

水島製鉄所第1高炉の水砕スラグ製造設備と操業

Installation and Operation of the Slag Granulation Plant
at Mizushima No. 1 Blast Furnace Shop青木 幹 男*
Mikio Aoki田 中 周**
Syu Tanaka松本 敏 行***
Toshiyuki Matsumoto

Synopsis:

Number one plant with a capacity of 1000t/day came into operation successfully in April, 1975, for an effective utilization of blast furnace slag. This plant, so-called "RASA system", is characterized by its simplicity in structure and easiness of operation. The product properties have been studied in terms of process parameters concerning the cooling and breaking of molten slag in the actual plant. Fine grains increase in their percentage with rises in the cooling rate and the force of agitation and collision. The bulk density of slag granules also increases with an increasing cooling rate, but its minimum is revealed at a water pressure of 2kg/cm². This is considered to be due to an effect on packing properties of slag granules by both the amount of slag wool formation and slag size distribution. The porous products are used as raw materials for cement industry and the dense products are utilized in civil engineering construction. The wider utilization of granulated slags seems to be promising in the future.

1. 緒 言

資源多量消費型産業である鉄鋼業において、鉄鋼生産の副産物として大量に発生するスラグの処理が近年大きな問題となっており、今まで単なる産業廃棄物として処理されてきたスラグの有効利用が省資源の観点から見直されている。水島製鉄所第1高炉に当社初めての水砕スラグ製造設備(ラサ・システム)を設置し、昭和50年4月運転開始後順調に稼動している。現在当設備により製造される水砕スラグは主にセメント原料として使用され

ているが、一般土木用としてもコンクリート用細骨材、地盤の改良材および間隙充填材等の利用技術の開発を積極的に進めている。

2. 設備導入の背景

2-1 高炉スラグの利用技術

我が国の粗鋼生産は最近10年間年々増加の一端をたどり、昭和41年5200万tであったが昭和48年のピーク時には12000万tとなり、米国、ソ連に次ぐ世界の鉄鋼生産国となった。しかし、鉄

* 水島製鉄所製鉄部製鉄課
*** 水島製鉄所製鉄部製鉄管理課
〔昭和51年10月29日原稿受付〕

** 水島製鉄所製鉄部製鉄管理課掛長

鋼生産に伴い発生するスラグもまた膨大であり、昭和48年以降、高炉スラグに限っても年間2700～2800万tに達している。高炉スラグの利用面については、主にスラグ碎石として路盤材、道路用碎石、地盤改良材などに使われ、その他一部砂利、ロックウール、肥料などにも使われている。その発生量に対する利用率は70～80%であり、転炉スラグの40%、電炉スラグの30%に比べると利用率は高く、しかも残りも自家消費として埋立て等に使用されている。Table 1に現在の高炉スラグの処理方式とその主な用途を示す¹⁾。ところがオイルショック以降の経済情勢の変化により、一般土木用の高炉スラグ碎石の需要が大幅に減少したため利用率は急激に40%程度に低下し、その結果我が国製鉄各社は大量のスラグを在庫として抱えることになった。現状のスラグ利用率では早晚製鉄所内の用地は皆無となる状態となっている。Table 2に我が国の高炉スラグの用途別利用状況の推移を示す¹⁾。水砕スラグについては、我が国の高炉スラ

グの水砕スラグ化率は発生スラグ量に対し5%弱にすぎず、主にセメント原料として使用されている。Table 3に欧米各国の高炉スラグの利用状況を示す¹⁾が、欧米は伝統的にスラグの利用開発が進み、ほぼ天然材料と同等に利用されている²⁾。イギリスでは石灰岩が豊富であるためセメント用としての水砕スラグの用途は狭いが、道路用骨材としての高炉スラグの評価は高く、天然骨材と何ら区別しないで使われている。フランスでは高炉スラグの全生産量のうち水砕スラグが過半を占めている。これはフランスで開発されたグラブレーテが道路路盤工法の主流をなしていることによる。その他、西独、ベルギー等各国とも我が国に比べ水砕スラグの比率は高く、利用面ではセメント用が主流を占めている。このように、伝統的なスラグに対する考え方および環境問題を含めて、我が国が欧米と同一の条件下にあるとは言えないが、高炉スラグの有効利用という面から、水砕スラグの利用技術および利用分野にも何らかの新しい展開を求める必要がでてきている。

Table 1 Uses of blast furnace slag¹⁾

Slowly cooled slag (lump slag)
Road stone, rail ballast
Concrete aggregate
Harbor material (back fill, fill, rubble mound)
Ground improving material
Cobble stone
Material for cement clinker
Silicious calcium
Rock wool
Others (glass, tile)
Quenched slag (granular slag)
Blast furnace cement
Cement mixing material
Light weight foamed concrete
Ground improving material
Concrete aggregate
Ground stabilizing material
Silicious calcium
Others (ceramic material)
Semi-quenched slag (foamed slag)
Light weight concrete aggregate
Light weight back fill material
Others (heat insulator)

2・2 高炉におけるスラグ処理

当所第1高炉建設当初から、高炉スラグの処理方式としてスラグ水砕処理方式とドライピット処理方式を比較検討した。スラグ水砕方式はドライピット方式に比べ処理後のハンドリングが容易であること、設備がコンパクトで敷地の占有面積が少ないこと、散水冷却による水蒸気等の発生と排水処理の問題がなく作業環境が良い等の種々の利点がある。しかし、当時水砕スラグの需要がバラスに比べて少なかったことと、長距離輸送技術がなかったため、水砕方式は大型高炉には不向きであると考えられ、第1高炉から第4高炉までドライピット処理方式が採用されてきた。しかし、近年公害規制等諸般の情勢変化とともにドライピット処理方式での種々の問題が起こっている。一方、水砕スラグ製造設備はポンプの改良によってスラリーでの長距離輸送が可能になり、設備、作業両面から完成した設備となった。

このたび第1高炉に設置された水砕スラグ製造設備は「ラサ・システム」と呼ばれ、ポンプによるスラリー輸送と給排水設備に特色がある。Photo.1に当システムの全景を示す。

Table 2 Annual amount of blast furnace slag and its various uses in Japan¹⁾(10³t)

(10-1)

Calendar year			1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Annual production	Crude steel		51 898	63 777	68 987	87 026	92 406	88 441	102 972	120 017	114 036	101 596
	Pig iron	Total	33 960	42 003	48 312	61 587	69 547	72 214	77 864	91 260	89 545	—
		Blast furnace	33 534	41 581	47 849	61 091	69 023	71 748	77 515	90 926	89 232	58 733
	Slag		9 557	11 851	13 302	17 350	20 362	21 596	22 789	27 369	27 840	27 263
Ratio slag/pig			28.5	28.5	27.8	28.4	29.5	30.1	29.4	30.1	31.2	31.8
Uses	Slag macadam	Roadbed material	6 034	7 072	7 317	9 239	7 883	10 700	12 691	13 978	12 516	8 907
		Road stone										
		Rail ballast										
		Concrete aggregate	238	434	1 002	755	970	871	1 307	1 488	1 016	325
		Harbor material	1 640	7 072	1 851	2 276	2 933	3 127	2 904	2 891	963	396
		Ground improving material										
		Macadam	0	0	125	30	30	23	7	20	464	642
		Rock wool	6	26	35	56	47	46	56	135	148	
	Granulated slag	Fertilizer	200	377	402	326	415	195	172	152	145	162
		Blast furnace cement	1 178	1 197	1 073	1 227	1 347	903	1 047	1 263	829	1 299
		Grout material										
		Road sand	0	0	40	35	34	30	30	35	40	—
	In-plant consumption			261	1 000	1 457	4 406	6 676	5 701	4 575	7 407	11 719

Table 3 Annual amount of blast furnace slag and its uses in Europe and America¹⁾(10³t)

Nation	Slag production	Granulation ratio (%)	Amount of aggregate, fertilizer and cement	Remarks
U. S. A.	27 107	6.96	27 107	Foamed slag production : 1 427
West Germany	14 243	20.5	13 824	Granular slag { Road bed 5% Cement 95% Abandoned slag : 419(3%)
France	14 753	50.35	15 226	Granular slag { Cement 45% Road base 35% Fine aggregate 1%
England	5 600 *	1.5 *	7 000 *	Lump slag : Shortage of production Granular slag : Cement
Luxemburg	3 800 *	33 *	3 800	Lump slag : Concrete aggregate and road stone Granular { Cement, fine aggregate slag { Export to Germany and France
Belgium	5 600 *	100	5 600	Export as cement material to Germany and France

* Round figures

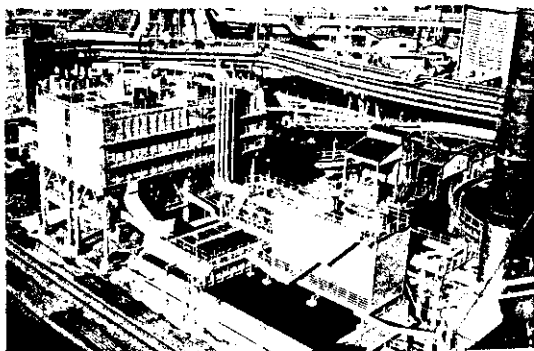


Photo. 1 General view of the plant

3. 設備概要

Fig. 1 に第 1 高炉レイアウトを示す。水砕スラグ製造設備は No. 1 出鉄口側に設置され、出滓された溶滓は、溶滓樋の切替えにより水砕スラグ製造設備またはドライピットにて処理する。ただし、ドライピットは 1 面であるため、満杯の場合は全量水砕スラグ化する。Fig. 2 に水砕スラグ製造設備のフローを示す。吹製樋へ流入した溶滓は、吹

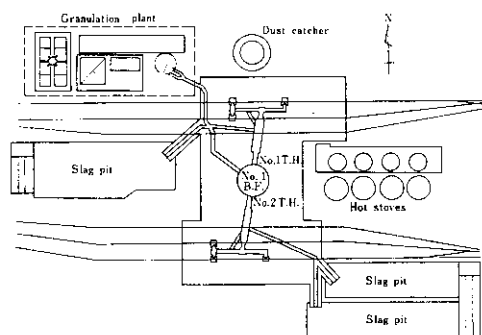


Fig. 1 Layout of slag pits around the No. 1 blast furnace

製函ノズルより噴射された噴射水とともに攪拌槽へ流入し水砕スラグ化する。水砕スラグはスラリーとなりポンプによって分配槽へ圧送され、一方、溶滓の冷却により攪拌槽で発生した多量の水蒸気は排気筒より大気中へ放出する。スラリーは分配槽より脱水槽へ装入され、捕捉脱水された水砕スラグは払出し弁より専用ダンプカーへ積込まれる。一方、水は脱水槽の金網を抜けて集水樋を通り沈降槽へ入り、混入微粒水砕スラグを沈殿除

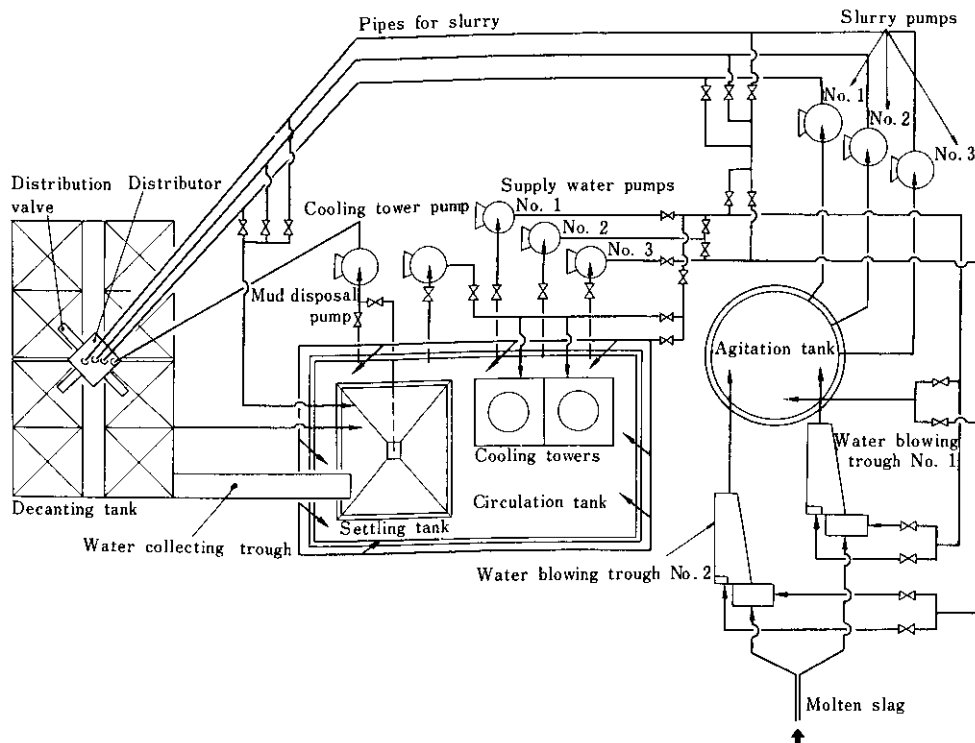


Fig. 2 Flow diagram in the slag granulation plant

去したあと循環槽へ入り、一部は冷却塔を経て、一部は直接給水として吹製函へ圧送される。沈降槽へ沈澱した微粒水砕スラグは、排泥ポンプにより再び脱水槽へ圧送される。Table 4 および

Table 4 Specification of the plant

Item	Specification
Type	RASA system
Slag production rate	1 000t/day
Slag tapping frequency	7tap/day
Slag tapping time	60min/tap
Slag amount per a tap	Max. 200t/tap
Slag granulation rate	Max. 5t/min
Molten slag temperature	1 490°C
Weight ratio molten slag/water	1/7
Supply water temperature	60°C
Blowing water pressure	Max. 3.0kg/cm ²
Complementary water	Venturi circulating water

Table 5 に水砕スラグ製造設備の仕様を、Fig. 3 に系内の水バランフローを示す。水はすべて系内で循環使用されるが、溶滓の冷却による蒸発減量分だけ循環槽へ補給される。以下に本設備の主要機器についてその概要を述べる。

3・1 吹製函および吹製樋

Fig. 4 に吹製函および吹製樋の概略図を示す。吹製函には上部、側部、下部および底部に鋼板製ノズル板をボルト締めしてある。水砕スラグ性状はノズル形状によって影響を受けるため、数種のノズル板を水砕スラグの品質の要求に応じて簡単

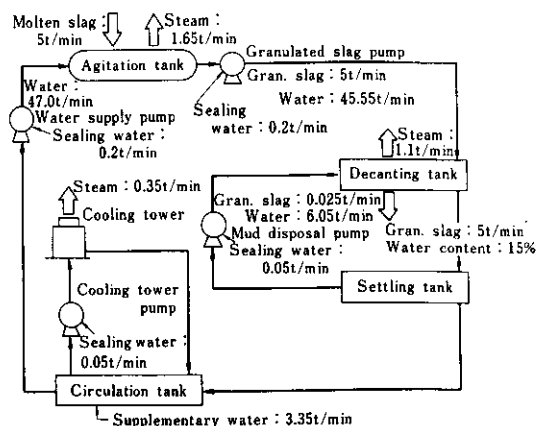


Fig. 3 Flow balance of slag and water

に交換できる構造とした。吹製樋中間部には、耐摩耗性ライナー付きの衝突板を取付け、手動ウィンチによって吹製函より噴射された滓・水混合流との衝突角度を自由に調整できるように、また衝突板支点をピン構造とし、吹製函と衝突板距離を2段階に調整できるようにした。

3・2 攪拌槽

Fig. 5 に攪拌槽の概略を示す。槽内には吹製樋に対して水平方向に 25°、垂直方向に 20°の角度をもった衝突板が取付けられ、吹製樋から流入した滓・水混合流はこの衝突板に当たって冷却・粒状化を促進される。水砕スラグは槽内でスラリーとなって槽周方向へ旋回しながら沈降する。槽内面には、スラリーによる摩耗を防ぐためキャストバブルライニングを施してある。槽上部には溶滓の冷却により発生した多量の水蒸気を大気中へ放出す

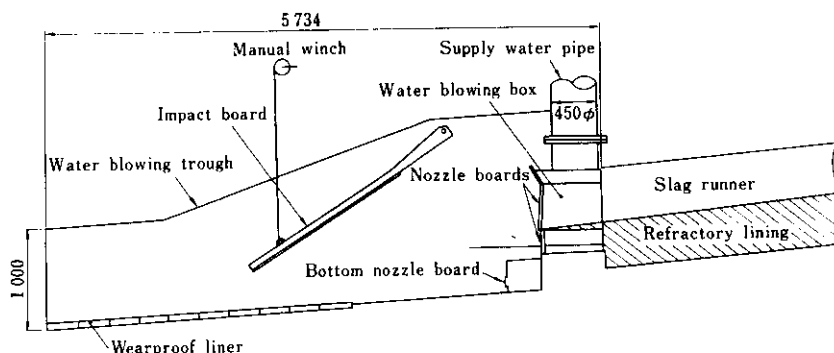


Fig. 4 Schematic illustration of water blowing box and trough

Table 5 Specification of equipment

Name of equipment	Number	Type	Material	Specification
Water blowing box	2	Box with nozzles of porous board	SS41	820w×600l×812h
Water blowing trough	2	Lined trough	SS41+24CrFC	906w×5710l×1800h
Impact board	2	Lined plate	SS41+24CrFC	866w×2440l
Agitation tank	1	Hopper type lined with castable	SS41	7000φ×7000h, 200m ³
Agitating nozzle	1		STPG38+SCH40	200φ/80φ
Impact board	1	Lined plate	SS41+24CrFC	5200w×3000h
Suction foot	1		SS41	1340φ×220h
Vapour duct	1	Stack	SS41+FRP	2800φ×20000h, G.L.+30000
Granulated slag pump	3	Slurry pump	24CrFC	23.5m ³ /min×37.2mAq×730rpm
Motor	3	3 phases squirrel cage induction		270kW×8P×3300V×60Hz
Granulated slag pipe	3	Wearproof cast iron (bend pipe)	STPG38+SCH40+24CrFC	400φ×63m
Distributor	1	Lined box	SS41+24CrFC	2400w×2400l×2000h
Distributing valve	4	Air cylinder driving damper	SS41+NBR	612w×1815l×503h
Decanting tank	4	Made of steel hopper	SS41	5000w×10000l×6000h, 390m ³
Wire net	4	With frame	SS41+SUS316	1000w×1000l, 6mesh, 158nets
Vibrator	16	Electromotive rotating		0.75kW×2P×440V×60Hz
Discharging valve	16	Pinch valve with air cylinder	NBR	500φ×950l
Water collecting trough	1		SS41	800w×16000l×965h
Settling tank	1	Hopper	SS41	10000w×10000l×2000h 165m ³
Circulation tank	1	Square pool	Steel concrete	11900w×23000l×5500h 1500m ³
Water supply pump	3	Slurry pump	24CrFC	23.5m ³ /min×37.2mAq×730rpm
Motor	3	3 phases squirrel cage induction		270kW×8P×3300V×60Hz
Water supply pipe	3	Wearproof cast iron (bend pipe)	STPG38+SCH40+24CrFC	450φ×40m
Mud disposal pump	1	Slurry pump	24CrFC	6m ³ /min×23mAq×1030rpm
Motor	1	3 phases squirrel cage induction		75kW×6P×440V×60Hz
Pipe	1	Wearproof cast iron (bend pipe)	STPG38+SCH40+24CrFC	200φ×55m
Cooling tower	1	Forced draft	SS41+Slate	4800w×11000l×6600h 900m ³ /h, 85°C→55°C
Pump	1	Slurry pump	24CrFC	15m ³ /min×22mAq×630rpm
Motor	1	3 phases squirrel cage induction		110kW×8P×440V×60Hz
Fan	2	Axial variable pitch	SS41	3660φ×320rpm×4570m ³ /min
Motor	2	3 phases squirrel cage induction		30kW×4P×440V×60Hz
Dump truck	3	Rear dump of tank		WD151 type, 20t capacity Volume of cargo 22.3m ³

るための排気筒を設け、耐食性とドラフト効果を考慮して FRP(Fiber Reinforced Plastic) 製で直径 2800φ、地上 30m 高さにした。槽内には水面管理のためのフロート式水面計と熱電対式水温計を取付け、ポンプのキャビテーション防止に対する管理を行っている。さらにポンプのキャビテーション等の事故に対する非常用として、オーバー

フロー管を設けた。槽下部には、水砕スラグの異常沈降を防ぎ、均一なスラリーとして輸送するように、ポンプサクションフートと給水管系より配管した 80φ 攪拌ノズルとを取付けてある。

3・3 脱水槽

Fig. 6 に脱水槽の概略を示す。脱水槽は鉄骨構

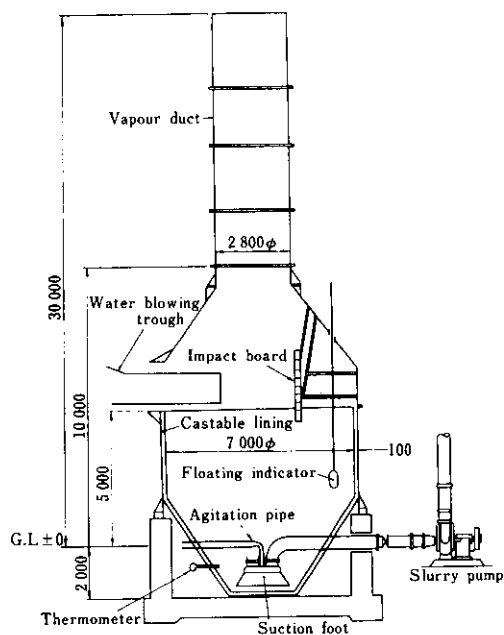


Fig. 5 Schematic illustration of agitation tank

造で4槽あり、1槽で1回の出滓量进行处理できる。槽上部に分配槽と分配弁を設置し、脱水槽の切替使用を行う。分配弁はゴムシート付きエアシリンダー駆動のダンパー弁である。脱水槽周囲3面には枠組した6メッシュのステンレス金網を張りめぐらし、金網外周には脱水された水の飛散防止板を取付けて水を集水樋へ導き完全に回収する。

Fig. 7に脱水槽の脱水効率を示す。脱水された水砕スラグは払出し弁より専用ダンプカーへ積み出

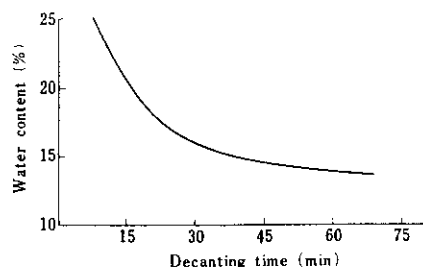


Fig. 7 Influence of decanting time on the water content of slag granules

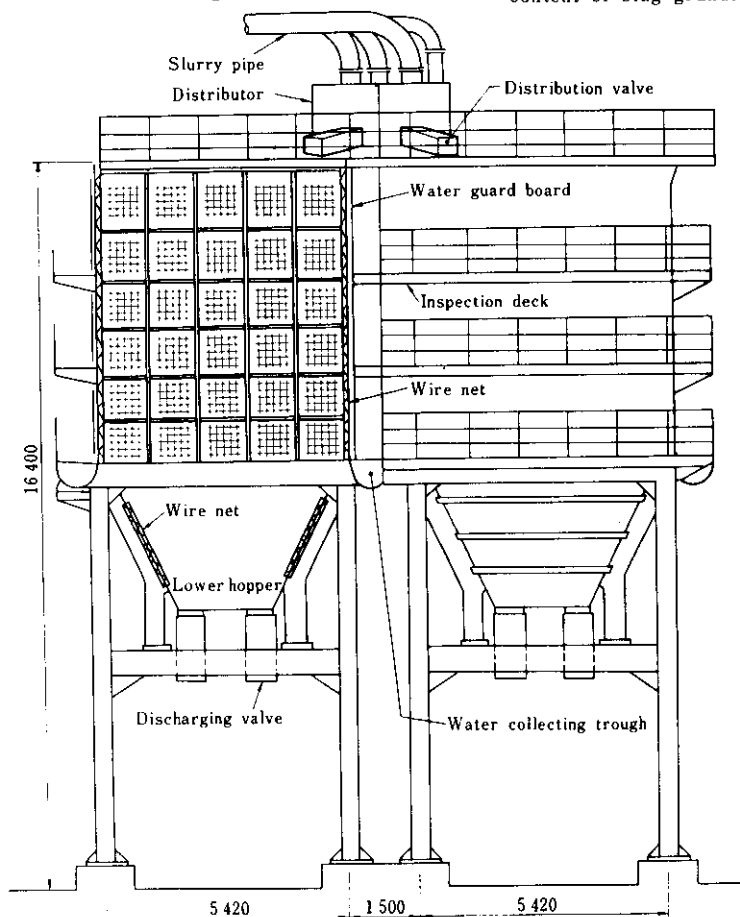


Fig. 6 Schematic illustration of decanting tank

しする。払出し弁としてはシール性の良いエアシリンダー付きピンチバルブを使用している。

3・4 制御設備

Fig. 8 に制御設備のフローを示す。攪拌槽の水位はフロート式水面計の信号で予備給水ポンプ(図中略)の運転、停止を行い管理する。また水砕スラグポンプのキャビテーションを防止するため、攪拌槽内水温の管理を行っており、水温計の信号によっても予備給水ポンプの運転、停止を行い、槽内温度を一定温度以下に保っている。水砕スラグの品質をコントロールするための吹製函給水圧力の管理は、手動バルブの開閉により行う。脱水槽の自動的選択切替は以下のように行われる。脱水槽のレベル計によって満槽が検出されると次の空槽を探し出してその払出し弁を閉じてから分配弁を開け、満槽の分配弁を閉じる。各脱水槽の払出し弁は分配弁が閉じると開き、払出し弁が開の間は分配弁は強制閉となる。循環槽補給水弁は循環槽水面計の信号によって開閉を行い、自動水面制御を行っている。

4. 操業経過

第1高炉は昭和50年4月11日に改修工事を終え、2次の火入れを行った。水砕スラグ製造設備

の運転は、出銑状況と溶滓性状の安定した4月21日より開始した。それ以後、各種の部分的設備改善を加え、ほぼ安定した運転を継続している。この間の水砕スラグ製造量の推移を Fig. 9 に示す。製造量の決定要因は、高炉操業状況、設備のメンテナンス、水砕スラグの需給状況であり、出滓量の全量进行处理しているわけではない。現在までは、水砕スラグの需給状況により月間の製造量の大筋が決められ、それによって製造計画、運転計画を立てている。

設備面では、溶滓流量の大幅な変化に十分追従できないという問題がある。またスラリー輸送システムを採用したことにより、パイプ系統の摩耗が当初の予想以上に多かったこと、製品性状面で

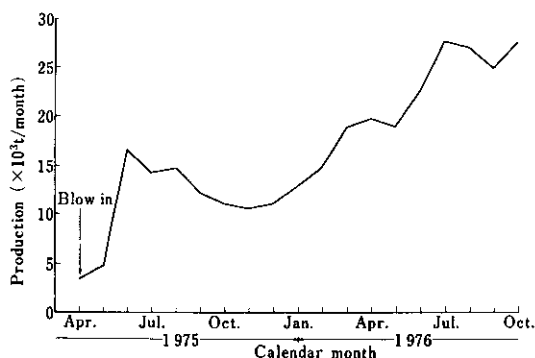


Fig. 9 Change in monthly production of granulated slag

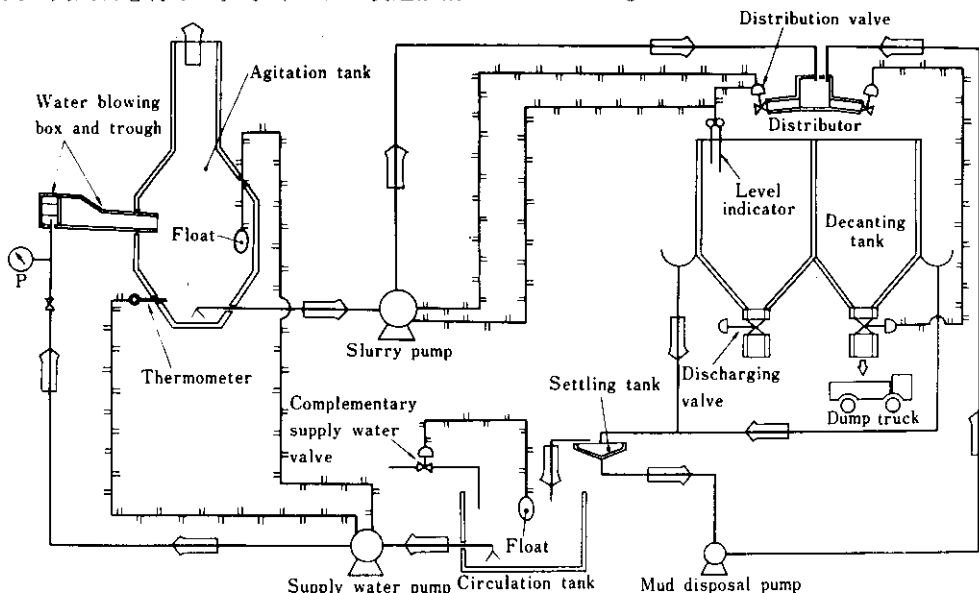


Fig. 8 Flow diagram of instrumentation

はスラグウールの発生が多く、これが脱水槽の金網の目詰りを助長するなど種々のトラブルが生じた。これらの問題に対してはそのつど設備上、操業上の対策を実施している。Table 6 に稼動以来の主な運転上の問題点とその対策を示す。

5. 製造条件の検討

従来の水砕スラグ製造技術に関する調査によれば、水砕スラグの性状は冷却過程と粉碎過程の相互作用により決定され则认为られる。つまり、吹製函および衝突板周辺での製造条件により初期性状が左右され、脱水槽での最終性状もほぼ決定する。

以下に性状に影響を及ぼす製造条件を示す。

溶 滓：温度、化学組成、流量

噴射水：温度、圧力、流量

吹製函：ノズルの配置、ノズルの形状

衝突板：形状、位置、角度

吹製樋：形状

第1高炉の水砕スラグ製造設備についての実機特性や上記製造条件相互の関係についての定性的な知見³⁾の確認と、また今後予想される広範囲に及ぶ品質要求に対処できる製造条件の開発をも目的とし、各種の実機実験を行った。その結果について主なものを以下に述べる。実験に際して対象とした水砕スラグの主な性状は、粒度分布、平均粒度、絶乾比重、単位容積重量であり、他に化学成分、ガラス化度等についても測定を行った。測定方法はそれぞれ JIS に従った。

5・1 平均粒度、粒度分布

(1) 給水圧力の影響

Table 7 に水砕スラグの粒度分布を給水圧力別

Table 6 Troubles and countermeasures in the operation and the maintenance

Equipment	Trouble	Countermeasure
Water blowing trough	Blowing off of steam, boiling water and granulated slag over the trough by surpassing the treating capacity	Remodelling of impact board into variable gradient type Shape change and enlargement of nozzle hole cross section Simplification of separating means of molten slag to slag pit
Agitation tank	Cavitation in granulated slag pump owing to increasing water temperature in tank caused by an excessive increase of slag granulation rate	Addition of water supply pipe
Decanting tank	Decrease in decanting capacity by the clogging of wire net	Periodic cleaning and exchanging of wire net
Settling tank	Difficulties with discharging deposited granular slag Wearing of pipe with high density slurry	Periodic water cleaning in tank Increase of the second tank for alternative use Exchanging pipes according to the wear measurement using ultrasonic thickness indicator
Circulation tank	Deposition of slag wool and fine granulated slag	Periodic cleaning
Cooling tower	Attachment of slag wool to deposit	Removal of deposit and periodic cleaning

Table 7 Size distribution and physical properties of the granulated slag

Sample No.	Supply water pressure (kg/cm ²)	Screen size (mm) and passed ratio (%)						Mean size (mm)	Specific gravity in dry state (t/m ³)	Bulk density (kg/l)
		5.0	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15			
①	0.4	99.6	84.6	37.8	5.9	1.1	0.3	1.77	2.55	1.33
②	0.7	99.9	93.7	52.9	9.3	1.6	0.4	1.43	2.23	1.09
③	1.0	100.0	96.7	59.2	13.4	3.5	0.9	1.29	1.96	0.80
④	2.0	100.0	98.3	60.0	15.2	4.5	0.9	1.20	1.80	0.79
⑤	3.0	100.0	99.3	75.1	24.3	6.6	1.0	1.02	2.05	0.95
⑥	After crushing sample ①	100.0	99.0	79.0	27.0	9.6	3.0	0.99	2.60	1.55

に、また Fig. 10 に給水圧力と平均粒度の関係を示す。給水圧力の上昇に伴い細粒割合(0.6mm 以下)が増加する。これはノズルからの噴射速度が上昇して、流下溶滓層の衝突力を増し、粉碎効果が向上したためと思われる。給水圧力が 0.4kg/cm² から 3kg/cm² までの実験結果①～⑤では、土木学会標準方書に示される天然砂の標準粒度分布の範囲に入るものはなかった。しかし細粒割合の最も少ないサンプル①は、粉碎による粒度分布調整の自由度が大きく、単位容積重量も 1.33kg/l (Table 7 参照) と大きいことから、これを粉碎したサンプル⑥は単位容積重量が 1.55kg/l となり、粒度分布も示方書の規格を満足するものとなった。

(2) 給水温度の影響

Fig. 11 に給水温度と水砕スラグの粒度分布の関係を示す。給水温度が低下すると細粒割合は増加する。これは冷却速度が増加して、凝固時に粒子の内部応力の蓄積が助長され、衝突時の粉碎効果が向上したためと考えられる。

(3) 衝突板形状とノズルの影響

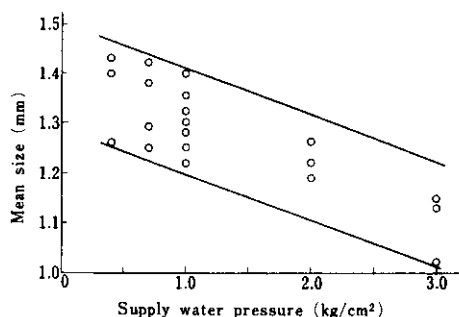


Fig. 10 Influence of supplied water pressure on the mean size of slag granules

衝突板の衝突面形状と散水ノズルの位置を変え、粉碎性能の向上を目的とした実験を行った。まず衝突板の衝突面に 20φ×400l の丸鋼を長手方向に 2 列、10 段にチドリ状に配列して実験した。Fig. 12 に実験結果を示す。突起の取付けにより細粒割合

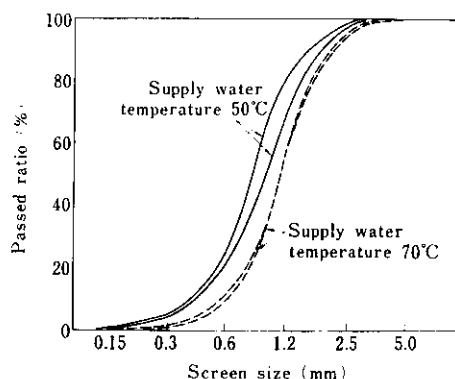


Fig. 11 Slag size distribution change with supply water temperature

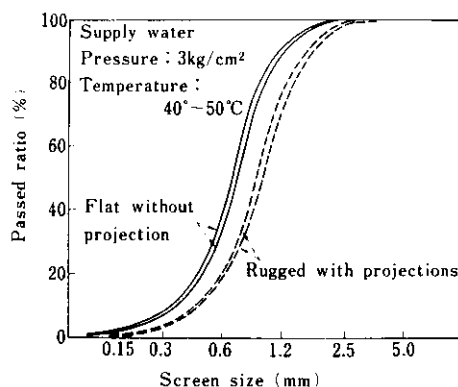


Fig. 12 Effect of projections on impact board upon slag size distribution

は増加し、衝突板の粉碎性能が向上することが確認された。細粒化に対する効果は給水温度を20°C低下させるのと同様であった。

次に、Fig. 13 に示すように吹製函中間部に散水ノズル（天井ノズル）を増設し、吹製函ノズルと増設ノズルの水量比を全給水量一定のまま6/4、5/5、4/6と変えた実験を行った。Fig. 14 に実験結果を示す。増設ノズルの水量の増加に伴い細粒割合は増加している。これは吹製函ノズルからの噴射水だけでは流下溶滓の細粒化が不十分であり、中間部での散水が細粒化に効果があることを示している。

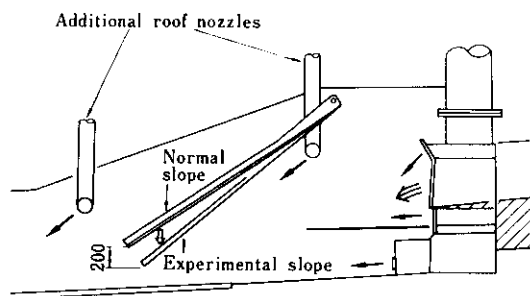


Fig. 13 Schematic illustration of experimental modification as to nozzles and the impact board slope

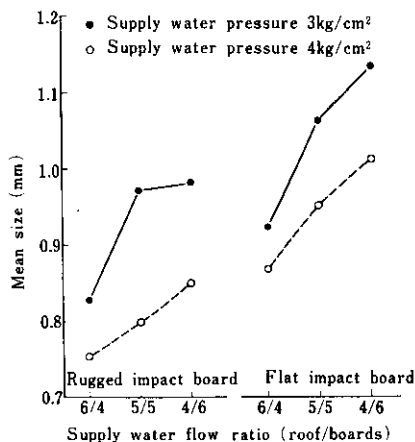


Fig. 14 Effect of roof/boards flow ratio of supply water with constant total flow upon the mean size of slag granules

5・2 絶乾比重，単位容積重量

(1) 溶滓温度の影響

Fig. 15 に溶滓温度と水砕スラグの絶乾比重の関係を示す。溶滓温度の低下に伴い絶乾比重は増加する。本設備では高炉より排出した溶滓をそのまま水砕スラグ化するので、溶滓温度は高炉操業上の制約を受けており独自に操作することはできないが、比重の増加割合は10°Cの温度低下で0.1t/m³とかなり影響の大きいことがわかった。高炉操業上溶滓温度の低下は、炉内の熱レベルの低下を反映し、CaO/SiO₂の低下、FeO%の増加等の溶滓成分の変化と結びつけられ、同時に溶滓が急冷固化する際に結晶化を促進するため比重増加に効果があるものと考えられる。

(2) 給水圧力の影響

Fig. 16 に給水圧力と水砕スラグの単位容積重量の関係を示す。給水圧力2kg/cm²で最小となり、低、高圧側では増加している。単位容積重量は、

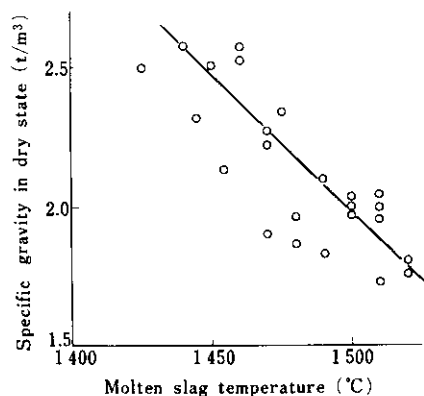


Fig. 15 Effect of molten slag temperature on the specific gravity of granulated slag in dry state

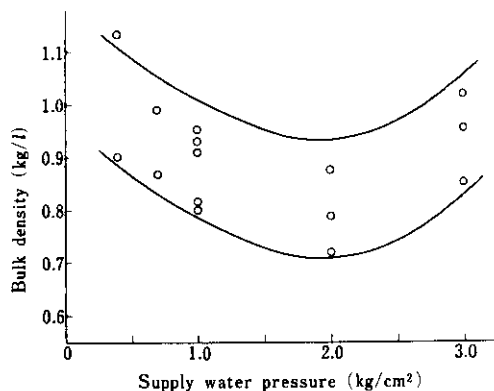


Fig. 16 Effect of supply water pressure on the bulk density of granulated slag

粒体の加圧充填状態での性状を示すものである。充填状態を左右するのは、個々の粒体の形状と粒度分布であり、それに粒体のもつ加圧時の破碎性も考慮されなければならない。給水圧力が 2kg/cm^2 近辺のとき粒度分布は最も均一化し、 2kg/cm^2 以上ではウールの生成量が増加するが細粒割合も増加するため充填性は向上する。また、給水圧力が 1kg/cm^2 以下ではウールの生成量が減少することと、粗粒割合が増加するため充填性が向上することが考えられる。

(3) 給水温度の影響

Fig. 17 に給水温度と水砕スラグの絶乾比重との

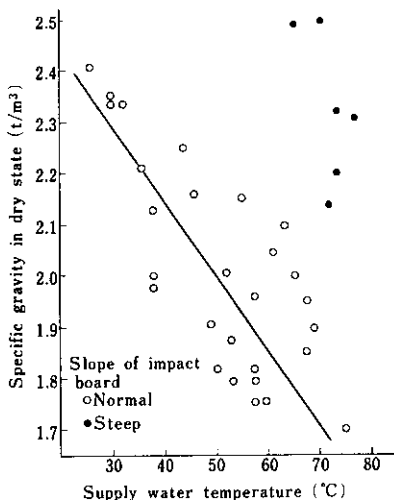


Fig. 17 Effect of supply water temperature on the specific gravity of granulated slag in dry state

関係を示す。給水温度の低下に伴い絶乾比重が増加する。増加割合は給水温度 10°C の低下によ

り 0.15t/m^3 となった。給水温度の低下は、溶滓の冷却固化時冷却速度を増加させることにより気泡の発生を減少させ、絶乾比重を上昇させると考えられる。

(4) 衝突板角度の影響

Fig. 13 に見られるように、衝突板の角度を大きくすることで絶乾比重は大幅に増加した (Fig. 17 参照)。衝突角度を大きくすることで粉碎が促進され、冷却面積の増加により冷却速度が増加したためと考えられる。

これらの実験結果から、従来の知見の確認と製造プロセスに関する新たな知見を得ることができた。しかしながら、現象の定量的な把握がまだ十分とは言えない。

今後の技術開発の方向は、ミクロ的な視野での検討を加え、なお一層幅広い性状の水砕スラグを製造する設備、技術を確立することで、具体的には噴射水ノズルの配置および開口形状の検討、前処理技術としての溶滓流量、温度調節等の検討を進めていくつもりである。

6. 結 言

水島製鉄所第1高炉に設置した水砕スラグ製造設備について、設備概要と操業状況を報告した。今後は種々の性状を持った製品の利用技術および利用分野の拡大を図っていく所存であるが、これは単にスラグ処理という消極的な考えに基づく鉄鋼メーカーのみの問題ではなく、省資源という広い視野にたって、関連業界と一体になって進めていかねばならぬ課題であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 新日本製鉄(株)鉱滓資源化推進室：鉄鋼スラグ概説，(1976)
- 2) 日本鉱滓協会：スラグ資源の利用に関する欧米調査団報告書，(1976)
- 3) A. R. Lee : Blast Furnace and Steel Slag Production, Properties and Uses, (1974), [The British Quarrying and Slag Federation Ltd.]