推移を示したが、小粒の高炉用コークスの使用により鑄物用コークス使用時に比べて送風量が少なく、送風温度が低いにもかかわらず、風箱風圧は高くなった。

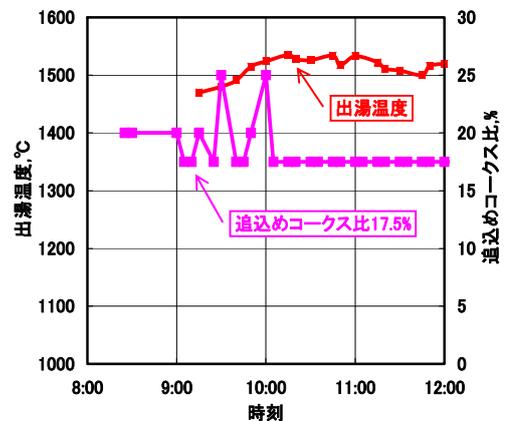


図 41 追込めコークス比と出湯温度の推移(高炉用コークス使用)

(ウ) 炉頂ガス成分と炉頂ガス温度

表 26 に炉頂ガス成分、燃焼率、炉頂ガス温度の平均値を鑄物用コークスと高炉用コークスを使用した場合の冷風操業と熱風操業の比較を示した。

図 43 に熱風操業での鑄物用コークスと高炉用コークスを使用した場合の炉頂ガス成分、燃焼率、炉頂ガス温度の推移を比較した。これらの結果より高炉用コークス使用により炉頂ガス中の CO 濃度が増加し、燃焼率が低下した。CO₂還元反応(吸熱反応)の増加により炉頂ガス温度が低下し、投入口での CO ガスの燃焼量増加により排ガス温度の上昇が認められた。

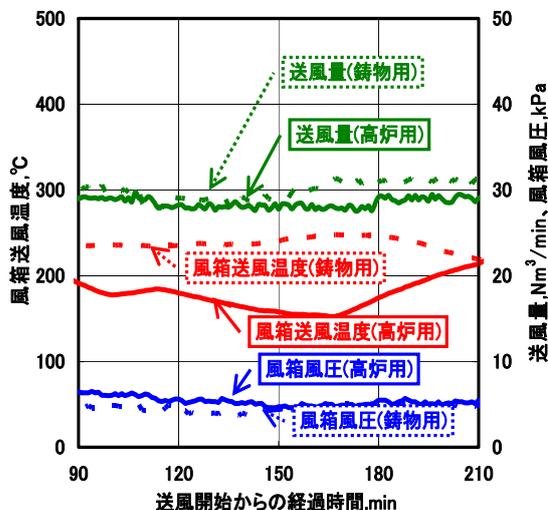


図 42 送風量、風箱風圧、送風温度の比較

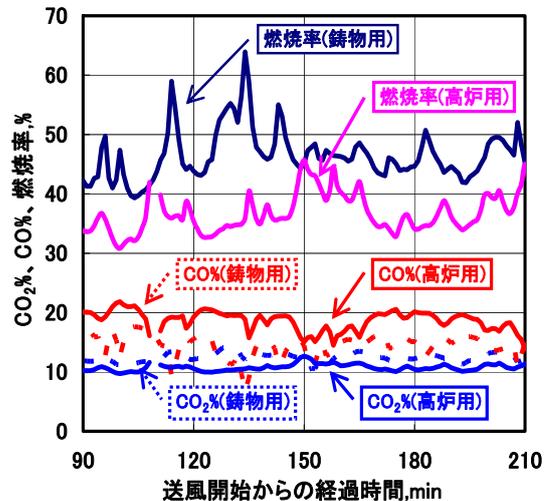


図 43 炉頂ガス成分と燃焼率および炉頂ガス温度の推移比較

表 26 高炉用コークスを使用した場合の炉頂ガス成分、燃焼率の比較

コークス	送風	CO ₂ 濃度 (%)	CO 濃度 (%)	燃焼率 (%)	炉頂ガス温度(°C)	排ガス温度(°C)
鋳物用	冷風	13.1	12.5	51.3	500	600
鋳物用	熱風	12.1	14.4	45.7	400	719
高炉用	熱風	10.6	18.2	37.0	382	753

(エ) 溶解効率の比較

表 27 に高炉用コークスを使用した場合の溶解効率を比較したが、鋳物用コークスを使用した熱風溶解では実質コークス比 15.9%に対し、高炉用コークスを使用した熱風溶解で 17.7%に増加し溶解した結果、溶解速度は低下したが、出湯温度は高く、溶解効率は 0.9%低下しただけであった。

表 27 熱風キュポラで高炉用コークスを使用した場合の溶解効率の比較

コークス	送風	溶解速度 (kg/h)	実質コークス比 (%)	出湯温度 (°C)	コークス燃焼熱 (kcal/h)	溶湯保有熱 (kcal/h)	溶解効率 (%)
鋳物用	冷風	1575	20.0	1480	2,341,584	475,524	20.3
鋳物用	熱風	1775	15.9	1499	2,097,948	542,788	25.9
高炉用	熱風	1667	17.7	1514	2,060,319	514,863	25.0

(オ) 出湯成分の比較

表 28 に出湯成分の平均値の比較を示し、図 44 に出湯温度と出湯成分の推移を示した。鋳物用コークスを使用した冷風操業時の実質コークス比 20%に対し、高炉用コークスを使用した熱風操業で 2.3%コークス比の低減が可能であることが証明されたが、出湯温度は目標の 1480°Cより高く、コークス比をさらに下げることが可能である。出湯成分は目標の範囲内で操業ができ高炉用コークス使用による悪影響は認められなかった。

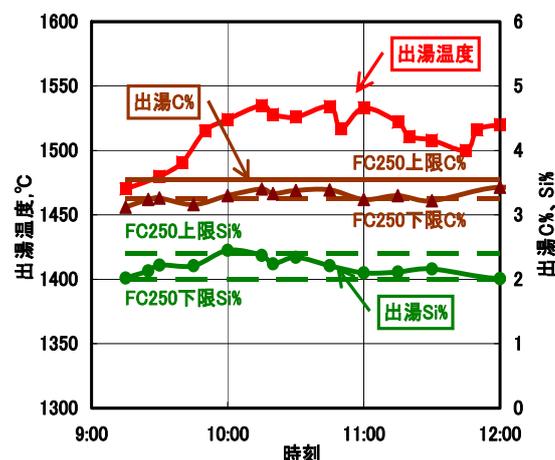


図 44 出湯温度と出湯成分の推移 (2011 年 10 月 21 日高炉用コークス使用)

表 28 熱風キュポラで高炉用コークス使用した場合の出湯成分の比較

コークス	送風	溶湯材質	目標 C%	出湯 C%	配合 C%	吸炭量(%)	目標 Si%	出湯 Si%
鋳物用	冷風	FC250	3.25-3.55	3.45	2.69	0.76	2.00-2.40	2.04
鋳物用	熱風	FC150	3.45-3.75	3.65	3.59	0.06	2.50-2.85	2.64
高炉用	熱風	FC250	3.25-3.55	3.29	2.60	0.69	2.00-2.40	2.20

iii. 研究成果

1. 5t/h の実用キュポラを用い熱風操業の有効性を実証するとともに高炉用コークスの実用化も実証することができた。以上の結果をまとめると次の通りである。

- (ア) 鋳物用コークス使用では追込めコークス比は冷風操業 20.8%に対し、熱風操業では 16.0%に低減することができた。
- (イ) 出湯温度は熱風操業でコークス比を 4.8%低減しても目標出湯温度に対し平均で 19°C高かった。
- (ウ) 熱風操業により溶解速度は、1575kg/h から 1775kg/h に増加し 12.7%の増加率であった。
- (エ) 熱風操業により溶解効率が 5.8%向上した。
- (オ) 熱風操業で高炉用コークスを使用した結果、実質コークス比を冷風操業より 2.3%低減しても

出湯温度は目標温度より 34℃高かった。

- (カ) 冷風操業に対し熱風操業や高炉用コークスの使用により燃焼率は低下したが、熱風操業による高炉用コークスの使用では溶解効率が 0.9%低下しただけである。
- (キ) よって、熱風温度をできるだけ高く維持すれば、高炉用コークス使用でもさらにコークス比の低減が期待できる。

③-2. 熱風炉（熱交換器）の設計と製作

i. 熱交換器の性能確認

i-1. 研究内容

開発した熱交換器を通過する排ガス温度と送風温度を詳細に測定し、熱交換器の熱交換率を確認し、実設計において要求される送風温度に対し、必要な伝熱面積を計算により決定できるよう諸データを採取した。

平成 21 年度のパイロットキュボラ用熱交換器では、長期の運転は不可能でメンテナンス性、ダストの付着状況などは継続して確認できなかった。平成 22, 23 年度は、(株)及精鑄造所に設置した熱交換器を長期間使用し、熱交換器の内部状況を継続して観察し熱交換性能、メンテナンス性を実証した。

i-2. 熱交換器の構造

本研究で開発した熱風炉（熱交換器）は、キュボラの排ガスを利用し、その排熱でキュボラに送風する空気を予熱する排熱回収型熱交換器である。

図 45 に示すように伝熱管を内装したユニットを 4 段積み重ね、上部より高温の排ガスを導入し、下部より伝熱管内部に送風空気を供給して熱交換する向流直交式熱交換器である。

特殊形状の伝熱管を使用しているため伝熱効率が高く、設置スペースが小さい。ユニット式のため老朽化した場合、高温側の 1 ユニットだけを部分的に取り替えることができ、経済的である。



図 45 及精鑄造所キュボラ溶解設備全景

i-3. 1.5t/h キュボラ実験用熱交換器の性能

図 46 は(株)及精鑄造所の 1.5t/h 実用小型キュボラに設置した熱交換器の排ガス温度と送風温度の推移を示し、表 29 に熱交換器の各部の温度と熱交換器の性能を示した。図 46, 表 29 に示すように熱風温度は設計目標温度 450℃に達し、長時間安定した熱風温度をキュボラに供給できることを確認した。

表 29 1.5 t/h キュボラ実験用熱交換器の平均温度と効率(改造後)

熱交入口排ガス温度(℃)	706
熱交出口排ガス温度(℃)	332
熱交入口送風温度(℃)	55
熱交出口送風温度(℃)	453
送風量(N m ³ /min)	32
伝熱量(kcal/h)	245,446
低温側温度効率	0.61
熱交換効率(%)	53.0
熱回収率(%)	11.3

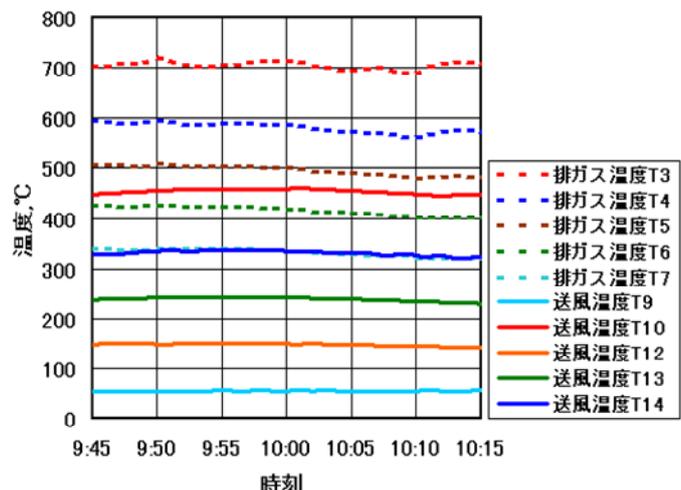


図 46 改造後の熱交換器の排ガス温度と送風温度の推移

伝熱量=送風量 x 平均比熱 x 送風温度差

伝熱量=総括伝熱係数 x 伝熱面積 x 対数平均温度差

$$\text{低温側温度効率} = \frac{\text{熱交出口送風温度} - \text{熱交入口送風温度}}{\text{熱交入口排ガス温度} - \text{熱交入口送風温度}}$$

$$\text{熱交換効率}(\%) = \frac{\text{伝熱量}}{\text{熱交換器入口排ガス顕熱}} \times 100$$

$$\text{熱回収率}(\%) = \frac{\text{伝熱量}}{\text{伝熱量} + \text{コークス燃焼熱}} \times 100$$

iii. 熱交換器のメンテナンス性

図 47, 図 48 は熱交換器の内部伝熱管の状況を示している. 高熱にさらされる伝熱管は熱膨張と収縮を繰り返し, 金属疲労による変形や亀裂を生じ長期間の使用により部分的な補修が必要となる. またキュポラから出た多くのダストを含む排ガスが熱交換器に導入されるためダストが伝熱管に付着し成長して定期的に清掃する必要が生じる場合がある. 本研究で開発した熱交換器は, 2 年間の使用で変形や損傷がなく, これらの写真で見られるようにダストの過度の付着もなく, メンテナンスが不要で熱交換率の低下も生じないことが確認できた.



図 47 伝熱管最上段上面の状況
稼働 1 年後撮影



図 48 伝熱管最上段上面の状況
稼働 2 年後撮影

iv. 研究成果

本研究で開発した熱交換器をパイロットキュポラと 1.5t/h の実用キュポラに設置し熱交換性能を確認した. その結果は次の通りである.

- (ア) 熱交換器の性能は, 設計目標を 100%クリアし, 改善策によりさらに熱交換効率の優れたキュポラ用熱交換器を開発することができた.
- (イ) 1.5t/h 実用キュポラで熱交換器を長期間使用し, 熱交換器の内部状況を継続して観察し熱交換性能, メンテナンス性, ダストの付着状況を調査した結果, ダストの付着も殆どなくメンテナンス性もすぐれていることが実証できた.

④ 溶銑の品質管理技術の確立

④-1 実操業下での溶銑品質の確認

表 30 に伊藤鉄工(株)における高灰分コークス 50%配合溶解における製品の機械的性質と化学成分を示し, 表 31 に(株)及精鑄造所における高炉用コークス 100%溶解における製品の機械的性質と化学成分を示した. 両者ともに高灰分コークスの使用において製品の品質や化学成分に問題がないことを確認した.

表 30 高灰分コークス 50%溶解における製品の機械的性質と化学成分

材質		引張強度 (N/mm ²)	耐力 (N/mm ²)	伸び (%)	硬度 (HB)	化学成分(%)					
						C	Si	Mn	P	S	Mg
FCD450	下限	450		10	140	3.45	2.7	0.2	0.02	0	0.04
	上限				210	3.80	3.4	0.6	0.06	0.035	0.07
鑄物用コークス 100%		489	356	20	174	3.73	2.78	0.27	0.04	0.016	0.04
高灰分コークス:50%		482	335	21	170	3.61	2.89	0.29	0.038	0.024	0.05
鑄物用コークス:50%		485	346	20	170	3.65	3.02	0.24	0.041	0.027	0.04

表 31 高炉用コークス 100%溶解における製品の機械的性質と化学成分

材質	機械的性質		化学成分(%)				
	引張強度(N/mm ²)	硬度(HB)	C	Si	Mn	P	S
目標	>250	<241	3.25-3.55	2.00-2.40			
FC250	264	197	3.23	2.23	0.92	0.079	0.067

④ - 2 スラッグの生成と処理技術の確立

高灰分コークスの使用によりスラッグ発生量の増加が予想されたが、実操業において支障をきたすほどのスラッグ発生量の増加は認められなかった。よって特別な処理技術の必要はなく、従来の処理技術で対応できた。

最終章 全体総括

平成 21 年度は、2 段羽口送風技術および高効率の熱交換器を開発し、パイロットキュポラを用いての燃焼試験や溶解実験にて、その効果を確認すると共に高炉用コークス使用の可能性を確認した。

平成 22 年度は、この研究成果を基に小型実用キュポラにて、開発した 2 段羽口送風技術および高効率の熱交換器を用いて溶解実験を行ない、その結果、2 段羽口、熱風操業は出湯温度の上昇に寄与することが確認でき、高炉用コークス 100%での操業の可能性も確認できた。

平成 23 年度は、送風能力の増強を行ない送風制御技術の最適化を追究し、2 段羽口のメカニズムを追究した。さらに、熱交換器の効率向上を達成し、高炉用コークス 100%使用した安定操業技術の確立を目指した。以上の研究結果をまとめると、

- 1) 本研究で開発した2段羽口を実用小型炉に設置し、2 段羽口により燃焼率が 8.4%向上し、溶解効率が 2%向上した。その結果、2 段羽口操業が高灰分コークスを実用化する上で有効であることが確認できた。
- 2) 小粒のコークスの使用や 2 段羽口送風によるキュポラ炉内における送風空気の挙動をシミュレーション実験を行い数値的に解明した。
- 3) 小型実用キュポラに熱交換器を設置し、熱風操業によりコークス比を 5%削減することができ、高炉用コークスの実用化に大きく寄与することを確認した。
- 4) 本研究で開発した熱風炉(熱交換器)の効率改善策を実施し、熱交換効率が 7%向上し、メンテナンス不要も確認して設計を完了した。
- 5) 高灰分コークスを使用した場合の溶銑品質として組成は目標の範囲内であることを確認し、材質も正常であることを確認した。
- 6) 高灰分コークスの使用を可能にする小型キュポラの操業技術および 2 段羽口と熱交換器等の溶解装置の技術開発を完了し、事業化のめどがついた。平成 24 年度は事業化を推進する。

専門用語等の解説

鋳物用コークス	キュポラ溶解の熱源として効率よく働くように、適度な粒度に揃え、強度を強くし、固定炭素を高く灰分を低く抑えた鋳物生産用に適したコークス。
高炉用コークス	高炉で鉄鉱石を還元するときの還元剤としての炭素の供給源および、装入物を加熱・溶解するための熱源として使用されるコークス。
風箱	送風機からの空気を溜めて、各羽口から炉内へ均等に送風されるように設置されたもの。
キュポラ	円筒状の溶解炉。コークスを底部に詰め(ベッドコークス)、その上に鉄、鋼スクラップ、戻り材などの鉄材とコークス(追い込めコークス)を置き、コークスの燃焼熱で鉄材を溶かす。コークスの溶解を促進するため空気を吹き込む。
固定炭素	コークス中の灰分、揮発分を除いた残分の固定された炭素をいい、キュポラ溶解のエネルギーの源泉となるものである。
熱風キュポラ	送風空気を熱交換器等により加熱し熱風を送りコークスの燃焼効率を高

	めて操業できるようにしたキュポラをいう。
冷風キュポラ	常温の空気を送風する基本的なキュポラをいう
コークス比	投入地金量に対する投入コークス量の比率。
実質コークス比	追込めコークス比ー加炭に消費されるコークス比
吸炭量	コークス中の炭素から溶湯中に吸炭される炭素量
スプレーポンプ	排出ガスの冷却に用いる水を供給するポンプ。
スラグ	コークス中には SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ などを主成分とする灰分を含み、造滓材として添加される CaO とともに融点 1350℃以下の複合酸化物を生成する。これをスラグという。
熱風炉（熱交換器）	キュポラの炉頂から排出される C O ₂ と CO の混合ガスを利用し、CO ガスを燃焼して高温を発生させ、その熱で空気を高温に加熱して羽口からキュポラに送風するための設備。
羽口	キュポラの空気の吹き込み口を羽口という。
2 段羽口	キュポラの空気吹き込み口を上下 2 段に配置した羽口をいう
ベッド高さ	ベッドコークスは、溶解に直接寄与するもので操業中一定になるように管理される。このベッドコークスの装入高さをいう。
溶銑	キュポラで溶解された鑄鉄鑄物用の溶融鉄。
溶解帯装置	風箱、羽口導管、羽口等から形成される溶解に関わる装置。
炉頂ガス	キュポラの材料挿入口付近のガス。炉頂ガスの組成を分析することで炉内の状況を推察できる。また、炉頂ガスを熱交換器に引き込み、場合によっては、更に燃焼させ、この熱を利用して送風空気を加熱し熱風化することが行われる。
燃焼率	炉頂ガス中の二酸化炭素の割合を示し、次式により求められる。 CO ₂ % / (CO ₂ % + CO%) x 100
溶解効率	コークス燃焼熱に対する溶湯保有熱の割合

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。