

新しいスクラップ予熱システム(UL-BA)

New Scrap Preheating System for Electric Arc Furnace (UL-BA)

中野 弘 昭⁽¹⁾
Hiroaki NAKANO

内 田 親 司⁽²⁾
Shinjiro UCHIDA

有 田 孝 司⁽³⁾
Koji ARITA

抄 録

最近、電気炉製鋼プロセスにおいて電力原単位の大幅な削減を実現し得る技術として、シャフト型スクラップ予熱システムが注目を集めている。新日本製鐵は、新しい概念による独自のシャフト型予熱システムUL-BA (Ultimate Batch system)の開発に着手し、1/4スケールの試験設備でスクラップの予熱特性を確認し、その実証試験結果をもとに予熱シミュレーション手法を確立した。UL-BAの実炉への適用によって約80kWh/tの大幅な電力原単位の削減が可能であるとの結論を得、その概要を報告した。

Abstract

In the steelmaking process by electric arc furnace, as the technique to possibly realize a substantial reduction in unit power consumption, shaft-type scrap preheating system is getting attention recently. Nippon Steel Corporation has gotten started on the development of its original shaft-type preheating system UL-BA (Ultimate Batch system) using a new concept, confirmed the scrap preheating characteristics in the pilot plant on 1/4 scale and established the preheating simulation method based on the test results. It has been concluded that the application to actually operated furnace "enables the substantial reduction in unit power consumption by about 80kWh/t".

1. 緒 言

最近の内外の経済、社会情勢の変化は、鉄鋼業にも大きな影響を及ぼしている。国内景気の長期低落、韓国や東南アジアにおける経済不安等の影響によって鉄鋼需要が低迷する中で、各鉄鋼メーカーでは、収益確保、競争力強化のためのコスト削減が重要な課題となってきた。電炉製鋼界におけるこの課題に対する解決の方向としては、主たるエネルギーである電力の原単位削減が第一に挙げられる。生産コストのうち原料費(スクラップ)を除く変動費の中で最も構成比率の高いのが電力コストである。更に、電力原単位の削減は発電に伴うCO₂の排出を抑制する効果があり、昨今の地球温暖化や環境汚染の防止という社会のニーズにも合致している。

電気炉の電力原単位の削減技術としては、炉から発生する排ガスをスクラップ装入バケットに導入し、スクラップとの間で熱交換を行ってエネルギーを回収するバケット式スクラップ予熱技術が従来から広く用いられてきた。しかしこの方式は、装入バケットの熱変形防止のため導入排ガス温度を低く抑制するので予熱効果が低い(電力原単位換算で20kWh/t程度)、予熱に伴い白煙や悪臭が発生するなどの問題があり、現在では設備を休止するケースが多くなっている。

バケット式スクラップ予熱のこうした欠点を克服するために、よ

り高温の排ガスでスクラップ予熱を行うシャフト型スクラップ予熱方式(Fuchs方式¹⁾、大同方式²⁾、IHI方式³⁾)や1電源2炉方式⁴⁾が開発されている。中でも、エネルギー回収性能の面で最も優れたシャフト型スクラップ予熱システムが注目を集めている。

以上のような状況を踏まえ、新日本製鐵は、新しい概念による独自のシャフト型予熱システムUL-BA (Ultimate Batch system)の略)を提案するとともにその開発に取り組んできた。1997年に1/4スケールの試験設備を建設し、スクラップの予熱特性を確認する試験をした。また、この試験結果をもとに予熱シミュレーション手法を確立した。

本報では、試験装置における予熱試験結果及びUL-BAを実炉に適用した場合の予熱効果について述べる。

2. UL-BA概要

1998年までに本格的に稼働している縦型充填層内でスクラップを予熱するシステム(以下シャフト型予熱システムという)としては、Fuchs方式、大同方式、IHI方式の3方式がある。これらの方式と新日本製鐵が開発したUL-BAの概念の違いを図1に表す。

既に実機化されている3方式に共通する概念は、“シャフトを電気炉の直上に配置し、炉から発生する高温の排ガスを連結ダクトを介さず、直接シャフト内に充填されたスクラップ層に導入すること

⁽¹⁾ エンジニアリング事業本部 プラント事業部 製鐵プラント第二部
北九州市戸畑区大字中原46-59 ☎804-0002 ☎093-872-7040

⁽²⁾ エンジニアリング事業本部 プラント事業部 製鐵プラント第二部 マネジャー

⁽³⁾ エンジニアリング事業本部 プラント事業部 製鐵プラント第二部 マネジャー

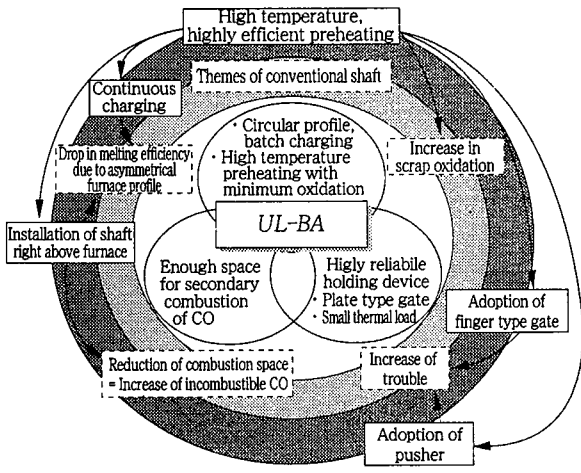


図1 シャフト型スクラップ予熱技術

によって、スクラップの高温、高効率予熱を実現することである。この概念を具現化するための設備にも以下のような共通点がある。

- ・シャフトへの排ガスの導入とシャフトからのスクラップ排出のために、炉体は従来のように円形ではなく、非対称あるいは長円の形状となっている。
- ・電気炉とシャフトの間にスクラップの保持、排出(切出し)機構を備えている(Fuchs社のシャフトにはスクラップの保持、排出機構がないものもある)。
- ・電気炉からシャフトに至るまでの空間が、連結ダクトや燃焼塔を有する従来タイプの電気炉のそれに比べて小さい。

これら三つの方式は、電気炉から発生した排ガスをほとんど温度降下なくシャフト内に導入できるため、スクラップの高温予熱という視点では理想的な方式といえる。

しかしながら、スクラップを高温に予熱すること、及びそれを実現するための設備という面では以下のような課題があると考えられる。

- ・非対称あるいは長円炉体の採用による炉内熱負荷の不均衡⁵⁾と熱損失の増加。
- ・高温予熱に伴うスクラップの酸化(電気炉における鉄歩留まりの低下、還元エネルギーの増加)。
- ・高熱負荷下において耐久性を要求されるスクラップ保持機構の信頼性。
- ・二次燃焼空間の減少によるCOガス爆発の可能性の増加。

これらの課題の中で、特に着目しなければならないのが電気炉での溶解エネルギー効率とスクラップの酸化である。なぜならば、高温予熱のみを追求するあまり、電気炉製鋼プロセス全体としてのエネルギー効率の悪化や鉄歩留まりの低下が生じたのでは、シャフト型予熱システムの特長を十分生かしきれないことになる。

以上のような課題を解決し、最適のシャフト型予熱システムを構築するの観点から考えられたUL-BAの開発概念は以下の通りである。

- 1)電気炉製鋼プロセスとしてのトータルエネルギーのミニマム化
 - ・円形炉体を有する電気炉でのスクラップバッチ装入による高効率溶解。
 - ・高温の排ガスによる高効率、酸化量ミニマム予熱。

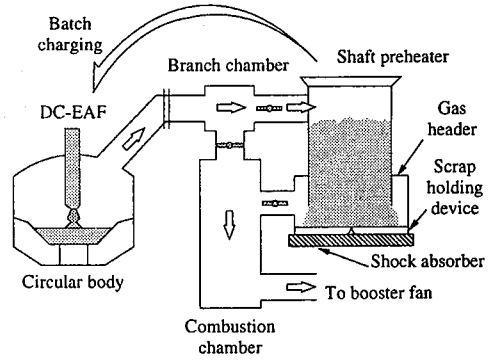


図2 UL-BAの概念図

2)信頼性の高いスクラップ保持機構

UL-BAを備えた電気炉の概念図を図2に示す。UL-BAは電気炉の近傍に設置され、電気炉から発生した排ガスは連結ダクト及び分岐室を介してシャフト内に導入される。この過程で排ガス中COの二次燃焼が行われる。シャフト内に導入された排ガスは、シャフト下部に設けられたガスヘッダーの効果によって、シャフト内に均一に流れながらスクラップを効率よく予熱することができる。

UL-BAで予熱されたスクラップは昇降旋回機構等を利用して炉上に運ばれ、下部の保持ゲートを開放することによって電気炉内へバッチ装入される。円形の炉体を有する電気炉では、炉内に満たされたスクラップを中心から均一に、最も効率的に溶解することが可能である。また、スクラップ保持機構としては、面状のゲートが採用されている。このため、スクラップの落下衝撃に対する十分な機械的強度を容易に確保できる。更に、保持機構に対する熱負荷は、低温ガスによる上面からの熱負荷に限られるため極めて低い。従って耐熱対策としての特別な構造を採用する必要がなく、耐衝撃性を考慮した信頼性の高い保持機構が実現できる。

以上、UL-BAの概念とそれを具現化したときの特徴について述べた。実機にあたって次の基本特性と機能を確認する実証試験をした。また、その結果をもとに、実炉ベースに適用可能な予熱シミュレーション手法の構築に取り組んだ。

- ・スクラップ予熱特性
- ・スクラップ酸化特性
- ・スクラップ溶融、融着挙動
- ・スクラップ保持ゲートの熱的、機械的信頼性

3. 実証試験

3.1 スクラップ予熱試験装置及び試験方法

スクラップ予熱試験装置の外観を写真1に、装置の概略構成図を図3に示す。シャフト部は内径1.25m、高さは3mであり、内壁にはパイプ式水冷パネルが設置されている。ガスヘッダー部は内径1.7m、高さは1.1mであり、内面には100mm厚のキャスト耐火物を施工している。また、ガスヘッダー下端にはスクラップを保持するための水冷ゲートを設置し、更にスクラップ落下時の衝撃を緩和するためにシャフト全体を緩衝用ばねで支持している。

上記ガスヘッダーの形状及びシャフト部最下段の水冷パネルと保持ゲート上面との間に形成されるガス流路高さは、本試験に先立って実施した1/10スケールのアクリル製モデルによるシャフト内ガス流れ試験結果に基づいて決定した。シャフト横に設置した燃焼室

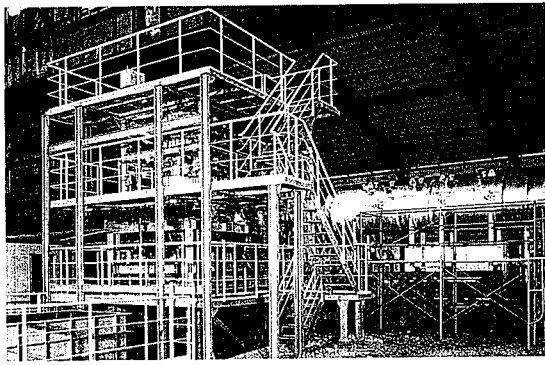


写真1 スクラップ試験装置全景

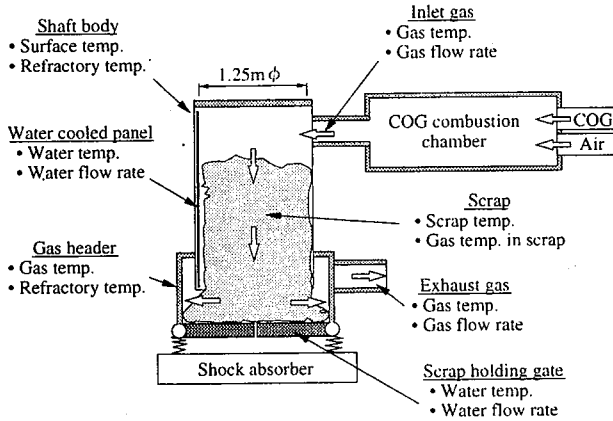


図3 スクラップ試験装置の概要

内でコークス炉ガス(COG)を燃焼し、発生させた予熱ガスは、ダクト中に設置したダンパーの切り替えでシャフト上方又は下方から導入できるようになっている(図3は予熱ガスをシャフト上方から導入した場合を示す)。

予熱試験条件及び予熱ガス組成の一例を表1に示す。予熱ガスの最高温度を1200℃とし、最大流量はシャフト内における平均空塔速度が実機とほぼ同じ3.5m/sになるように設定した。スクラップについては、嵩比重、形状、可燃物の付着などが予熱に及ぼす影響をみるために以下の4種類の銘柄を使用した。

- ・ヘビー屑(H2)
- ・ヘビー屑(HS1)
- ・だらい混合屑(ヘビー屑H2:85%, だらい屑:15%)
- ・シュレッダー混合屑(ヘビー屑H2:10%, シュレッダー屑:90%)

表1 スクラップ予熱試験条件

Scrap	Amount	Approx. 2.7m ³
	Bulk density: γ_{sc}	0.6 - 1.1 t/m ³
Gas	Kind	Heating air
	Fuel	COG
	Temperature	Max. 1200℃
	Flow rate	Max. 48Nm ³ /min
	Direction in shaft	Upstream / Downstream

Gas compositions (1200℃, 48Nm³/min)

H ₂ O(%)	O ₂ (%)	CO(%)	CO ₂ (%)	N ₂ (%)
11.4	7.7	0	5.9	75.0

シャフト内熱収支とスクラップの予熱効率、図3中に示す装置各部の温度、流量の実測値をもとに以下の各式で計算した。

$$\text{導入ガス顕熱} : \frac{dQ_{gas-in}}{dt} = C_{p_{gas}} \times V_{gas-in} \times T_{gas-in} \dots\dots (1)$$

$$\text{冷却水抜熱} : \frac{dQ_w}{dt} = C_{p_w} \times V_w \times \Delta T_w \dots\dots (2)$$

$$\text{耐火物蓄熱} : \frac{dQ_R}{dt} = C_R \times V_R \times \Delta T_R \dots\dots (3)$$

$$\text{大気への放散熱} : \frac{dQ_r}{dt} = \alpha_s S (T_{sur} - T_0) + \sigma \epsilon S \left\{ \left(\frac{T_{sur} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0 + 273}{100} \right)^4 \right\} \dots\dots (4)$$

$$\text{導出ガス顕熱} : \frac{dQ_{gas-out}}{dt} = C_{p_{gas}} \times V_{gas-out} \times T_{gas-out} \dots\dots (5)$$

$$\text{スクラップ着熱} : \frac{dQ_{sc}}{dt} = \frac{dQ_{gas-in}}{dt} - \frac{dQ_{gas-out}}{dt} - \left(\frac{dQ_w}{dt} + \frac{dQ_R}{dt} + \frac{dQ_r}{dt} \right) \dots\dots (6)$$

$$\text{スクラップ予熱効率} : \eta_{sc} = Q_{sc} / Q_{gas-in} \times 100 \dots\dots (7)$$

スクラップ平均温度は、軟鋼の温度と含熱量の関係を用い、熱収支計算で得られたスクラップ着熱量から計算した。また、スクラップ平均温度の妥当性の確認と予熱シミュレーションプログラム作成時の合わせ込みのために、シース熱電対を埋め込んだ測温試片をスクラップ中に配置(高さ方向に3か所、各断面内に2か所)し、スクラップ温度を実測した。

3.2 スクラップの昇温特性と予熱効率

予熱ガスをシャフト上方より導入し、ヘビー屑H2を予熱した場合のスクラップの予熱温度推移の一例を図4に示す。1200℃、48Nm³/minのガス条件で20分間の予熱を行った場合、保持ゲート上面からのスクラップ高さh_{sc}が2.1mの部位(スクラップ上面)でスクラップの温度が800℃を越え、平均温度(Ave.)も約600℃に達した。このときの熱収支を図5に示す。スクラップへの着熱(44%)が最も大きく、次いで水冷パネルの抜熱(37%)、導出ガスの顕熱(18%)となっている。また、保持ゲートの抜熱は1%程度と非常に小さく、シャフト部から大気への放散熱は無視できる程度であった。

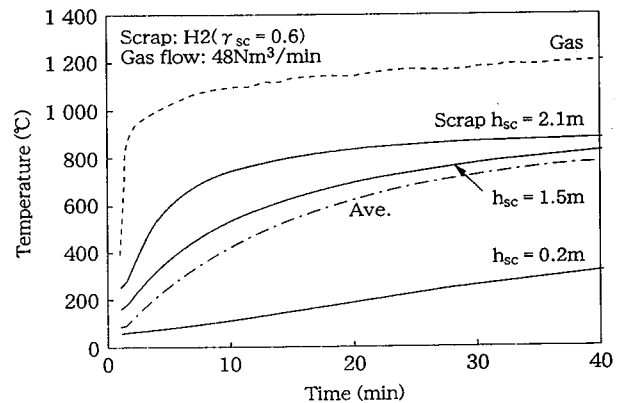


図4 ヘビー屑H2の予熱温度推移

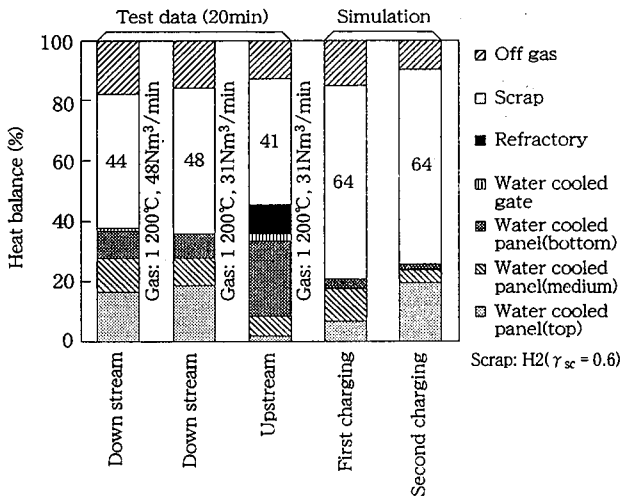


図5 スクラップ予熱装置における熱収支

同じく図5において、同一ガス条件(1 200°C, 31Nm³/min)におけるガス流れ方向の違いによる予熱効率の差をみると、予熱ガスをシャフト下方より導入した場合の方が予熱効率が7%低くなっている。これは、ガスヘッダー耐火物への蓄熱量が大きくなったためであり、耐火物に十分な蓄熱がある場合には、シャフト内のガス流れ方向にかかわらず予熱効率はほぼ同等になると考えられる。

スクラップ種類、ガス条件及びシャフト内のガス流れ方向を変化させた場合の予熱効率を図6にまとめた。予熱効率は時間の経過とともに低下していくが、その低下の度合いはだらい混合屑、ヘビー屑H2、ヘビー屑HS1の順に小さくなっている。これは、だらい混合屑は予熱初期に付着可燃物の燃焼があること、厚物の多いヘビー屑HS1は伝熱面積が小さく、かつ予熱対象となっているスクラップ重量(熱容量)が大きいことが影響していると考えられる。上記のような差はあるものの、各スクラップ条件での予熱効率は概ね45~50%(予熱時間20分)である。

3.3 スクラップの均一予熱特性

ガスヘッダー内では局所のガス流れが複雑に変わるため、ガス流れの指向性がスクラップへの伝熱に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、予熱ガスをシャフト上方より導入した場合の下層スクラップの予熱温度を詳細に測定した。

鉛直断面の各部におけるスクラップの温度推移及び水平断面のスクラップ温度分布をそれぞれ図7及び図8に示す。図7より、スク

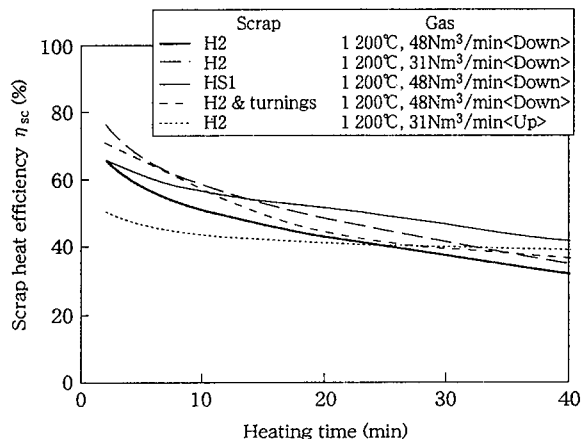


図6 予熱時間とスクラップ予熱効率の関係

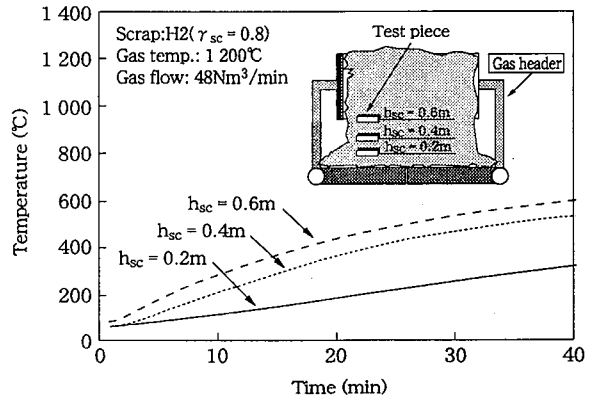


図7 シャフト下部でのスクラップ温度推移(鉛直断面)

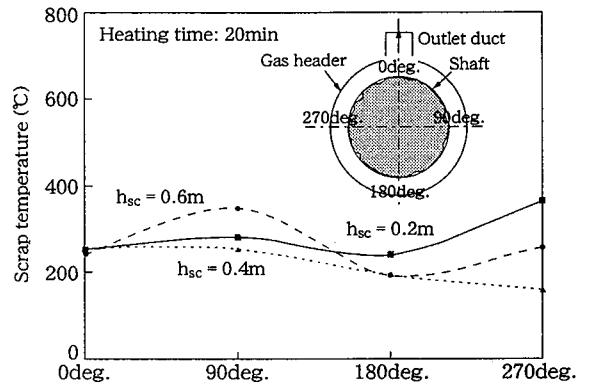


図8 シャフト下部でのスクラップ温度分布(水平断面)

ラップは下層部においても十分に予熱されていることが分かった。また図8より、ガス導出ダクトと対向する位置(180°)でのスクラップ温度がやや低い傾向があるが、ほぼ均一に予熱されていることが確認できた。

3.4 スクラップの溶融、融着挙動

スクラップの溶融、融着状況の結果を図9に示す。試験では、1 200°C, 48Nm³/minの予熱ガスをシャフト上方より導入した。

ヘビー屑は90分以上予熱した場合でも溶融、融着現象はみられなかった。だらい混合屑を予熱した場合、だらい屑のみが約50分以上の予熱で部分的に溶融した。シュレッダー混合屑の場合には、約50分以上の予熱で部分的な溶融が始まり、90分以上の予熱でシュレッダー屑どおしの融着が発生した。

これらの溶融、融着現象は、いずれも高温に予熱されたスクラップ上層部で発生したものである。また、上層部においても、シャフ

Scrap	Scrap preheating time (min)					Scrap discharge
	20	40	60	80	100	
Heavy(H2)	Normal					possible
Heavy(HS1)	Normal					
H2 & turnings	Normal		Half melting			possible
	Normal		Sticking			
H2 & shredded	Normal		Half melting			possible
	Normal		Sticking			

図9 スクラップ溶融、融着状況

ト内壁面近傍のスクラップは水冷パネルの冷却効果によって溶融には至っていない。このため、すべての試験において壁面や保持ゲートへのスクラップの固着、棚つり等の現象はみられず、予熱後のスクラップを問題なく排出できた。

3.5 スクラップ酸化特性

スクラップ酸化試験条件を表2に示す。本試験では予熱ガス中の酸素濃度を、実際の電気炉操業における排ガス中の酸素濃度とほぼ等しくなるように調整した。試片は所定の温度、時間まで予熱した後、直ちに水冷し、予熱前後における試片の重量差を測定した。予熱後試片の重量増加は、酸化反応の際に結合した酸素によるものとみなし、この重量差から酸化量を算出した。

一般的に、鋼が約750℃以上の高温で加熱される際に形成される酸化被膜は、大部分がFeOである。また、750℃以下ではFeOは不安定なため存在せず、スケールの大部分がFe₂O₃となる⁶⁾。従って、スクラップ酸化量(ox-Fe)と予熱前後の試片の重量差Δwの関係を以下の式のように定義した。

$$(ox-Fe) = (Fe) / (O) \times \Delta w$$

$$= 55.8 / 16 \times \Delta w \quad : \quad \text{温度} \geq 750^\circ\text{C} \quad \dots (8)$$

$$(ox-Fe) = (2Fe) / (3O) \times \Delta w$$

$$= (2 \times 55.8) / (3 \times 16) \times \Delta w \quad : \quad \text{温度} \geq 750^\circ\text{C} \quad \dots (9)$$

上式から得られたスクラップ酸化量を図10に示す。図中には文献⁷⁾による酸化特性を同時に示す。本試験では、スクラップの酸化は600℃を越えるあたりから始まり、800℃付近から急激に進行する結果となった。この結果と文献値とを比較すると、実測した800℃以下の酸化特性は、文献における炉内(酸素が非常に少ない)条件での酸化特性によく一致し、800℃を越えると大気条件での酸化量に接近する。

表2 スクラップ酸化試験条件

Test piece	Size	300×50×1.6 - 6.0mm
	Material	Structural steel (SS400)
	Temperature	Approx. 400 - 1 000℃
Gas	Flow rate	Max. 48Nm ³ /min
	Oxygen in gas	Approx. 6 -17%
Heating time	30 min	

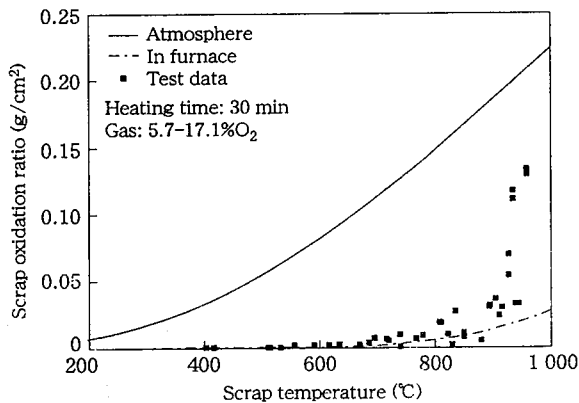


図10 スクラップ酸化特性

3.6 保持ゲートの信頼性

予熱の際の保持ゲートの熱負荷は、図5に示したように予熱ガスの流れ方向に関係なく1~2%程度である。また、スクラップの溶融、融着現象が発生するまで長時間予熱を行った場合においても、保持ゲートへの熱負荷にはほとんど変化がなく、熱的にまったく問題がなかった。

更に、シャフトへのスクラップ投入時に保持ゲートに作用する衝撃力を把握するための試験も実施した。試験では種々のスクラップを落下させたときの緩衝用ばねのたわみを測定し、その結果から保持ゲートに作用する衝撃力を算出した。図11に単重20kg以下のスクラップを落下させたときのスクラップ重量と衝撃力の関係を示す。図から分かるように、衝撃力はスクラップ投入重量にかかわらずほぼ一定となっている。これは単重の小さいスクラップ(バサ屑)の投入においては、スクラップ自体が緩衝材として作用していることを示している。

4. 予熱シミュレーション

4.1 シャフト内伝熱モデル

以上の試験結果に基づいて、実炉ベースの予熱シミュレーション手法を構築するに当たり、まず最初にシャフト内伝熱モデルをつくり、スクラップ温度の実測値と計算値との合わせ込みを行った。伝熱モデルの計算フローを図12に示す。伝熱モデルでは、シャフト内のスクラップを高さ方向に分割し、各々の層内においてガスからス

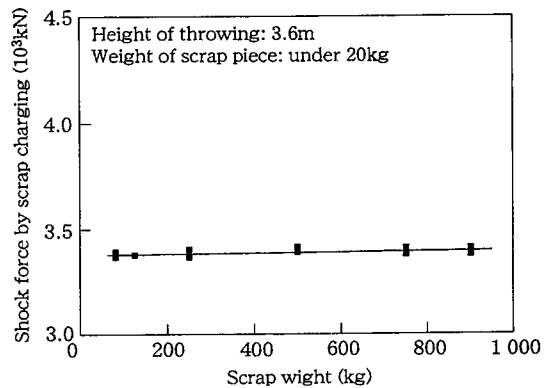


図11 スクラップ落下衝撃力

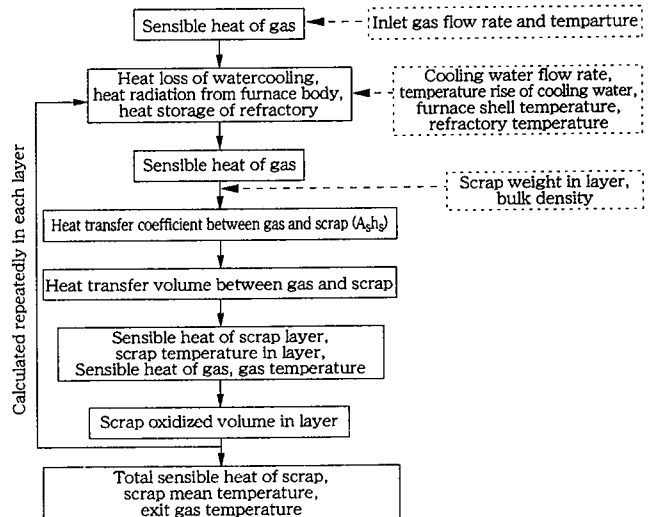


図12 シャフト内伝熱モデルの計算フロー

グラブへの伝熱が行われるものとしている。各層内におけるスクラップ温度、ガス温度は一定とし、スクラップは均質とした。ガスからスクラップに与えられる単位時間当たりの伝熱量は以下の式で与えられる。

$$\frac{dQ_{sc}}{dt} = A_s h_s \times V_s \times (T_{gas} - T_{sc}) \dots (10)$$

上式において、 A_s はスクラップ単位体積当たりの伝熱面積、 h_s はガスとスクラップ間の熱伝達係数、 V_s はスクラップ体積、 T_{gas} はガス温度、 T_{sc} はスクラップ温度である。ここで、実際のスクラップは様々な形状、板厚のものが混在しているため、厳密な A_s を測定することは不可能である。従って、ガスとスクラップの伝熱係数を $A_s h_s$ として取り扱い、すべての予熱試験の結果に合致する係数($A_s h_s$)を求め、伝熱モデルを完成させた。

この伝熱モデルを使ったスクラップ温度の計算結果と実測値との比較の一例を図13に示す。この計算例におけるスクラップ予熱効率は46%となり、試験結果の44%とほぼ一致した。

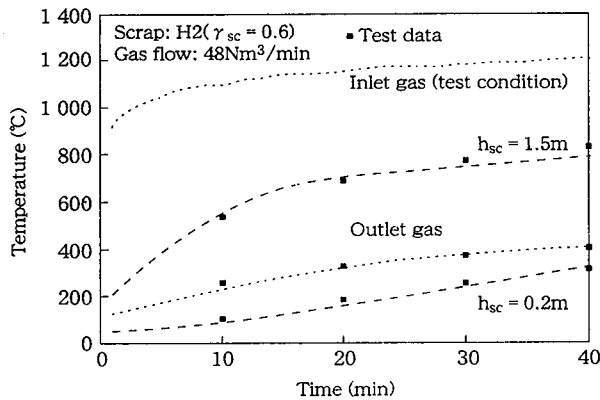


図13 スクラップ温度の計算値と実測値との比較

4.2 実機シミュレーション

4.2.1 シミュレーション手法及び計算前提

前項で妥当性が確認できたシャフト内伝熱モデルをベースに、UL-BAを適用した電気炉製鋼プロセスの予熱シミュレーションプログラムを開発した。このプログラムを使って、100t電気炉におけるトータルエネルギーバランスを試算した。

シミュレーション計算フローを図14に示す。まず、電気炉の物質収支及び熱収支の計算から得られたガス条件をもとに、シャフト内での伝熱モデルによる計算を行う。そこで求められるスクラップ蓄熱量及びスクラップ酸化量を電気炉の物質収支及び熱収支の計算にフィードバックする。この繰り返し計算をすることによってプロセス全体のエネルギーバランスが求められる。

図15に計算の前提とした電気炉の操作パターンを示す。スクラップはその全量(108t)を予熱対象とし、電気炉への装入は2回(初装60%, 追装40%)に分けて行う。この操作パターンでは、初装スクラップに対して26分、追装スクラップに対して13分の予熱を行うことができる。

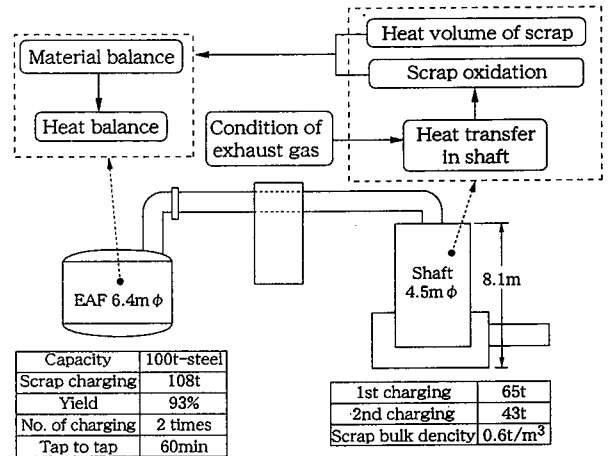


図14 実炉シミュレーション計算フロー

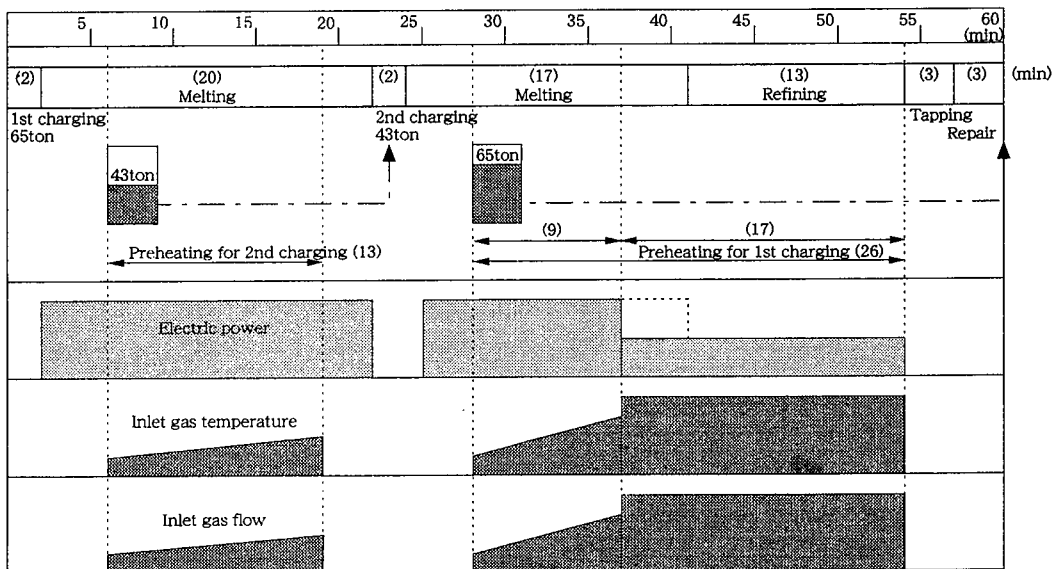


図15 電気炉操作パターン

4.2.2 計算結果

シミュレーションの結果、初装スクラップの平均温度は約500℃(図16参照)、追装スクラップの平均温度は約200℃となり、シャフト入口でのガス顕熱に対するスクラップ予熱効率は64%となった(図5参照)。

最終的なエネルギーバランスの計算結果を図17に示す。UL-BAを適用した電気炉における投入電力原単位は287kWh/tとなり、予熱がない場合の電気炉のそれ(365kWh/t)と比べると78kWh/tの電力原単位の削減効果が得られることになる。また、このシミュレーションではスクラップの酸化がほとんど起こっていない。これは図16に示した初装スクラップの予熱温度推移から分かるように、スクラップの急激な酸化が始まる800℃以上に予熱されるスクラップが上層部に限られており、スクラップ全体の1割に満たないためである。従って、電気炉における鉄歩留まりの悪化はなく、上述の予熱効果はそのままコストメリットとして享受できる。

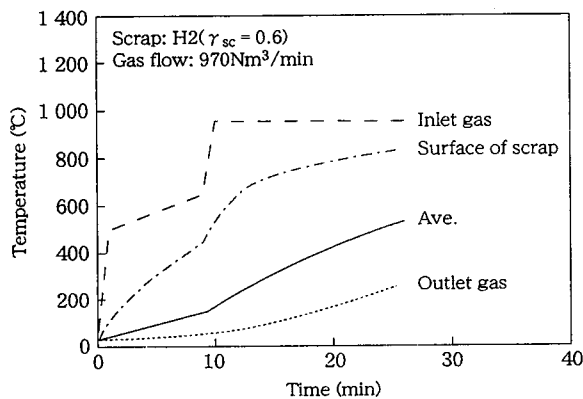


図16 初装スクラップの予熱温度推移

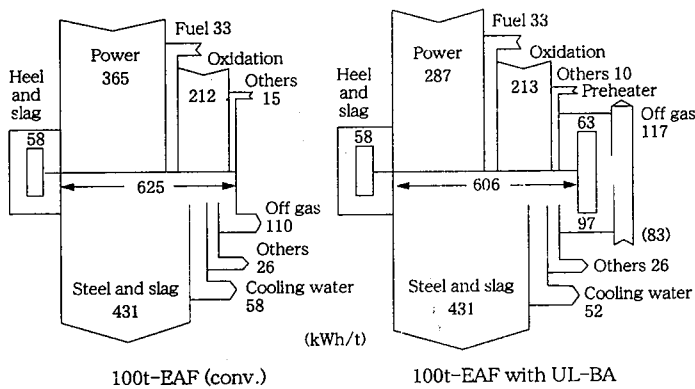


図17 エネルギーバランス

5. 結 言

1/4スケール試験設備でのスクラップ予熱特性の実証試験結果を基に確立した予熱シミュレーション手法によって、実炉でのエネルギーバランスを試算し、以下が確認できた。

1)スクラップ予熱特性

1 200℃の予熱ガスをシャフト上方より導入し、ヘビー屑H2を20分間予熱した結果、スクラップの平均温度は約600℃(予熱効率44%)となった。種々のスクラップの予熱試験では、1200℃の予熱ガスでの予熱効率が概ね45~50%となった。また、予熱試験の実測値に合わせ込んだシャフト内伝熱モデルを使ってUL-BAを適用した100t電気炉におけるエネルギーバランス試算では、UL-BAの予熱効率は約65%であり、約80kWh/tの電力原単位の削減効果が得られる。

2)スクラップの酸化特性

スクラップの酸化は、スクラップ温度が600℃を越えてから始まり800℃から急激に進行する。この結果からUL-BAを適用した実炉でのスクラップ酸化量を試算したところ、酸化はほとんど起こらない。

3)スクラップ保持ゲートの信頼性

種々の条件における予熱試験の結果、保持ゲートの冷却水抜熱は導入ガス顕熱の1-2%程度であり、この傾向はスクラップの熔融、融着が発生する条件下においても同じであった。UL-BAの保持ゲートに対する熱負荷は極めて小さく、問題はない。また、スクラップ投入時に保持ゲートに加わる衝撃力を測定して、衝撃に対する保持ゲートの設計指針を得た。

以上の結論より、UL-BAは十分なエネルギー削減効果が得られる信頼性の高い予熱システムとして実機化が可能である。新日本製鐵は、今後ともより一層の省エネルギー、環境保護を実現し得る電気炉製鋼プラントの開発、提供を続けていきたいと考える。

参考文献

- 1) Clayton, J. et al.: SEAIIS Conference, Sendai, 1993-4
- 2) 本庄 則夫 ほか: 電気製鋼, 68(1), 13(1997)
- 3) Takeuchi, O. et al.: SEAIIS Seminar, Thailand, 1994-3
- 4) 高橋 誠: エレクトロヒート, 82, 44(1995)
- 5) Nakayama, T. et al.: SEAIIS Conference, Korea, 1997-5
- 6) 岡田 要: 防触技術の進歩, 東京, 日本学術振興会, 1963, p66
- 7) KAZAHLE B.E.H.: 工業用炉設計便覧, 日・ソ通信社, 1977, p354