

氏 名	上 條 綱 雄
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 4 年 3 月 18 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 50 年 3 月 東北大学大学院工学研究科金属材料工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	冶金用コークスの高炉使用上から見た強度に関する 基礎的研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 萬谷 志郎 東北大学教授 大森 康男 東北大学教授 徳田 昌則

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

高炉におけるコークスの最も重要な役割は、高炉内充填層の空隙を保持して通気、通液性を確保することであり、そのためには高炉装入前から炉内降下中におけるコークスの粒径、強度の低下とそれに伴う粉の発生をできるだけ少なくする必要がある。従来から強度を評価するために各種強度指数が検討されているが、いずれも物理的な根拠が不明確である点と、高炉内でのコークス挙動を十分反映していない点に問題があった。

そこで、本研究では、輸送工程から高炉内下部領域までのコークス強度変化に影響を及ぼす因子について、破壊力学と反応論的観点から基礎的に把握し、また、炉芯ゾンデによる高炉炉芯充填構造の解明、および高炉内コークス粒径変化の数学的モデルによる検討から、高炉内コークス挙動を明らかにすることにより、高炉でのコークス必要性状を明確にすることを目的にした。

第 2 章 コークス性状の破壊力学的検討

本章では高炉装入前のコークス強度変化を明らかにするため、コークス性状の破壊力学的検討について述べている。

コークスの強度を間接引張強度により検討し、WEIBULL の分布関数による整理を行った。従来の評価法では把握できなかった輸送中にコークス性状が変化するスタビライズ効果について検討

し、図1に示すような WEIBULL の分布関数における確率密度関数により考察した。その結果、コークスの種類に依存した粒度構成と引張強度分布の関係を明らかにし、スタビライズをしていくとAコークスのように均質化が進むものと、Bコークスのように低強度部が脱落して引張強度が上昇するものがあることを明らかにした。この結果を基に、輸送工程の改善に対する提言を行った。

さらに、輸送工程でのコークスの破壊に対する初期粒径と引張強度の影響を明らかにするために、破壊後のコークス粒径は粗粒が引張応力により、微粒がせん断応力により生じるものとして、粒径分布をそれぞれ GUADIN-MELOY-HARRIS の式と ROSIN-RAMMLER の式で表し、両式を菅原の式で結合した。その結果を用いて、高炉へ装入するコークス粒度を制御する指針を定量的に提示できた。

第3章 コークス性状の反応論的検討

本章ではコークスの反応性に及ぼす因子を明らかにするために、コークス偏光組織成分とコークス灰分の影響を検討し、数学モデルによる整理を目的とした。

コークス偏光組織成分は石炭性状に依存しており、異方性組織が発達している方が反応性は低く、反応後強度は高いことを明らかにした。そこで、粘結材を添加して異方性組織を増加することにより、反応性を改善できたことから、粘結材（褐炭SRC）の冶金用コークスへの利用を可能にした。また、高温におけるコークス灰分の還元揮発反応に伴う炭素質との反応、引張強度の変化を灰分添加コークスを用いて検討した。装入コークス灰分を増加した高炉試験を行ったが、炉況に問題はなく、利用原料炭範囲の拡大とコストダウンが達成できた。

コークスの反応性に及ぼす因子を速度論的に整理した。各コークスについて、化学反応速度式を TURKDOGAN-VINTERS の式で整理し、粒内拡散モデルを用いて気孔率の影響も考慮したコークス塊の反応性を検討した。図2に、1050℃でのコークス塊内の反応率分布の計算値と灰分分布から換算した実測値を比較して示した。低温反応であるのでコー

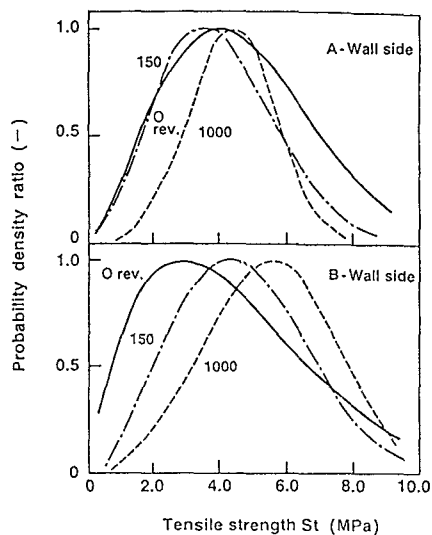


図1 コークスの引張強度の確立密度分布

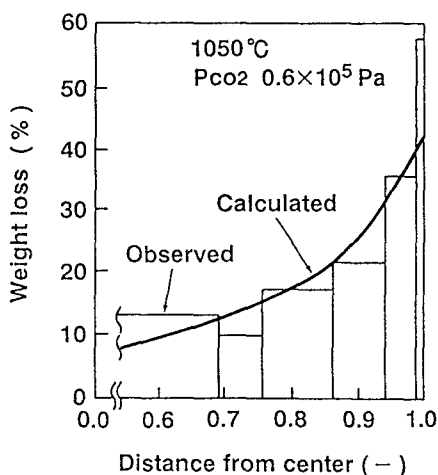


図2 コークス塊内部の反応率分布

クス塊内部まで反応するが、その様子を計算モデルは良く表している。

第4章 高炉内コークスの挙動

本章ではコークスの高炉内挙動、特にコークス粉の発生、蓄積機構を明らかにすることを目的に、神戸 No. 3 BF において休風時に、羽口部から高炉の中心部まで挿入できる炉芯ゾンデによる検討を行った結果について述べている。

コークス粉の羽口レベルでの半径方向の分布より、通気抵抗指数と炉中間部の粉率との相関関係を、また、垂直水平ゾンデで推定した融着帯形状と粉率の関係を見いだした結果、炉芯充填構造の重要性を初めて実証的に明らかにした。採取コークス塊の断面内部の反応率分布の詳細な検討により、粉は融着帯近傍におけるソリューションロス反応の結果、塊表面から剥離して発生したことを見いだした。さらに、同一サンプリング位置におけるコークスの塊と粉の履歴温度差と、図3に示したレースウェイ由来のコークス粉の混合による見掛けの履歴温度変化の検討から、炉芯部へのコークス粉は炉の上部から主に由来することを明らかにした。

すなわち図3より、レースウェイ由来の1800°Cの履歴温度を示すコークス粉を高炉炉頂で採取された1100°Cのコークスに混合して見掛けの履歴温度変化を見ると、炉芯内の温度1600°Cはレースウェイ由来コークスが25%程度混合することで到達してしまうことから、レースウェイから飛散してくるコークス粉があまり多くないことが推定できる。

炉況が炉芯部の充填構造に強く影響されることから、マーカーコークス装入により炉芯の更新日数を調べ、炉芯コークスの制御について検討した。その結果、炉芯へのコークス流入経路を実炉で実証し、コークス中心装入技術の開発に結び付けた。

第5章 数学モデルによる解析

本章では第4章の結果を基に、ソリューションロス反応による高炉内コークス粒径変化をコークス物性および高炉内条件から推定し、炉芯充填構造が炉内状況に及ぼす影響の解析を目的にした。

高炉2次元ガス流れモデルとソリューションロス反応モデルにより高炉内のCO₂濃度、温度等を推定し、その条件を基に粒径推定モデルにより炉内のコークス粒径変化を推定した。粒径推定モデルは、コークスの塊内強度分布に着目し、限界強度の概念を導入しているものである。コークスの粒径変化と炉芯へのコークスの流れを考慮したモデル解析により、コークス強度、Ore/Coke

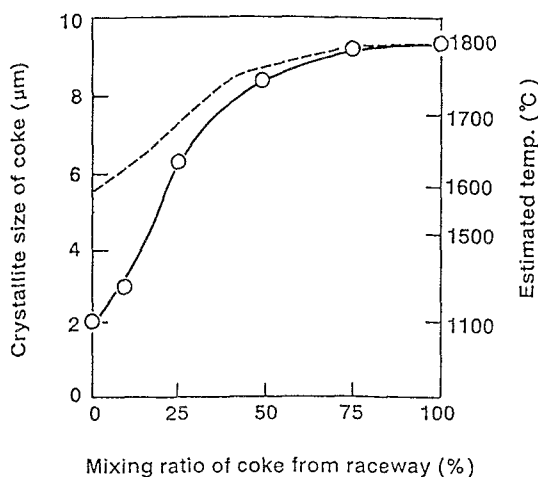


図3 レースウェイ由来コークス粉の混合による見掛けの履歴温度変化

が変化した時の炉内状況の変化を解析した結果、炉芯の充填状態が炉内温度分布に大きく影響することを明確にした。

粒径推定モデルによる考察から、コークスの強度と化学反応速度の関係より、反応劣化したコークス表面層の幅が粉化の発生量を支配することを明らかにした。図4に反応モデルを模式的に示したが、高炉内でコークスの到達反応率が同程度で

あるならば、反応性の高いコークスはより表面反応となり、反応劣化層は薄くなり、反応性の低いコークスはその逆となる。その結果、均質組織で強度が高ければ、反応性の高いコークスでも高炉内では粉化しにくいコークスとなり、高炉使用できる可能性を明らかにした。

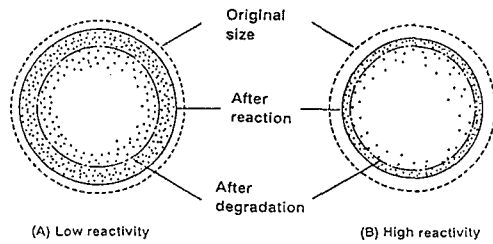


図4 反応モデルの模式図

第6章 高反応性コークスの使用

本章では、炉内サンプリング結果と粒径推定モデルを基にしたコークスの新しい性状評価法と、それに基づいた高反応性コークスの高炉使用の試みについて述べている。

高炉内粉化指数測定法により、成型コークスを含む各種コークス評価を行った結果を図5に示した。粉化指数 S_{rsi} で評価すると、反応性が高いため反応後強度 RSI が低くて従来使用できなかったコークスでも、気孔壁の強度を維持できれば耐粉化性が高いことがわかる。すなわち、高揮発分の微、非粘結炭のように、反応性の高いコークス組織を形成する低コスト石炭を、多量に使用するための指針を明らかにした。

上記の結果と、さらに、コークス充填型燃焼炉によるレースウェイ状況に及ぼす影響について検討した結果とに基づき、微粘結炭を15%まで多配合して、反応性は高いが強度は維持したままのコークスを高炉に装入した。その結果、炉芯の充填構造への影響は少なく、操業上も問題は認められなかったことから、高反応性コークスの使用に成功するとともに、コークスの大幅なコストダウンを達成することができた。

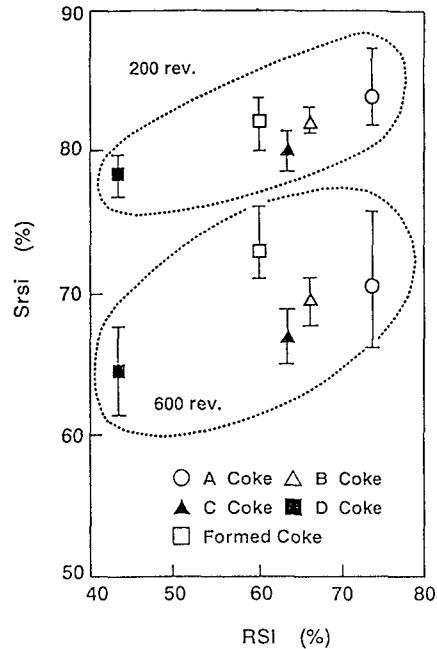


図5 高炉内粉化指数による評価

第7章 総括

本研究の結果を総括し、成果の要約と提言を行なった。

審査結果の要旨

製鉄用高炉におけるガスの通気性と、スラグおよびメタルの通液性は、炉内でコークスが粉化せず適性粒度を保つことにより維持されている。従って、その強度は冶金用コークスの最も重要な性質の一つである。本研究は、コークス炉で製造されたコークスが、破碎、整粒、運搬、炉内装入を経て更に燃焼して消滅するまでの全課程における強度、粒径変化、反応性、およびこれらに及ぼす諸因子を系統的に研究し、高炉使用上から見たコークス強度の物理的、化学的意味を明らかにすると同時に、その結果を高炉操業に役立てる技術を確認した経緯をまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は緒言である。

第2章では、コークスの搬送工程における粒径変化を破壊力学的立場から研究し、コークス輸送工程の改善と、高炉装入コークスの粒度制御法などにつき、有効な提言をしている。

第3章では、コークスの反応性におよぼす偏光組織成分とコークス灰分の影響について研究し、これよりコークス製造時における粘結材（褐炭SRC）利用法、および使用原料炭種の適用範囲拡大などの道を拓いた結果を述べている。

第4章では、実用高炉に炉芯ゾンデを装入して炉内充填物のサンプリングを行い、高炉内におけるコークスの粉化機構と粉蓄積機構を明らかにし、これより高炉操業の重要な指針である炉芯充填構造の制御法を提案した。

第5章では、第4章の結果を基に、数学モデルにより、高炉内コークス粒径変化と炉芯充填構造変化を解析し、炉芯の充填状態が炉内温度分布に大きく影響すること、および強度が高ければ反応性の高いコークスでも高炉にて使用できることなどを明らかにした。

第6章では、炉内サンプリング結果と粒径推定モデルを基にした、新しいコークス性状評価法として、炉内粉化指数測定法を提案した。また本評価法に基づき、高炉での高反応性コークス利用について検討した。その結果、微粘結炭15%まで多配合して製造したコークスの高炉使用が可能ながことが明らかになった。これは原料炭資源の経済的有効利用の上で極めて有益な結果である。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、高炉使用上から見た冶金用コークスの強度について、その物理的、化学的意味を明らかにすると共に、新しいコークスの性状評価法、低価格の微粘結炭の利用法、更に高炉操業の重要な指針である炉芯充填構造制御法などを開発したものであり、金属工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。