

鉄鋼業における顕熱回収と省エネルギー

—スラグの顕熱回収による省エネルギー—

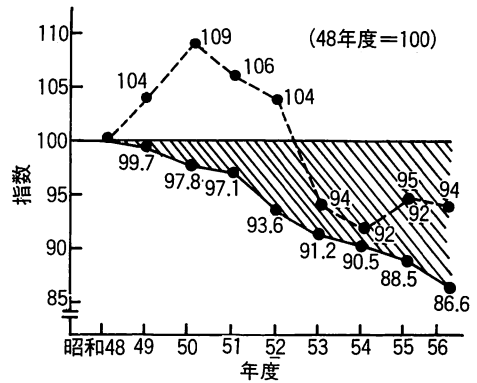
Sensitive Heat Recovery and Energy Conservation in the Iron & Steel Industry

井上展夫* 榊原路悟**

Nobuo Inoue Michiaki Sakakibara

1. はじめに

我が国の消費エネルギーの14%を使用する¹⁾エネルギー多消費型産業である鉄鋼業は昭和48年のオイルショックを契機に、経営の主要課題として省エネルギーに取り組んできた。その結果、図-1²⁾に示すように粗鋼t当り消費エネルギー原単位は昭和48年度を100とすると昭和56年度は86.6%となって省エネルギー対策の成果を着実に上げてきた²⁾。省エネルギー対策は一般に操業改善、プロセスの改善・省略、廃熱回収の3つに大別される。新日本製鉄㈱を例に省エネルギー対策の進展をみると、昭和48年度から昭和53年度までを第1次省エネルギー計画、昭和53年度から昭和58年度までを第2次省エネルギー計画として省エネルギーを進めてきた²⁾。第1次省エネルギー計画は操業改善とインプットエネルギー削減のためのプロセス改善が中心であったが、これに対し第2次省エネルギー計画は廃エネルギー回収設備を大巾に取り込んだ設備対策が中心となっている²⁾。この段階での廃エネルギー回収の大半はTRT（高炉炉頂圧発電設備）、熱風炉の廃熱回収、CDQ（コークス乾式消火設備）、焼結クーラ廃熱回収、空気予熱を強化した加熱炉の廃熱回収によるものであり、一貫製鉄所で量、温度レベルにおいて大きなウェイトを占める焼結鉱、スラグ、製品顕熱等の固体顕熱の有効利用は今後の省エネルギー対策の主要な課題となっている。本稿では廃熱回収の現状と開発課題について述べ、そのなかでも高レベルの廃熱源であ



(注) 1. 実線は名目原単位(点線)を48年度の生産条件、例えば銑鋼比、鋼材歩留等で補正した実質単位。
2. 斜線は省エネルギー部分。

出典：総合エネルギー統計（資源エネルギー庁）

図-1 粗鋼t当りエネルギー消費原単位¹⁾

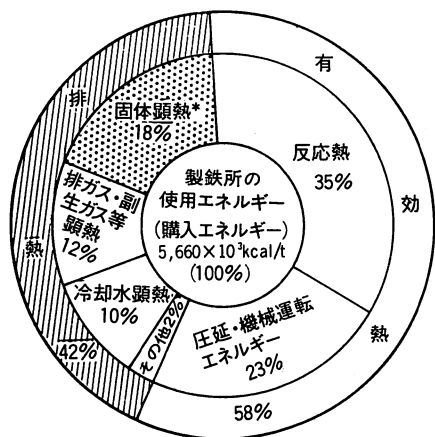
るスラグの熱回収について各種方式の概要および開発状況を以下に紹介する。

2. 鉄鋼業における顕熱回収

一貫製鉄所におけるエネルギー利用形態を図-2³⁾に示す。インプットエネルギーのうち鉄鉱石の還元に必要な反応熱や各種分解熱等の冶金反応熱が35%を占め、圧延エネルギーや動力として消費されるものが23%を占める。これらの製鉄プロセスに必要な不可欠な有効熱を差し引いた残りの42%が各種の顕熱となって放散され廃熱として扱われている。この廃熱のなかで最も熱量的に多いのが固体顕熱であり、次いで排ガス等の顕熱、冷却水顕熱となっている。これらの廃熱を現在開発途中にある技術も含め熱回収を行うと、固体顕熱回収だけでも粗鋼t当り50万kcalの省エネルギーが可能である³⁾。

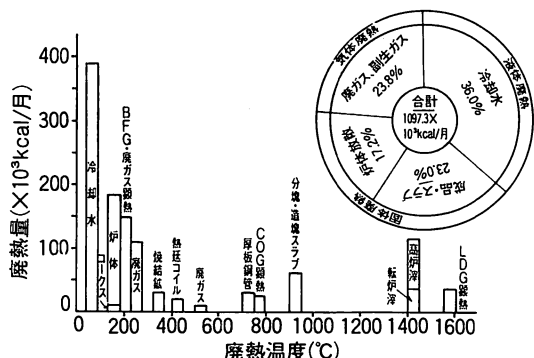
* 新日本製鉄(株)名古屋製鐵所エネルギー部熱技術室長
〒476 東海市東海町5-3

** 新日本製鉄(株)第三技術研究所エネルギー研究センター
主任研究員



出典：第80, 81西山記念講座

図-2 一貫製鉄所におけるエネルギーの利用形態³⁾



出典：廃熱回収利用システム実務便覧

図-3 廃熱の実態例 (昭和54年)¹²⁾

2.1 廃熱の実態と頭熱回収の課題

図-3¹²⁾に廃熱の実態を示す。

(1) 転炉ガスの頭熱

転炉で吹錬中に発生する転炉ガスは炉口で燃焼させボイラで蒸気回収するか、燃料ガスとして回収される。

燃料ガスとして回収される場合に従来は、ガス中のダストが伝熱管等の材質に悪影響を及ぼすため輻射部のみ熱回収をおこなっていた。この場合回収されるのは転炉ガス保有頭熱のうち16%のみである²⁾。現在は新日本製鉄㈱と川崎重工業の共同開発した技術により上部フード及び接触部の頭熱も回収できる状況にある²⁾この場合の排出ガス温度は450~500°Cとなる。これ以下の温度レベルの保有熱回収を目的として通産省工業技術院のムーンライト計画で「集塵並びに蓄熱機能を有するヒートパイプを用いた新規な熱交換器」の研究が進められ、パイロット機が㈱神戸製鋼神戸製鉄所に設置されテストが行われた⁴⁾。

(2) コークスの頭熱

コークス炉から出た1,050°Cの赤熱状のコークスはコークスt当り17万kcalの熱量を有する。現在はCDQ (コークス乾式消火設備)で熱回収が行われているが、最近設置されるCDQは発電を目的とした高温高压蒸気回収が多い。一例として新日本製鉄㈱名古屋製鉄所に設置されたCDQはコークス処理能力110t/h、蒸気発生量60t/h、圧力117kg/cm²、温度530°Cで回収電力は16,000kWである。

(3) コークス炉ガスの頭熱

石炭をコークスに乾留する過程で発生するコークス炉ガスはコークス炉上昇管部に設けられた熱交換器で頭熱を回収することが可能となった。回収には熱媒体が使用されているが、熱媒体の特性及び上昇管部でのカーボントラブル防止のため回収温度は約300°Cに押えられている。今後の課題は回収熱量増と回収温度の高温化をはかることである。

(4) 焼結鉱の頭熱

焼結鉱クーラでは400~1,000°Cの頭熱をもつ焼結鉱を空気と熱交換させ100°Cまで冷却する。熱交換後の高温空気を点火炉の燃焼用空気及び原料予熱に使用し焼結鉱t当り4万kcalの省エネルギーを行っている。この形式の熱回収は全国的に普及している。

今後の課題はより高い温度レベルでの熱回収でありCDQタイプの熱回収装置が川崎製鉄㈱、石川島播磨重工業㈱の二社共同で開発されている²⁾。

(5) 加熱炉の廃ガス頭熱

従来から一貫製鉄所の加熱炉には空気予熱用のレキュベレータが設置されている。しかし省エネルギーの進展に伴う加熱炉炉底温度の低下により従来型レキュベレータの効果は減少した。このような状況に対し熱伝達効率の良い噴流予熱による低温廃ガス頭熱回収方式が開発され²⁾。またHCR (ホット・チャージ・ローリング)における低量廃ガスに対応したレキュベレータの増強が行われている。

(6) 高炉ガス頭熱

国内の高炉にはほとんどTRT (高炉炉頂圧発電設備)が設置されている。TRT出力はガス量、圧力が一定ならばタービン入口でのガス温度に比例している。タービン出力増強のため高炉ガス中のダスト (10~30g/Nm³)捕集を従来の湿式集塵機から乾式集塵機に転換する等でガス温度を上げることが課題である。

(7) 鋼塊・鋼片の頭熱

転炉で製錬された溶鋼は鋳型ないしは連続铸造設備で固められ次工程へ輸送される。近年HCR, CC-D

R (連続铸造設備から出た熱鋼片を即直送し熱間圧延する) 法により工程間での顕熱ロスは減少している。しかし溶鋼から熱鋼片までの熱は冷却水顕熱等として捨てられている。この凝固熱の回収は将来の課題である。

(8) スラグの顕熱

鉄鋼製造プロセスで副生するスラグは高炉スラグと製鋼スラグに大別され、いずれも高温溶融状態で排出され冷却されると固化する。高温溶融物を扱う難しさから従来はこの大量の熱は未回収のままであった。近年省エネルギー推進の必要性からこの熱を回収し有効利用すべく各社で研究開発が行われている。

高炉スラグは1,500℃の高温で粗鋼t当り14万kcalの熱を保有する廃熱源であると同時にセメント原料、コンクリート骨材として再利用され資源としても有効活用されている。

転炉スラグは約1,600℃の温度をもち粗鋼t当り4.5万kcalの熱量を有する。しかし製錬する鋼種によってスラグの性質が大きく異なり熱回収技術、資源としての利用技術を難しくしている。

3. スラグの顕熱回収による省エネルギー

鉄鋼製造に伴うスラグの総生産量は、国内で年間4,000万tに達し、その廃熱量は約18兆kcal/年である。(重油換算180万kl/年) 現在開発が進められている熱回収技術によって70%の熱量が回収され、製鉄所のローカル条件から70%のスラグが熱回収の対象になるとすると、省エネルギー量は全国で9兆kcal/年(重油換算90万kl/年)となり、粗鋼換算の省エネルギー量は約7万kcal/t-粗鋼である。

資源としてのスラグ品質を損うことなく熱回収を行なうことが技術開発のポイントである。

3.1 スラグ利用状況の現状と将来

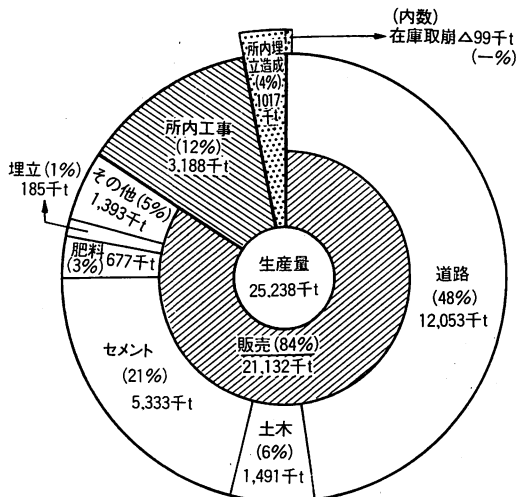
(1) 高炉スラグ

高炉に挿入された鉄鉱石、コークス、媒溶剤が炉内で溶融還元作用を受け銑鉄とスラグになる。スラグは銑鉄t当り300~330kgの割合で発生する。スラグ成分の一例を表1に示す。溶融スラグは冷却固化する過程で複雑な挙動を示し、冷却条件によって固化後の性状が大きく異なる¹³⁾。高温状態(1,400℃程度)から冷却

表1 高炉スラグの化学成比例(昭和52年11月)⁵⁾

化 学 成 分 (%)								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	TiO ₂	FeO	CaO/SiO ₂
33.6	14.2	40.9	6.3	0.58	1.01	1.25	0.48	1.22

出典：鉄鋼便覧



有効利用率 96%

出 銑 量	79,640 t	
スラグ	徐 冷	18,087 t 72%
生産量	水 砕	7,151 t 28%
(計)		25,238 t 100%
生産原単位		318 kg/t-pig

出典：化学工業 4 (1981)

図-4 昭和53年度全国(高炉9社)スラグ販売利用比較(鉄連統計)¹³⁾

速度数+℃/Sで急冷するとガラス質のスラグとなり、水やアルカリの刺激により硬化する潜在水硬性をもつようになる。この性質を利用してガラス質スラグはセメント原料、地盤改良材として使われる¹³⁾。

徐冷してできたスラグは結晶質となり、その安定した性質のため路盤材、骨材、埋立材として用いられる。

図-4¹³⁾に高炉スラグの利用状況を示す。

従来の高炉スラグ処理の方法は3つに大別される。第1は水砕方式による処理で大量の水を噴射しスラグを急冷すると同時に砂状にする。この方式で製造されたスラグはセメント原料、コンクリート用細骨材、肥料等になる。第2はスラグピットに流し徐冷してできたスラグで固化後粉砕し道路用骨材、コンクリート用粗骨材等に使用される。第3は溶融スラグを空気で吹き飛ばし急冷し球状のスラグを作る風砕方式である。この方式で作られたスラグはコンクリート用骨材、建築用材料として使われる。なお高炉スラグの品質についてはその用途によってJISでそれぞれ規定されている。後述する各種熱回収方式においても、用途に応じた品質を満足するよう顕熱回収と併せて品質造り込みに重点を置いていることが高炉スラグ顕熱回収の特徴となっている。

(2) 製鋼スラグ

転炉、電気炉等から発生する製鋼スラグは精錬処理

表2 製鋼スラグの利用
(昭和54年11月)⁵⁾

埋立工事	72%
高炉使用	12
転炉使用	4
その他	12
合計	100%

出典：鉄鋼便覧

ごとに異なった性質のスラグができ、また急速に精錬が行われるためにスラグ中に未滓化の石灰、耐火物の細片、金属の粒子などが含まれ不均質なことが特徴である⁵⁾。発生量はほぼ粗鋼t当り130kg程度である。

製鋼スラグの利用状況を表2⁵⁾に示す。製鋼スラグは成分中のフリーライムのために膨張崩壊性があり、安定して使用するにはエージング処理や改質処理を行なう必要がある。今後の用途として道路用材、セメント混和材等がある。

3.2 各種の顕熱回収方法

スラグの処理そのものは古くから行われてきたが、顕熱回収の研究が本格化したのはやはり昭和48年のオイルショック以降のことであって、特許出願状況をみ

ても昭和50年以前は散見する程度であったが昭和51年以降急激に件数が増えている。

高炉、製鋼スラグとも溶銑。溶銑に比べて含熱量、平均比熱とも大きいが発熱率は0.5~1.5kcal/mhr°Cと溶銑の25 kcal/mhr°Cに対して極めて小さい⁵⁾。

従ってスラグの冷却と熱交換をいかに効率良くコンパクトな設備で行いかつ必要な品質・形状を造りだすかが研究開発の課題となっている。

以下に各所で行われている研究及び実験の概要を述べる。目的とする品質・形状によっておのずと造粒方法、顕熱回収方式も異なり、粒度の大きい粗骨材、道路用材向けの攪拌造粒法³⁾と細骨材向けの砂状製品を造る落下液滴造粒法³⁾、風砕法に大別される。

(1) 攪拌造粒法 (川鉄㈱-川重㈱)

溶融スラグを1,000~1,100°Cまで冷却造粒する造粒設備と粒化後のスラグを200°Cまで冷却する冷却塔設備、および冷却塔設備で加熱された冷却用空気から熱を回収する廃熱ボイラで構成される。

特徴はスラグポット内で溶融スラグを水冷の櫛で攪拌しスラグ表面のガラ張り(低温の固化層形成)を防

表3 川崎-スラグ顕熱回収プラント設備諸元⁶⁾

(1) 処理能力	40 t/h	(4) 回収蒸気量	
(2) スラグ処理温度		蒸気圧力	20kg/cm ² G
造粒設備入口	1,350°C	蒸気温度	230°C
造粒設備出口	1,100°C	蒸発量	16.5 t/h
冷却塔入口	1,050°C	(5) 熱回収効率	76%
冷却塔出口	250°C	(6) 製品スラグ	
(3) 循環空気		用途	路盤材
循環量	39,000N m ³ /h	粒度	40mm 以下
冷却塔入口	160°C	(7) 消費動力	350kW
冷却塔出口	850°C	(8) 造粒設備	25 t/CH
		(9) 冷却塔	135m ²

出典：川崎重工技報 76 (1980)

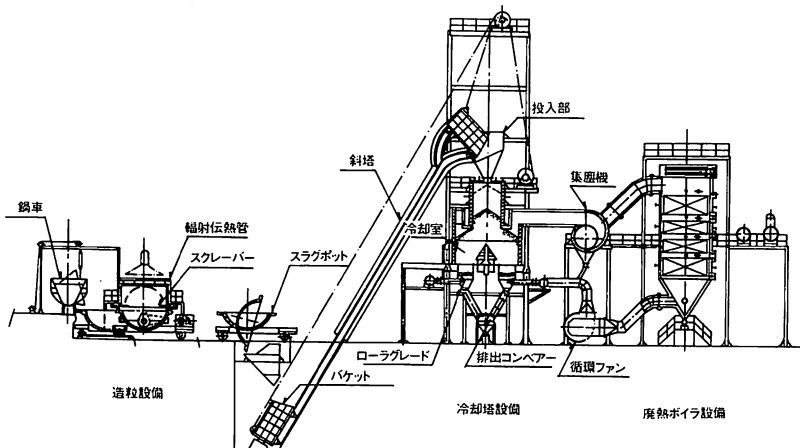
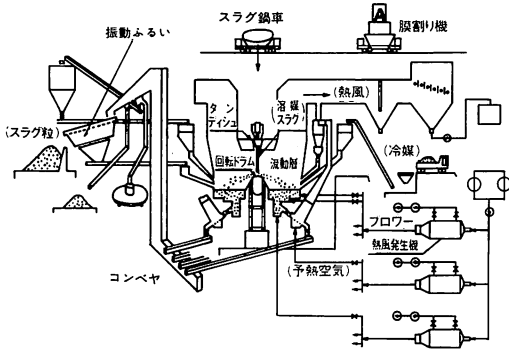


図-5 川崎-スラグ顕熱回収プラント設備像⁶⁾ 出典：川崎重工技報76 (1980)

表4 製品性状⁷⁾

	絶乾比重	単位容積質量 (kg/m ³)	一軸圧縮強さ (kg/cm ²)
サンプル例	2.42	1745	13.3
規 格	>2.4	>1500	>12

出典：鉄と鋼 60(1980)



出典：住友金属 No. 3 (1982)
図-6 試験設備フロー図⁸⁾

止し輻射伝熱量を増加させ、同時に造粒する攪拌造粒法にある⁶⁾。この方式は川崎製鉄㈱と川崎重工業㈱の共同開発によるもので処理能力40 t/hの実験設備が川崎製鉄㈱千葉製鉄所に昭和56年4月より稼働している⁶⁾。図-5⁶⁾に設備図を、表3⁶⁾に設備諸元を示す。

・ 開発結果

- (a) 品質……造粒部で粒径 100 mm以下の粒となり、さらに冷却塔下部のローグレードで再破碎され40mm以下に整粒される⁶⁾。用途は骨材、骨盤材が考えられている。表4⁷⁾に製品の性状を示す。
- (b) 顕熱回収……廃熱ボイラ設備で回収される熱量は25~30万kcal/t-slag(蒸気としては圧力50 kg/cm²、温度450℃、回収量400kg/t-slag)となり、その内約80%が冷却塔廃熱より、残りが造粒設備天井部に配した輻射伝熱管より回収される⁶⁾。回収率はスラグ顕熱に対し約76%である⁶⁾。

開発の効果として均質で強固な性状をもつ骨材、路盤材の製造と自動運転によるスラグ処理の省力化および作業環境改善、スラグ処理場のコンパクト化などをあげている。

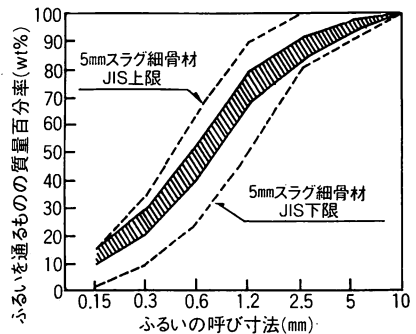
(2) 落下液滴造粒法(住金㈱-IHI㈱)

天然砂の代替となりうるコンクリート用細骨材を製品目標としている。熔融スラグをスラグとは非濡れ性の回転ドラムに落下衝突させ、スラグの運動エネルギーを利用して粒状化しドラムの周囲に設けられた流動捕集槽に落下させ固化する⁸⁾。流動捕集槽では槽底部から吹き込まれる空気によって別途添加された砂状ス

表5 設備諸元⁸⁾

項 目	内 容
1. スラグ処理	
処理速度	40~50 t/h
処理時間	90 min (at 40 t/h)
処理量	最大 60 t
スラグ鍋車数	最大 3台
鍋切換時間	7 min以下
2. 冷媒補給	
補給速度	最大25 t/h × 2系統
補給容量	30 t × 2 ホッパ
3. 空塔風速	
流動捕集槽	1.2 m/s
槽排出口	2.1 m/s
空気式分級器	11.7 m/s
4. 冷媒回収率	90%以上
5. 冷媒混合比	4
6. 流動槽内温度	600℃以上
7. 回収熱風	同 上
8. 冷媒粒径	0.6~2.0mm
9. スラグ粒径	3~20mm

出典：住友金属 No.3 (1982)



出典：住友金属 No.3 (1982)

図-7 製品スラグの粒度分布(破碎後)

ラグの冷媒が流動化しており、粒状化された熔融スラグは冷媒でまぶされて粒どうしの融着が防がれると同時に空気で冷却され固化する⁸⁾。固化したスラグ粒及び冷媒は流動捕集槽から切り出され、冷媒は分級後流動捕集槽に再度戻され、スラグ粒は更に冷却器に入り熱交換される。顕熱回収は造粒部から冷却器まで空気を媒体として行われ、この熱風から蒸気・電力を回収している。この方式は住友金属㈱と石川島播磨重工業㈱との共同で開発され昭和55年度の新技术開発事業団の融資を受け処理能力50 t/hの実験設備が住友金属㈱和歌山製鉄所に設置され実験が行われた。図-6⁸⁾に設備図を表5⁸⁾に設備諸元を示す。

・ 開発結果

- (a) 品質……スラグ粒の大きさは3~15mmで形状

はへん平なものが多い⁸⁾またスラグ粒の表面には冷媒が粒断面の面積比で10%程融着している⁸⁾。X線回折による品質分析の結果では流動層温度600~650℃でガラス質の割合は65~85%であった⁸⁾。図-7⁸⁾にこの方法により得られる粒の粒径分布を示す。コンクリート骨材としての品質を調査するため破碎して試験した結果、JIS-A5012「コンクリート用高炉スラグ細骨材」規格を満足することが確認されている。更にコンクリートとしての諸性状についても天然砂と同等な成績を示すことが確認されている。

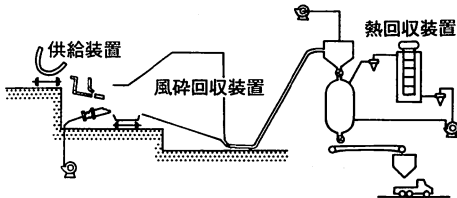
(b) 顕熱回収

実機相当規模の設備による試験の結果、1ユニットの設備でスラグ処理速度50 t/h、流動層温度600℃強で安定な操業が可能になった⁸⁾。また600~700℃の熱風が得られ熔融スラグ保有熱の約55%を回収できる見通しを得た⁸⁾。

(3) 高炉スラグ風砕製造プロセス (新日鉄㈱)

コンクリート細骨材、建材、路盤材として多方面で使用できると同時にスラグ顕熱を回収可能なスラグ処理法として開発された。熔融高炉スラグを空気で吹き飛ばし急冷すると球形の硬い粒状スラグが得られる⁹⁾。

しかし同時に大量のスラグウールが発生すると、空気の冷却能が小さいので粒状スラグ同士が再融着するという問題があり、これらを①粒化空気の風速を調節する、②粒状スラグを所定の距離空中を飛翔させる、



出典：製鉄研究 No.301 (1980)
図-8 風砕製造プロセスフロー⁹⁾

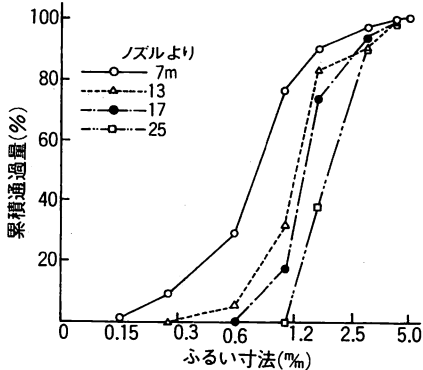


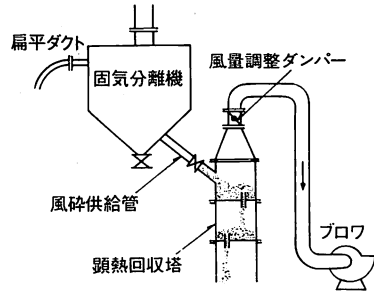
図-9 粒度分布例⁹⁾ 出典：製鉄研究 No.301 (1980)

③粒状スラグ回収システムに空気輸送を組み込むことで解決を図った⁹⁾。図-8⁹⁾に風砕製造プロセスフローを示す。

○ 開発結果

1.5 t/hパイロットとプラント15 t/h中間プラントによる実験の結果以下のことが判明した。

- (a) 粒化風速は60~90m/sであればウール発生も少なく粒の飛翔性も良好である⁹⁾。
- (b) 粒化部より15m程度飛翔させ冷却してから水冷の垂直衝突板に衝突させると粒の形状が球形に保たれ、再融着せずに受けられる⁹⁾。
- (c) 衝突板から落下した粒を縦横比の小さいへん平ダクトで空気輸送を行うと搬送中の融着もなく冷却効果もよい⁹⁾。
- (d) 風砕で得られる粒径を図-9⁹⁾に示す。
- (e) 熱回収部は伝熱特性の点から流動層熱交換器が効率良く熱回収でき、伝熱容量係数は1,500~2,000 kcal/m³ hr℃と高い⁹⁾。図-10⁹⁾に熱回収実験装置図、表6⁹⁾に熱交換流動層の実験結果を示す。

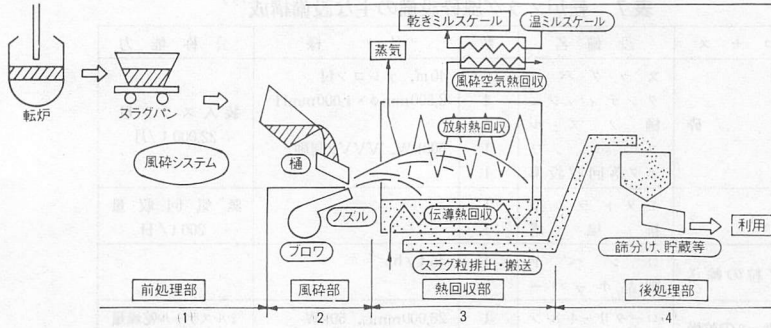


出典：製鉄研究 No.301 (1980)
図-10 熱回収実験設備⁹⁾

表6 熱風砕による実験結果⁹⁾

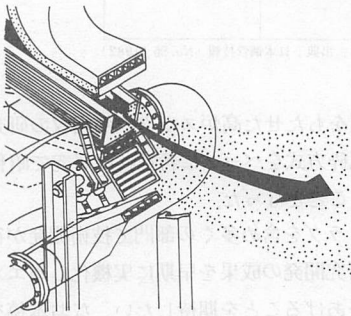
流動層段数		2段
多孔板開孔比		20%
風砕側	風砕流量	1,400kg/h
	供給温度	600℃
	出口温度	120℃
ガス側	エア流量	2,400N m ³ /h
	入口温度	35℃
	下段出口 上段入口温度	110℃
上段出口温度		200℃
標準空塔速度		3.4Nm/s
層1段当り圧損		125mm Aq

出典：製鉄研究 No.301 (1980)



出典：日本鋼管技報 No. 96 (1982)

図-11 既存処言方法と風砕システムの流れ¹⁰⁾



出典：日本鋼管技報 No. 96 (1982)

図-12 ノズル部の概念図¹⁰⁾

この方式による設備（熱回収部は除く）は新日本製鉄(株)堺製鉄所に昭和54年10月に完成した。

(4) 転炉スラグ風砕システム(日本鋼管(株)-三菱重工(株))

転炉スラグの顕熱回収，資源化，処理方法の改革を目的として日本鋼管(株)と三菱重工(株)の共同研究により開発が行われた。

このシステムは図-11¹⁰⁾に示すように。

(a) スラグパンの熔融スラグを種を介して落下させる。(前処理部)

(b) 種の出口で高速空気流によりスラグを吹き飛ばし球形粒子を造る。(風砕部 図-12¹⁰⁾参照)

(c) 飛翔中のスラグ粒子からの放射熱，飛翔完了後のスラグ粒子からの伝導熱，高温になった風砕空気からの対流熱を回収する。(熱回収部)

(d) 凝固冷却後の風砕スラグ粒子を集積，搬出，篩分けし，利用系に送る。(後処理部)

の4つの要素で構成されている¹⁰⁾。

この方式によるテスト設備が日本鋼管(株)福山製鉄所に昭和52年に設置され実験の結果実機化の目的を得て，図-13¹⁰⁾，表7¹⁰⁾に示すような実機装置が昭和56年11月より同所第3製鋼工場で稼動している。

。開発結果

1977年から開始した技術開発により次の結果を得た¹⁰⁾。

(e) 風砕技術……大量の熔融スラグを均一にむらなく微粒化するためにスラグ種の周囲をノズルで囲む造粒部構造を開発した¹¹⁾。風砕のための空気流速は100m/sで風量は500N³/t-slag以上が良く，粒径は1~3mmとなる¹⁰⁾。

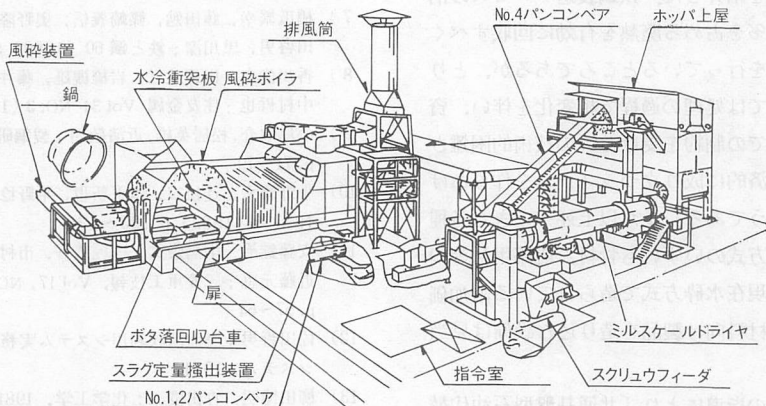


図-13 転炉スラグ風砕設備鳥観図¹⁰⁾

出典：日本鋼管技報 No. 96 (1982)

表7 転炉スラグ風砕設備の主な設備構成¹⁰⁾

プロセス	設備名	数	仕様	公称能力
風 砕	スラグバン	6	40 m ³ , テレコン付	装入スラグ量 22,000 t/月
	タンディッシュ	4	2,500mmφ×1,000mmH	
	樋ノズル	1		
	ブロワ	1	500kW, VVVF制御	
	ボタ落回収設備	1		
ボ イ ラ	モノドラム型 排風塔	1 1		蒸気回収量 200 t/日
スラグ粒の輸送	コンベヤ 製品ホッパー	1 2	45 t/h	
ミルスケールの乾燥	ロータリーキルン 吸引ブロワ	1 1	26,000mmL, 50kW バッグフィルター, 200kW	ミルスケール乾燥量 11,000 t/月
製品ヤード	梱包機 ストックヤード	1 1	30 t/h 9,200 t	

出典：日本鋼管技報 No. 96 (1982)

(f) 品質……転炉スラグの欠点とされていた崩壊性が大中に改善され粒径3 mm以下の粒ではほとんど崩壊しない¹¹⁾。崩壊性改善の原因はスラグ中のFeOが造粒空気酸化されFe₂O₃となりCaOを2CaO・Fe₂O₃として固定するからである¹¹⁾。製品の用途は研掃材、モルタル用骨材、鋳物砂等があげられている。

(g) 顕熱回収……1,550~1,600°Cの溶融転炉スラグからの顕熱回収はボイラチューブで構成されたフード内で行われている。ここで得られた400~500°Cの排ガスはミルスケール乾燥に用いられる¹⁰⁾。ボイラでは溶融スラダ装入速度60T/H以上で蒸気200kg/t-slagが回収される¹⁰⁾。熱回収効率はミルスケール乾燥で5%、蒸気で41%、合計46%である¹⁰⁾。

4. おわりに

製鉄所における顕熱回収の現状についてスラグ顕熱回収を中心に概略を紹介した。鉄鋼製造プロセスの消費エネルギーの40%を占める廃熱を有効に回収すべく各社とも鋭意研究を行っているところであるが、とりわけスラグについては処理の過程で相変化を伴い、資源としての品質面での制約を受ける等の技術的困難さを伴うことから経済的に成り立つシステムを作りあげることが難しいようである。また以上述べてきた各種のスラグ顕熱回収方式のいずれも骨材、道路用材等の用途が主であり、現在水砕方式で造られている附加価値の高いセメント材料向け製品を造り込む設備は見当たらない。

このたび通産省の指導により「共通基盤型石油代替エネルギー技術開発費補助金制度」の適用を受け、高

附加価値をもたせた高炉スラグの熱回収の研究を新日鉄㈱の風砕方式をベースに各社共同研究で昭和57年度より行うこととなった。

現在スラグを含め多くの部門で技術開発が行われている。研究開発の成果を早期に実機化し省エネルギーの効果をあげることを期待したい。なお本稿を書くにあたり多数の文献を参考にさせていただいた。誌面を借りて御礼を申しあげる次第である。

参 考 文 献

- 1) 総合エネルギー統計；資源エネルギー庁長官官房総務課編
- 2) 村田裕司。鉄鋼業における中低温廃熱の実態とその熱回収技術の展望，日本鉄鋼協会，第80，81回西山記念講座，p. 61~74
- 3) 陣野友久；鉄鋼業における固体顕熱回収技術，日本鉄鋼協会，第80，81回西山記念講座，p. 125~139
- 4) 山口喜弘，中尾正和，若林明，水上俊一；R & D神戸製鋼技報，30 (1980, 4), 2, p. 50~55
- 5) 鉄鋼便覧 (製鉄・製鋼編) p. 319, p. 495
- 6) 藤井洋郎；川崎重工技報，76 (1980) p. 115~116
- 7) 橋爪繁幸，藤田勉，篠崎義信，奥野隆三，藤井洋郎，豊田啓男，黒川潔；鉄と鋼 60 (1980) S 660
- 8) 香川俊之，田辺政三，岩橋規雄，藤井孝一，重松達彦，中村哲也；住友金属 Vol 34 NO. 3 (1982) p. 117~129
- 9) 小島佑介，松居英雄，近清敬朗；製鋼研究第301号 (1980) p. 71~79
- 10) 小野繁幸，辻宏宏，木下新也，平野稔；日本鋼管技報 NO. 96 (1982) p. 133~138
- 11) 安藤錠治，中島崇文，山口清吾，市村重勝，井島文雄，近藤元恵；三菱重工技報，Vol 17, NO. 6 (1980-11) p. 57~64
- 12) 佐田哲男；廃熱回収利用システム実務便覧，フジテクノシステム，1981
- 13) 柳田博明，竹田俊二；化学工学，1981，4月号 (社) 化学工学協会