

5 インド国での製鋼スラグの有効活用を取り巻く現状の調査と分析結果

5.1 製鉄所の調査

5.1.1 国営一貫製鉄所

インドの国営一貫製鉄所は、SAIL 社(Steel Authority of India Limited)(A 社)と RINL 社(Rashtriya Ispat Nigam Limited)(B 社)の 2 社である。国営一貫製鉄所の特徴は高炉+転炉法による。また溶銑予備処理工程は有しておらず、転炉での負荷が大きくかつ製鋼スラグの塩基度($V=CaO/SiO_2$)は高い。よって製鋼スラグの活性は非常に高いと推測される。

(1) A 社(SAIL 社)

SAIL 社はインド国内に製鋼プラントを 9 拠点持っており、その内 5 製鉄所は普通鋼の高炉一貫製鉄所である。その他に VISL 製鉄所に高炉を持っているが詳細は不明である。残りの 3 プラントは、合金工場・ステンレスミル等となっている。SAIL に関しての今回の検討では、高炉一貫製鉄所の 5 製鉄所に絞り込み基礎調査を実施した。以下に SAIL 社の高炉一貫製鉄所の所在地を示す。



Fig.51-1 Map of SAIL 5 integrate steel plants

Table 51-1 SAIL 5 integrate steel plants

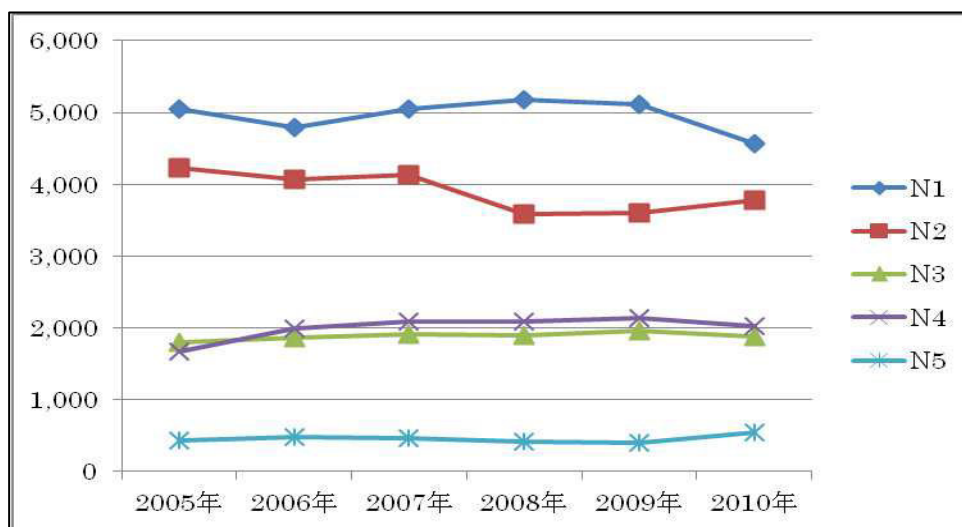
Map No.	Steel Plant	State	Location
N1	SAIL-BSP	Chattisgarh	Bhilai
N2	SAIL-BSL	Jharkhand	Bokaro
N3	SAIL-DSP	West Bengal	Durgapur
N4	SAIL-RSP	Orissa	Rourkela
N5	SAIL-ISP	West Bengal	Burnpur

(出典:SAIL's diary 2012 から抜粋)

以下に SAIL 社高炉一貫製鉄所の粗鋼生産量の推移を示す。2005 年以降±10%程の変動は見られるが安定的な生産が継続中である。

Table 51-2 The Annual Statistics of Crude Steel Production by SAIL (単位:千 t)

No	Steel mill	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
N1	Bhilai(BSP)	5,054	4,799	5,055	5,184	5,109	4,565
N2	Bokaro(BSL)	4,228	4,067	4,127	3,578	3,599	3,780
N3	Durgapur(DSP)	1,801	1,869	1,914	1,888	1,966	1,886
N4	Rourkela(RSP)	1,661	1,990	2,093	2,082	2,128	2,030
N5	IISCO(ISP)	434	472	458	417	400	550



Graph.51-1 Annual Statistics of Crude Steel Production by SAIL

(ア) 予備調査内容

SAIL 社の製造プロセスは、高炉+転炉法である。製鋼スラグの発生量を予測するには、1)製品販売量、2)銑鉄製造販売量を確認し製鋼生産量を検証する必要がある。以下に SAIL 各製鉄所の 1) 設備能力一覧、2)製品販売量、3)製造プロセス、4)生産設備一覧を示す。

Table 51-3 Plants and units of SAIL

Plants/Units	Location	Saleable Steel (in million tonnes)			Products
		Capacity	Production (2010-11)	Post Expansion Capacity (current phase)	
Bhilai Steel Plant	Bhilai, Chhattisgarh	3.153	4.565	6.56	Blooms, Billets, Beams, Light Structural, Channels, Angles, Bars & Rods, Crane Rails, Plates, Rails, Long Rails, Pig Iron & Chemicals.
Durgapur Steel Plant	Durgapur, West Bengal	1.586	1.886	2.12	Blooms, Billets & Slabs, Coils, Channels, Angles, Bars, Rods & Rebars, Slab, Wheels, Railway Wheels & Axles, Pig Iron & Chemicals.
Rourkela Steel Plant	Rourkela, Orissa	1.671	2.030	3.99	Plate Mill, Plates, HR Plates, HR Coils (Sale), CR Sheet/coils, Galvanized Sheets plain and corrugated, Tin Plate, ERW Pipes, Spiral Weld pipes, CRND.
Bokaro Steel Plant	Bokaro, Jharkhand	3.750	3.419	4.18	HR Coils/Sheets/Plates, CR Coils/Sheets, CP Sheets/Coils, GC Sheets, Pig Iron & Chemicals.
IISCO Steel Plant	Bumpur, West Bengal	0.550	0.425	2.39	Billets, Beams, Beams, Coils, Channels, Angles and Rails.
Alloy Steels Plant	Durgapur, West Bengal	0.184	0.203	0.43	Stainless steel and non-stainless steel, Blooms, Billets, Bars, Forging Plates and Continuous Cast Slabs and Blooms.
Salem Steel Plant	Salem, Tamil Nadu	0.175	0.274	0.34	Cold Rolled Stainless Steel, Hot Rolled Carbon & Stainless Steel Products, Micro-Alloyed Carbon Steel.
Viswodaya Iron & Steel Plant	Bradavai, Karnataka	0.095	0.085	0.22	High Quality Rolled & Forged Alloy & Special Steel Products.
Chandrapur Ferro Alloy Plant	Chandrapur, Maharashtra	-	0.100 ^A	-	High/Medium/Low Carbon Ferro-Manganese, Silico-Manganese.
SAIL Refractory Unit	Bokaro, Jharkhand	0.155 [#]	0.095	-	With four plants in Jharkhand & Chattisgarh, it produces refractory for SAIL plants: Basic Bricks: for ladle & converter lining, HA-90%: for Blast Furnace, Silica: for Coke Ovens, MCB: for LD converter lining as well as steel ladle. Monolithics: for BF Cast House, All types of Masses & Mortar, Slide Gate refractories etc.

(出典: SAIL's diary 2012 から抜粋)

① SAIL-BSP 製鉄所 (Bhilai Steel Plant)

Table 51-4 SAIL-Bhilai 製鉄所販売量

PRODUCT-MIX	TONNES/ANNUM
Semis	533,000
Rail & Heavy Structural	750,000
Merchant Products (Angles, Channels, Round & TMT bars)	500,000
Wire Rods (TMT, Plain & Ribbed)	420,000
Plates (up to 3600 mm wide)	50,000
Total Saleable steel	3,153,000

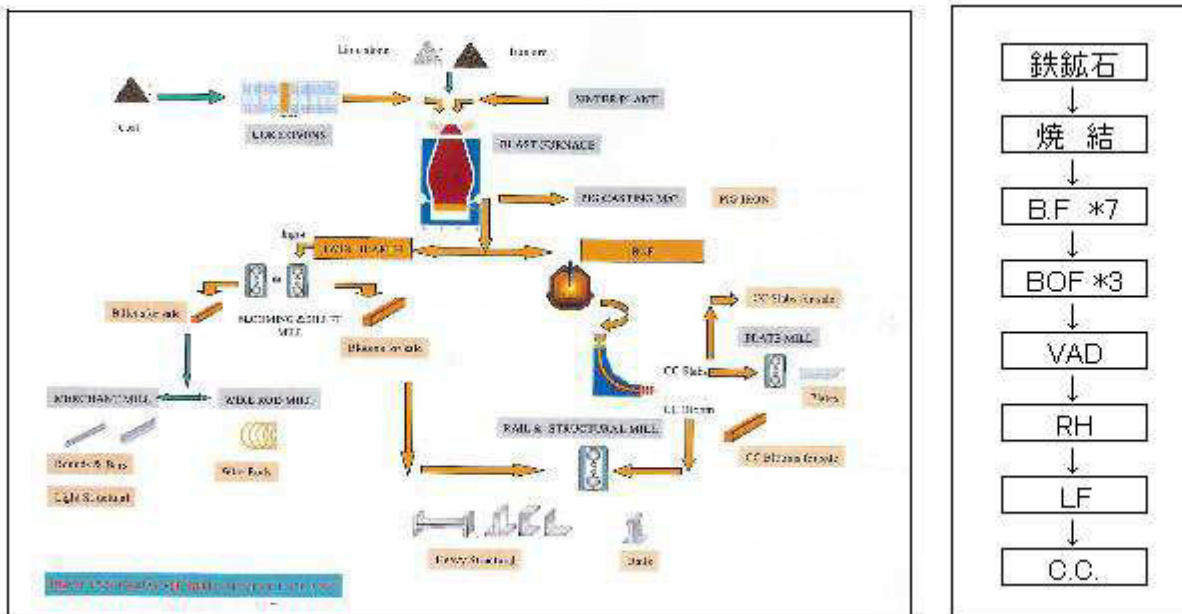


Fig.51-2 Flow sheet of SAIL-Bhilai

Table 51-5 Facilities List of SAIL-Bhilai

Blast Furnaces
3 of 1033 Cu m capacity each
3 of 1719 Cu m capacity each
1 of 2355 Cu m capacity
Hot Metal Capacity : 4.70 MT / year
Steel Melting Shop
Steel-making through BOF, VAD/Ladle Furnace/RH-Degasser and Continuous casting route
3 converters of 110/130 T
VAD unit, 2 RH degasser, 2 Ladle furnace
4 Slab Casters, 1 bloom caster, 1 Combi caster
Annual Capacity: 1.425 MT Cast steel
Converter Shop :
3 BOF 110/130 T Convertors
Secondary Refining facilities : 1 VAD unit, 2 RH degassers, 2 Ladle furnaces, 1 Desulphurisation Unit
Continuous Casting Shop: 4 Slab Casters, 1 bloom caster, 1 Combi caster
Steel-making through Twin Hearth Furnace (THF) route :
4 THFs of 250 T capacity each
Annual capacity 2.5 MT ingot steel

* 約 150 万 t は銑鉄販売、製鋼量は 300 万 t 程度

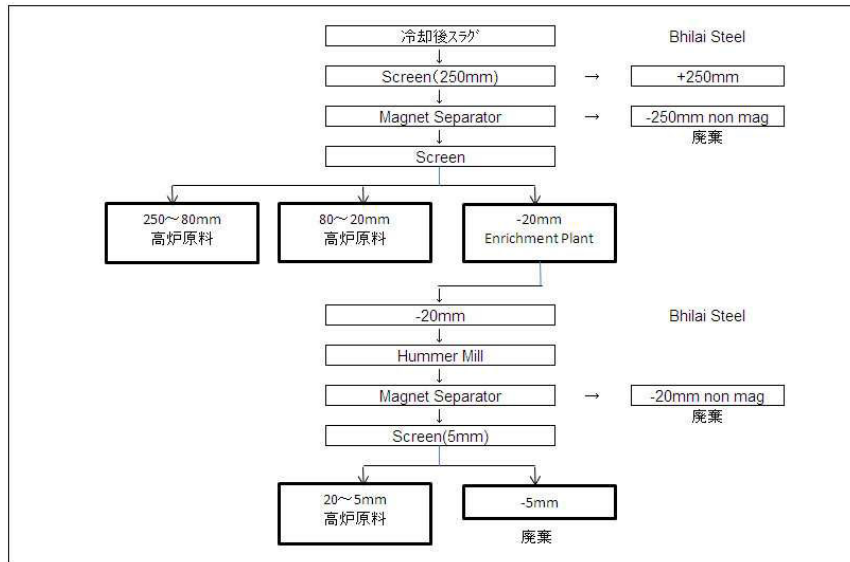


Fig.51-3 Flow sheet of Bhilai Steel Slag treatment

② SAIL-BSL 製鉄所 (Bokaro Steel Plant)

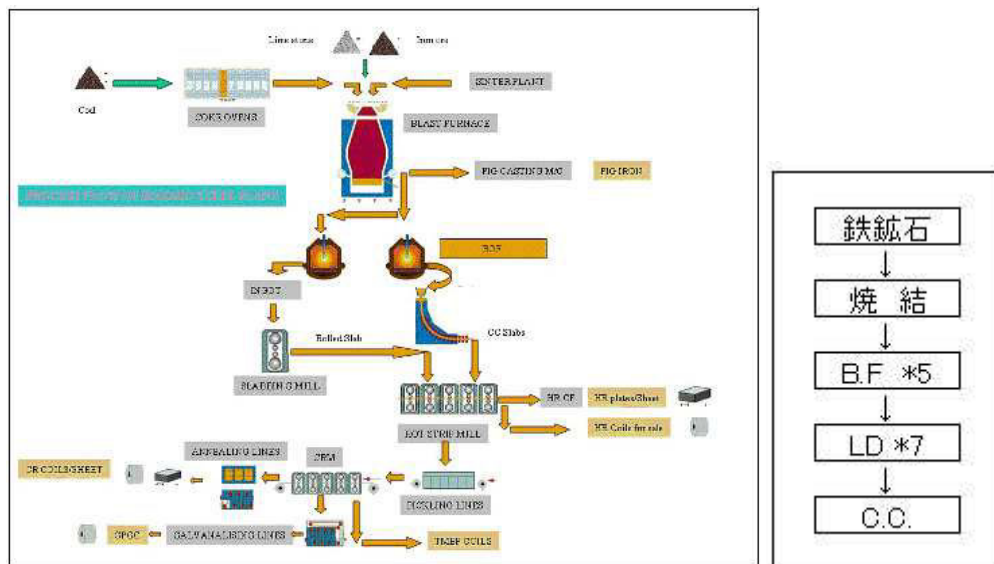


Fig.51-4 Process Flow Chart : SAIL-Bokaro

Table 51-6 Facilities List of SAIL-Bokaro

Blast Furnaces
5 of 2000 Cu m capacity each
Hot Metal Capacity : N.A. MT / year
Steel Melting Shop
Steel-making through LD, Ladle Furnace and Continuous casting route
SMS-I : 5 LD-converters of 130 T
SMS-II : 2 LD-converters of 300 T
2 Slab Casters, 1 bloom caster
Annual Capacity: N.A. MT Cast steel

* 銑鉄販売無し、製鋼量は 370 万 t 位 (120 万 t の増産計画有り)

③ SAIL-DSP 製鉄所 (Durgapur Steel Plant)

Table 51-7 SAIL- Durgapur 製鉄所製品販売量

PRODUCT-MIX	TONNES/ANNUM
Merchant Products	280,000
Structural	207,000
Skelp	180,000
Wheels & Axles	58,000
Semis	861,000
Total Saleable steel	1,586,000

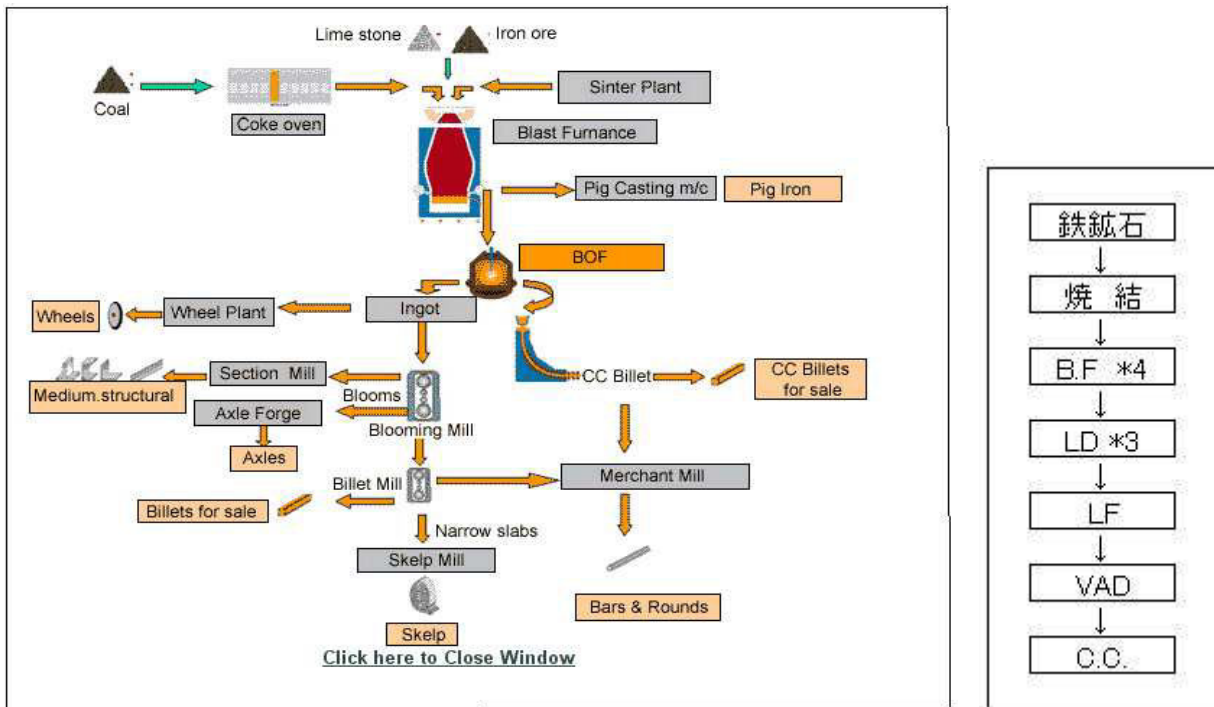


Fig.51-5 Process Flow Chart: SAIL-Durgapur steel plant

Table 51-8 Facilities List of SAIL-Durgapur

Blast Furnaces
1 of 1323 Cu m capacity each
2 of 1400 Cu m capacity each
1 of 1800Cu m capacity each
Hot Metal Capacity : N.A. MT / year
Steel Melting Shop
Steel-making through BOT,LF,VAD and Continuous casting route
3 BOF 110/130 T Convertors
2 Slab Casters, 1 bloom caster
Annual Capacity: N.A. MT Cast steel

* 約 30 万 t は銑鉄販売、製鋼量は 160 万 t 程度

④ SAIL-RSP 製鉄所 (Rourkela Steel Plant)

Table 51-9 SAIL- Rourkela 製鉄所製品販売量

PRODUCT-MIX	TONNES/ANNUM
Plate Mill Plates	299,000
HR Plates	92,500
HR Coils	398,000
ERW Pipes	75,000
SW Pipes	55,000
CR Sheets & Coils	433,000
Galvanized Sheets (GP& GC)	160,000
Electrolytic Tin-Plates	85,000
Silicon Steel Sheets	73,500
Total Saleable Steel	1,671,000

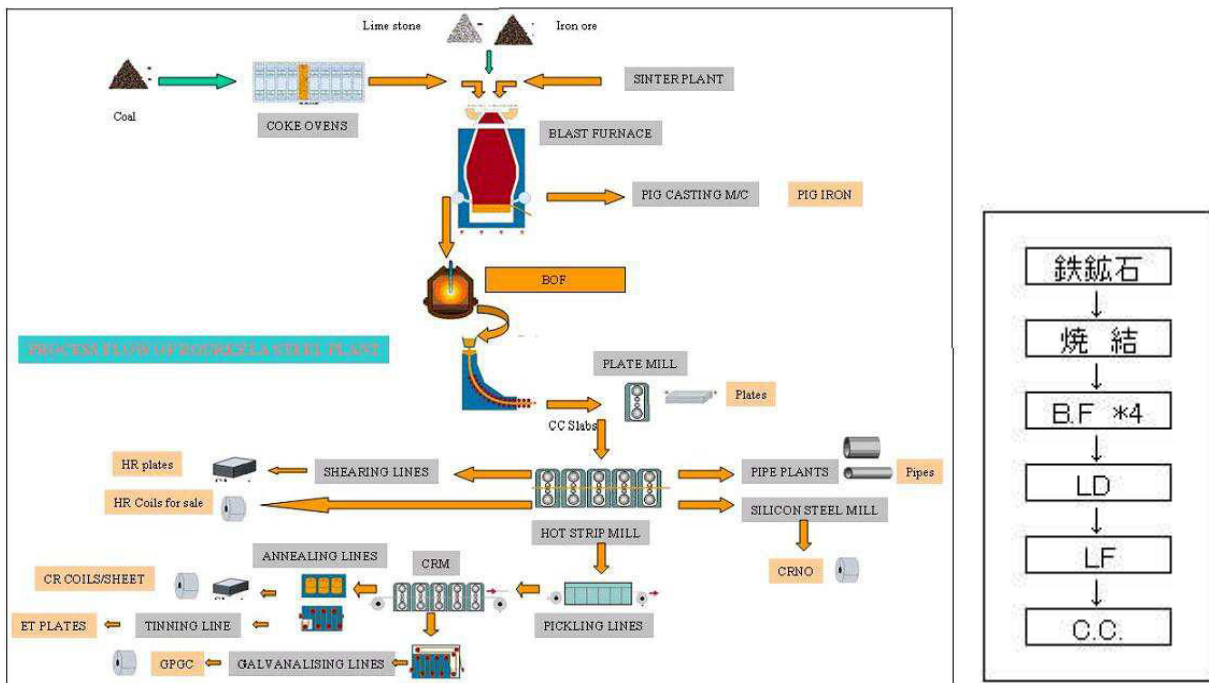


Fig.51-6 Process Flow Chart: SAIL-Rourkela steel plant

Table 51-10 Facilities List of SAIL- Rourkela

Blast Furnaces
4 of N.A. Cu m capacity each
Hot Metal Capacity : N.A. MT / year
Steel Melting Shop
Steel-making through LD, Ladle Furnace and Continuous casting route
SMS-I : N.A. LD-converters of N.A. T
SMS-II : N.A. LD-converters of N.A. T
2 single Slab Casters, (1,355,000 tonnes
Annual Capacity: N.A. MT Cast steel

⑤ SAIL-ISP 製鉄所 (IISCO Steel Plant)

SAIL-ISP 製鉄所は、西ベンガルの Burnpur に所在し、426 千 t/年の製品販売能力と 254 千 t の銑鉄生産能力を有している。

Table 51-11 Facilities List of SAIL- ISP

Blast Furnaces
2 of 1170 Cu m capacity each
Hot Metal Capacity : 0.45. MT / year
Steel Melting Shop
Steel-making through Hearth Furnace
1 twin Hearth Furnace of 2*110t capacity
Annual Capacity: N.A. MT Cast steel

(イ) 予備調査結果

以上の結果から、製鋼生産量を推定し製鋼スラグの発生量を予測した。結果を以下に示す。本結果から、BSP ならびに BSL は対象エリア製鉄所として選定し、生産量が少ない事から ISP は対象エリア製鉄所から除外する。また DSP ならびに RSP に関しては、対象製鉄所での未処理の製鋼スラグ量を調査した上で対象エリアとして対象とするか否かを検討する。

Table 51-12 製鋼生産量ならびに製鋼スラグ発生量一覧 (単位:千 t/年)

No	Steel mill	製鋼生産量	製鋼スラグ発生量	備考
N1	Bhilai(BSP)	3,000	330	
N2	Bokaro(BSL)	3,700	407	増産計画有り
N3	Durgapur(DSP)	1,600	176	
N4	Rourkela(RSP)	1,700	187	
N5	IISCO(ISP)	426	47	対象外

(2) 訪問調査結果

同社に対するスラグの有効活用に交渉経緯を以下に記載する。

Table 51-13 交渉経緯

年月日	内容	部署	出席者	概要
120214	プレゼンテーション	貿易	印 3 名、日側 3 名	・スラグの有効活用事業化のプレゼンテーション ・回収金属鉄の輸出入に関するヒアリング
120217	第 1 回 合同検討会	企画	印 7 名、日側 2 名	・スラグの有効活用事業化のプレゼンテーション ・他国営製鉄所の進捗状況に興味 ・Proposal の提出要請 ・日本政府や行政機関等の協力受けと FSNL との協調を相互確認
120713	Tender	CMMG		・副産物のリサイクルに関する Tender ・応札 (EOI 提出) 要請
120808	EOI	NMD		E.O.I.(Expression of Interest) を作成・返送
120808	Proposal	本社	印 1 名、日側 1 名	Proposal 提出
121008	Proposal	本社	印 5 名、日側 4 名	Proposal 内容の討議と質疑応答 ・回収歩留りに質問が集中 ・ミネラルの有効活用は FSNL が担当 ・対象製鉄所の確定 ・EOI の応募者の確認 ・実施時期:書類審査後に決定

130228	第 2 回 合同検討会	本社	印 3 名、日側 5 名	Proposal フォロー・進捗状況確認(詳細は以下) ・Proposal 応募者は SAIL の目的に未達 ・Project の見直し中 ・現設備の見学・診断を要望
--------	----------------	----	--------------	--

(ア) プロジェクトの進捗状況確認 (2013 年 2 月 28 日)

① 進捗状況

SAIL 社は多くの案件を抱えており、国営企業は方向性を決めることが多い。各プロジェクトは少しずつ進んでいる。

② 資金

資金面の問題はない。

③ 応札者

今回スラグ処理全体の応札業者を募集したが、スラグ処理技術を有する企業の募集がなかったため、プロジェクトの見直しを検討中

④ 処理方式

製鉄所の目標とスラグ処理会社の実態に大差

(イ) 今後の方針と要請事項

SAIL 社 ED から現設備と NMD 設備の比較を求められた。現時点では SAIL 社の現設備を見学しておらず比較出来ないため、対象製鉄所のスラグ処理設備見学を要請した。



Photo.51-1 SAIL 本社入口



Photo.51-2 SAIL 本社



Photo.51-3 第 1 回関係者合同検討会



Photo.51-4 第 2 回関係者合同検討会

(2) B 社 (RINL 社)

(ア) 予備調査結果

RINL 社は、Andhra Pradesh 州 Visakhapatnam(通称:Vizag)地区に主力一貫製鉄所 (Vizag Steel)を設置・生産中である。以下に Vizag 製鉄所の 1) 所在地、2) 設備能力一覧、3) 製造プロセス・生産設備一覧を示す。

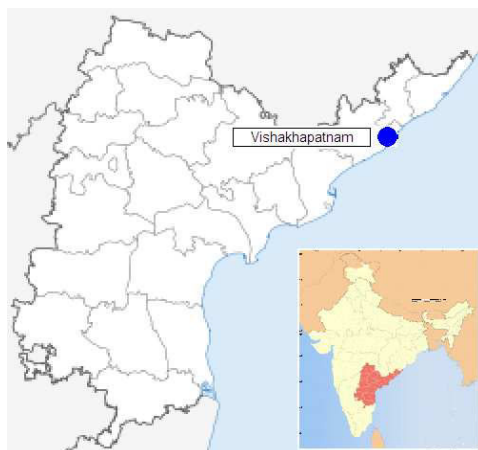


Fig.51-7 Map of Vizag steel plant of RINL

Table 51-14 The capacity of facilities with Vizag Steel plant

Facilities	Capacity
Sinter plant	Two Sintering machines of Dwight Lloyd type having 312 m2 total Production Capacity – 5.256 MT of Sinter per annum.
Blast Furnace	Two Blast furnaces of 3200 cum. useful volume each. Production Capacity : 3.4 MT of Hot Metal per annum. Pig Casting Machines : 1,2,3 &4
LF.	Ladle Furnace commissioned at 01.04.96
LD Converter	Three LD converters of 133 cum. volume each Production Capacity : 3.0 MT of Liquid Steel per annum
C.C.	6 nos. of 4-Strand Continuous Bloom Casting machines Production Capacity : 2.820 MT of CC Blooms per annum

(イ) 訪問調査結果

同社に対するスラグの有効活用に交渉経緯を以下に述べる。

Table 51-15 交渉経緯

年月日	内容	部署	出席者	概要
120216	第1回 合同検討会	製鉄所	印7名、日側2名	スラグ有効活用プレゼンテーション 詳細: ① 参照 ・ 問題点抽出: 処理能力不足 ・ スラグサンプリング
121010	第2回 合同検討会	製鉄所	印4名、日側4名	Proposal 内容の討議、現場確認 詳細: ② 参照
121011	第1回 合同検討会	国営スラグ 処理会社	印2名、日側3名	共同事業化の可能性調査 詳細: ③ 参照

① 第1回関係者合同検討会

- ・現状のスラグ処理施設の問題点は、処理能力の不足
- ・回収産物は、焼結・BF・BOF で全量活用
- ・金属鉄の高品位化設備は不要
- ・製鋼スラグ発生量は 33 万 tpy (27500tpm) で毎月 2 万のスラグ在庫を野積中
- ・在庫量は 200 万トン:スラグ性状は粉化物主体の脱 S スラグと転炉スラグが混合
- ・回収産物品質を重要視した 33 万 tpy のスラグ処理設備を要望
- ・パートナーシップに関して既存処理会社との関係を維持する事を重要視
- ・回収物品位と蒸気エージング(バラスト材に用途開発)に興味
- ・環境対策設備(下表)

Table 51-16 スラグ処理設備の環境対策

区分	現状	問題点
水質	・屋外処理 ・排水設備あり ・油水分離あり	雨季の大雨に対応出来ていないため、有害物質・油分流出の恐れあり
大気	・屋外処理 (対策なし)	対策なしのため常に発塵
騒音	・屋外処理 (対策なし)	対策なしのため騒音大
振動	・対策なし	振動による建屋・設備の破損、発塵



Photo.51-5 Vizag 製鉄所正門

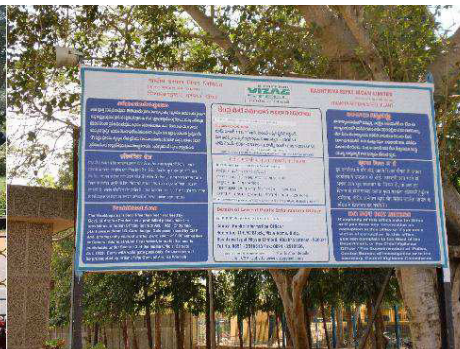


Photo.51-6 Vizag 製鉄所環境指針

② 第2回関係者合同検討会

- ・提出した Proposal 内容確認と現地実態調査
 - ・新規導入設備: フローシートの確認(環境対策無し)



Photo.51-7 関係者合同検討会



Photo.51-8 新規導入設備

Table 51-17 回収産物の用途

用途	産物・回収率
SMS	Mag-80mm,+80mm:Scrap:4-5%
焼結(RMMP)	Nonmag-10mm:10-15%”CaO=45-49%”
BF, SMS + Traffics	Nonmag30-50mm:10-15%
Filling, Road	Nonmag10-30mm+50mm:65-70%”Worked through Slag”

・ 検討会の結果

- 1) NMD 設備導入によるメリットを理解し、Proposal の提出要請
- 2) FSNL 社への協力要請

③ 第 1 回関係者合同検討会 (FSNL 社: 国営スラグ処理会社)

- ・ 実態調査、共同事業化の確認
- ・ 製鉄所の目標とスラグ処理会社の見解に相違
- ・ 技術交流や情報交換の継続



Photo.51-9 FSNL 本社

(ウ) スラグの組成・性状調査ならびに結果

① 目的

インドでは溶銑予備処理を一部のみ実施し転炉での精錬を行っている。その為、転炉での負荷が高く、転炉スラグの活性が高い。結果として膨張崩壊が起こりやすく、バラスト向けの有効活用には工夫が必要になる。日本では、該当スラグに関する知見は少ない。そこで RINL 社 Vizag 製鉄所の転炉スラグのミネラル分の性状を確認する。結果は、スラグ処理後ミネラル分の有効活用化の基本データとして活用する。

② 発生状況

同製鉄所の転炉スラグは精錬毎に熔融状態でスラグポットに排出される。冷却後、固化したスラグを転倒後、粗破碎し、保管場所へ移動する。冷却後のスラグは灰白色で粉末化していた。以下に Vizag 製鉄所のスラグ処理フローを記載する。

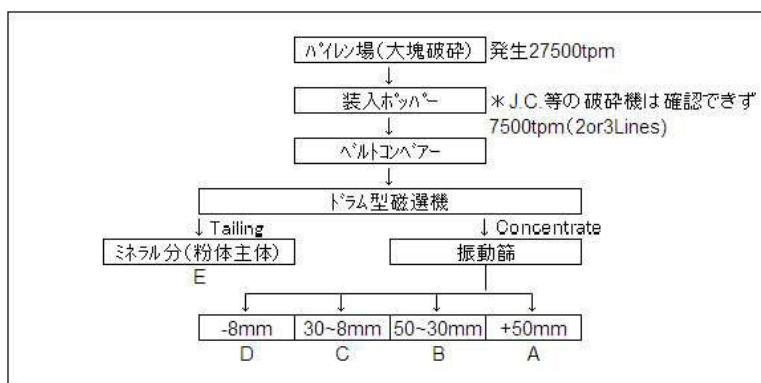


Fig.51-8 Flow sheet of Vizag Steel Slag treatment

③ 試験方法

スラグ処理後、保管ピットに貯蔵されていた 1) -8mm 非磁着物と 2) 30-50mm 磁着物をランダムサンプリングにて採取した。以下にスラグ処理工場の写真を記載する。

採取したサンプルは、日本へ送付した。サンプルが到着後、写真撮影を行った。写真撮影後、供試料全量をスタンプミル(Stamp mill: 鉄製の餅つき機)試験粉碎機にて粉碎した。粉碎後、0.5mm の円形篩にて篩分けした。篩上(+0.5mm)は、再度スタンプミルにて粉碎し、篩下(-0.5mm)の発生が無くなるまで繰り返した。-0.5mm 回収物は、秤量後交流式磁力選別試験機(Hand Tester)にて磁着物(-0.5mm-C)と非磁着物(-0.5mm-T)に選別した。+0.5mm は金属鉄である。



Photo.51-10 スラグヤード

Photo.51-11 野積スラグ①



Photo.51-12 野積スラグ②

Photo.51-13 スラグ処理ライン

④ 試験結果

・ 目視観察結果

以下に今回入手した電炉スラグの写真を記載する。目視観察結果として、非磁着物は酸化鉄の含有量が低く灰白色をしていた。通常ミネラル分中の酸化鉄含有量が $Fe > 1\%$ の場合、スラグの色は黒色になっている。本灰白色は、 $F-CaO$ や $2CaO-SiO_2$ 鉱物を大量に含有する転炉スラグの特徴であり、膨張崩壊の可能性が高い。路盤材等への有効活用化の際には、膨張崩壊率と圧縮強度の測定が必要となる。



Photo.51-14 30-50mm 磁着物(最大粒 50mm)



Photo.51-15 <8mm 非磁着物(最大粒 8mm)

・メタル含有量(スタンプミル)検定結果

以下にスタンプミルによる金属鉄含有量の検定フローと測定結果を示す。

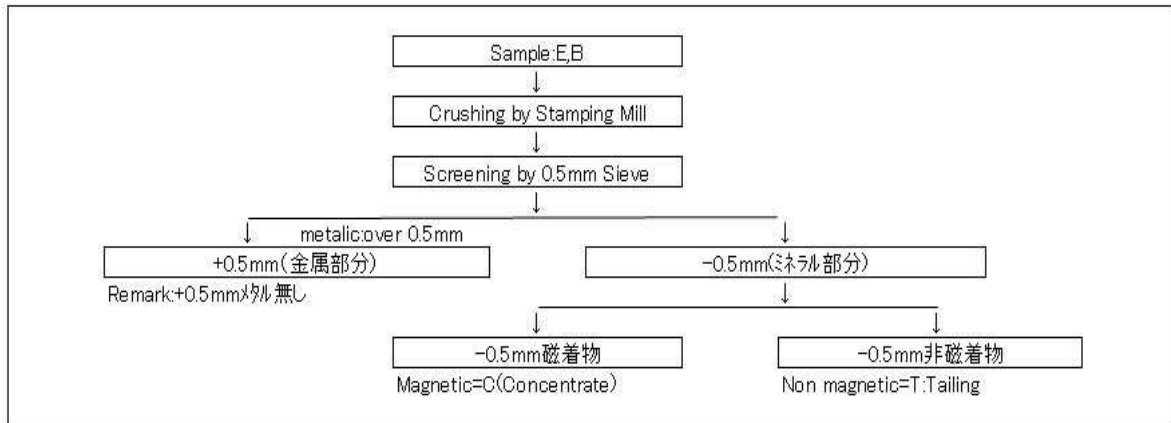


Fig.51-9 Flow Sheet and Result of Vizag Steel LD Slag

Sample-B の金属鉄含有量(+0.5mm)は、測定結果が 58.6%と高い事が判明した。また、Sample-E への金属鉄逃避量は、逆に 1.7%と低い。破碎等の工程を経ずにこの様なメタル含有率が得られる事から、冷却後からスラグ処理までの過程で自然膨張崩壊が起こり金属部とミネラル分の単体分離が進んでいる事が解かる。

スタンプミルにてメタル検定を実施した後の金属鉄の粒度分布と外観写真を以下に示す。

Table 51-18 Size distribution of Steel Metals

粒 度(mm)				合 計
0.5~3.5	3.5~8	8~15	15~50	
16.7	22.4	21.3	39.6	100.0



Photo.51-16 スタンプ検定で回収した粒度毎金属鉄(左から-0.5~3.5mm,3.5~8mm,8~15mm,15~50mm)

・化学成分分析結果

スタンプ検定で得られた 1) +0.5mm メタル 2) -0.5mm ミネラル 3) -0.5mm 磁着物 4) -0.5mm 磁着物を供試料とし、1)は湿式分析にて 2)~4)は蛍光 X 線分析法にて成分分析を行った。以下にその結果を記載する。

Table 51-19 Chemical components of Metals & Minerals from Sample-B

試料名	メタル含有率	T.Fe %	C %	Si %	Mn %	P %	S %	
① 30~50mm+0.5 / B	58.6	93.16	0.36	0.218	0.038	0.066	0.01	
② 30~60mm-0.5 / B *Bをスクリーンした -0.5mm	ミネラル含有率	SiO2 %	Al2O3 %	T.Fe %	CaO %	MgO %	MnO %	Cr2O3 %
	41.4	9.84	0.41	25.65	38.8	6.62	0.84	0.06
	TiO2 %	P2O5 %	K2O %	Na2O %	S %	CaF2 %	Cl ppm	
	0.75	1.53	0.04	0.08	0.1	< 0.01	74	

Table 51-20 Chemical components of Minerals from Sample-E

試料名	金属含有率	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	T.Fe %	CaO %	MgO %	MnO %	Cr ₂ O ₃ %
⑤-8mm-0.5 / E	98.3	9.71	0.45	18.1	43.3	7.33	1.07	0.06
	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	Na ₂ O %	S %	CaF ₂ %	Cl ppm	-0.5wt%
	0.73	1.83	0.04	0.09	0.14	0.22	145	98.3

1) +0.5 金属鉄(メタル分)性状

+0.5mm メタル分は炭素分の分析結果から中炭素鋼鉄である事が分かった。転炉工程では、銑鉄に酸素を用いて脱炭反応を促進しているため、中炭素～低炭素鋼が混在する。一般に鋼スラグ処理は、銑鉄スラグ処理に比べ鉄分の品位アップが難しい。製鋼スラグ処理プロセスに工夫が必要となる。また、P, S の含有量がいずれも低い事から回収メタルの評価は高い。

FSNL 社がスラグを処理し+5mm のメタル分を 5～6%回収 (推定鉄品位 60%、推定回収率 80%)していたとの情報から推定すると、同サイズの金属鉄含有量は、4%(=5.5%*0.6÷0.8)となる。早急に Sample-A,C,D を採取し、該当スラグ中のメタル含有量を把握する必要がある。

2) -0.5mm ミネラル分性状

-0.5mm ミネラル分の塩基度 ($V=CaO/SiO_2$) ≒4 である。通常の転炉スラグ ($V≒3$) に比べると高く、流動性の悪いスラグになっていると思われる。メタル含有量が高い反面膨張崩壊に注意しなければならない。スラグ中の P 含有量は、 $P≒1\sim2\%$ となっており、P 肥料としての有効活用化は検討に値する。セメント原料として考えた場合、 $V=3$ が望ましいので十分な原料となり得る。

3) -0.5mm 磁着物性状

-0.5mm 磁着物は、T-Fe 含有量から見ても焼結原料に適していない。高炉の造滓材としての有効利用を検討する。

⑤ 考察

今回の調査では、十分なサンプリングが出来ずに金属鉄含有量の把握ができなかった。しかしながら、ミネラル分の分析結果から回収産物の有効活用化(案)の作成を行った。以下にその結果を示す。

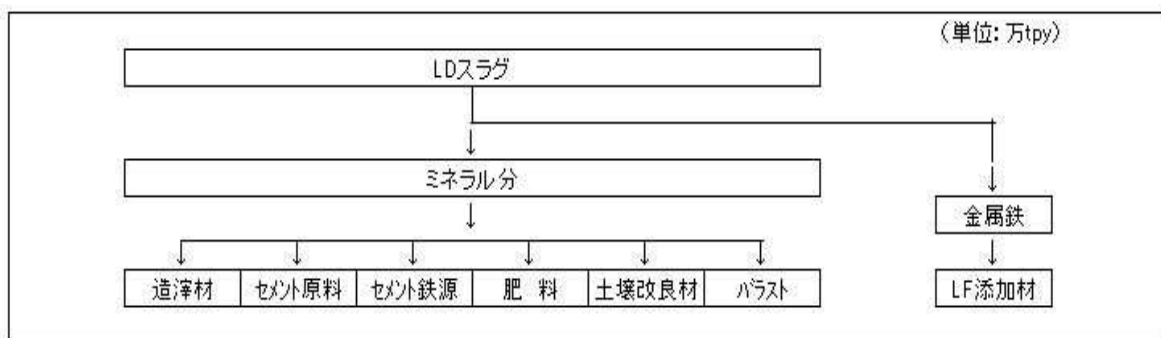


Fig.51-10 回収産物の有効活用化(案)

⑥ 今後の進め方

- ・パイロット試験の計画立案と実施

同社の既存スラグ処理プラントの実態調査ならびにパイロット試験を実施し、該当スラグ中のメタル含有量を把握後、F/S の水準を検討

- ・ Proposal 提出

提案内容は、弊社構内工場をイメージし、スチームエージング設備を付加して提案を計画

(エ) 総括

今回の調査の結果、国営製鉄所としてはスラグ処理に関する環境改善やミネラル分の有効活用に対する意欲が伺えた。また、国営スラグ処理会社を保護する目的で協調化の要望もあった。しかしながら、国営スラグ処理会社の旧態依然とした考え方やP.P.P.(Public Private Partnership)に対する不信感が感じ取られ、国営製鉄所との間で交わした M.O.U に対しても反古にする姿勢が如実であった。

国営製鉄所自体の予算化に時間が必要な事と実施時期が半年間の書類審査後質問状送付ならびに落札者の決定に1年程必要であり、その後から実施したい旨であるので、今回の F/S 事業では対象から外す事とした。

(3) 参照

2012年7月に SAIL 社 Invitation of E.O.I. letter が届けられた。日本サイドからは、E.O.I.(Expression of Interest)を作成し返送した。以下にその内容の一部を記載する。

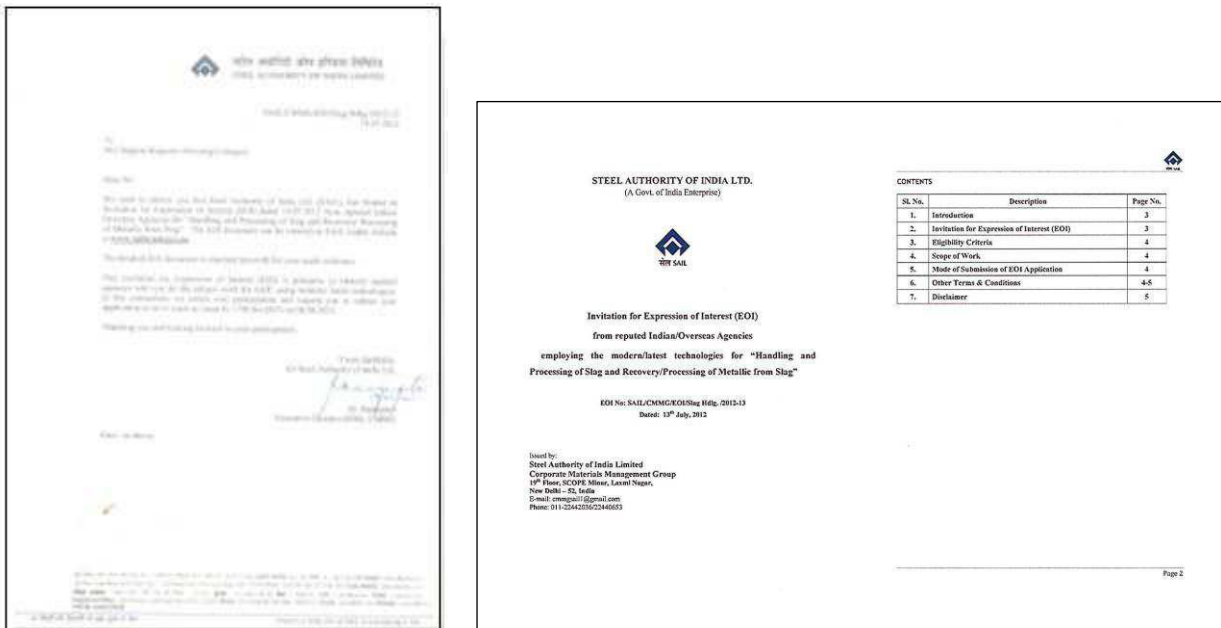


Fig.51-11 Invitation Letter from SAIL

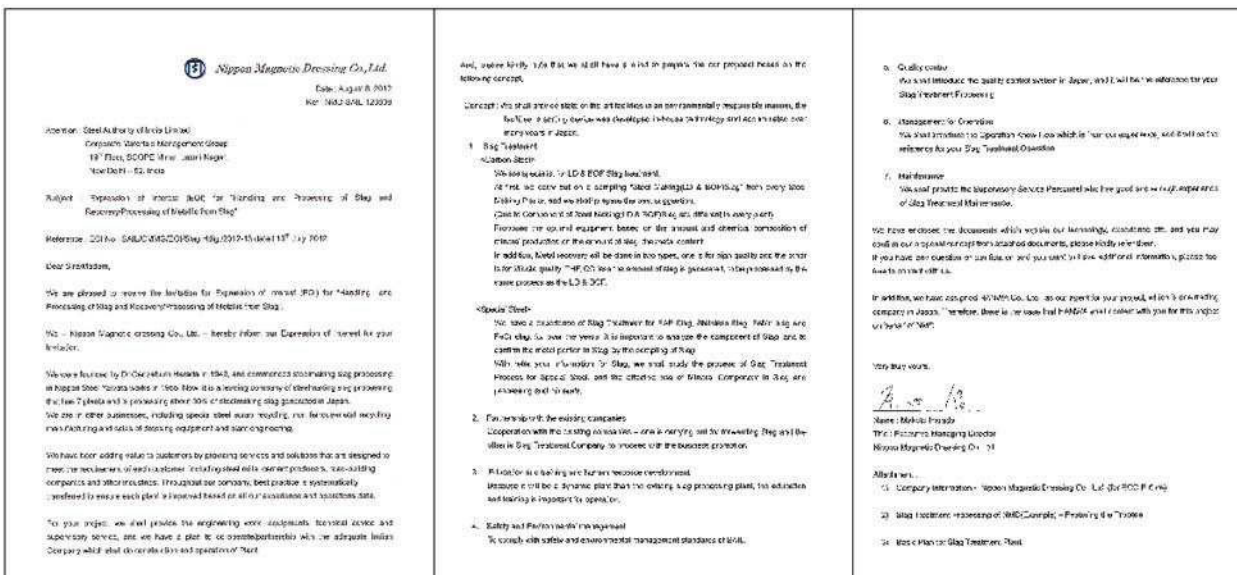


Fig.51-12 EOI for SAIL (Draft)

5.1.2 民営中小製鉄所

民営中小製鉄所は、インド国内の各地域に散在している。今回の調査においては利便性、製鉄所の密集度等を考慮し、Punjab 州を調査対象とした。Punjab 州では中規模電炉メーカー、小規模誘導炉メーカー合わせて 200 社以上が生産を行っている。項 2.2(2)で述べたが、民営中小製鉄所においては各社のスラグ発生量が少ないため、構外型の処理方式を目的として検討した。以下にその概略図を記載する。

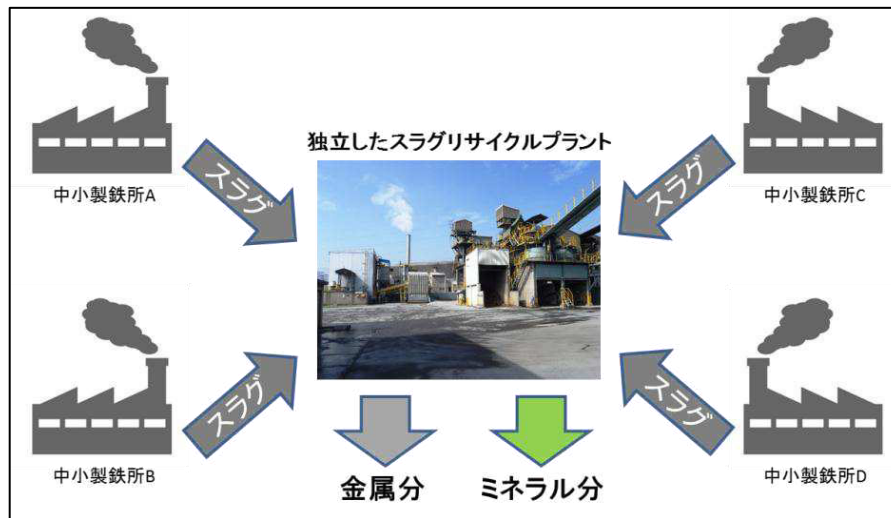


Fig.52-1 構外型処理方式の概略

また、現段階におけるビジネスモデルは項 2.1.2 に記述した以下の 2 種類となる。

Table 52-1 民営中小製鉄所のビジネスモデル

	モデル①	モデル②
製鉄方法の特徴	DRI→電炉方式	スクラップ原料→誘導炉方式
ビジネススキーム	・合弁(BOT)方式 ・インド側独資(プラント販売)方式	・合弁(BOT)方式 ・日本側独資方式
対象製鋼スラグ	電炉(EF)スラグ	誘導炉(IF)スラグ
回収製品	<ul style="list-style-type: none"> ・回収金属メタル(リターン材) ・塊ミネラル分(バラスト材) ・粉ミネラル分(セメント原料) 	
潜在的パートナー	自社処理後、エージェントやブローカーが処分中(処分先不明)	

(1) 調査結果の詳細

対象とした 5 製鉄所に関し予備調査を行い、その後訪問調査を実施した。以下にその結果を記載する。

(ア) G1 社

G1 社においてヒアリング調査を実施後、スラグ処理設備を視察した。調査結果及びスラグ処理設備のラインフローを以下に示す。

Table 52-2 G1 社調査結果

訪問日時	2012/5/21
製鋼方法	電気炉(35t 炉)
生産量	10,000t/M
スラグの種類	EF
スラグ発生量	1,750t/M(17.5%)
スラグ処理	実施中
ミネラル処分	不明

Table 52-3 スラグ処理設備の環境対策

区分	現状	問題点
水質	・屋外処理 ・排水設備:不明 ・油水分離:不明	雨季の大雨に対応出来ない可能性あり、有害物質・油分流出の恐れ
大気	・屋外処理 (対策なし)	対策なしのため常に発塵
騒音	・屋外処理 (対策なし)	対策なしのため騒音大
振動	・対策なし	振動による建屋・設備の破損、発塵

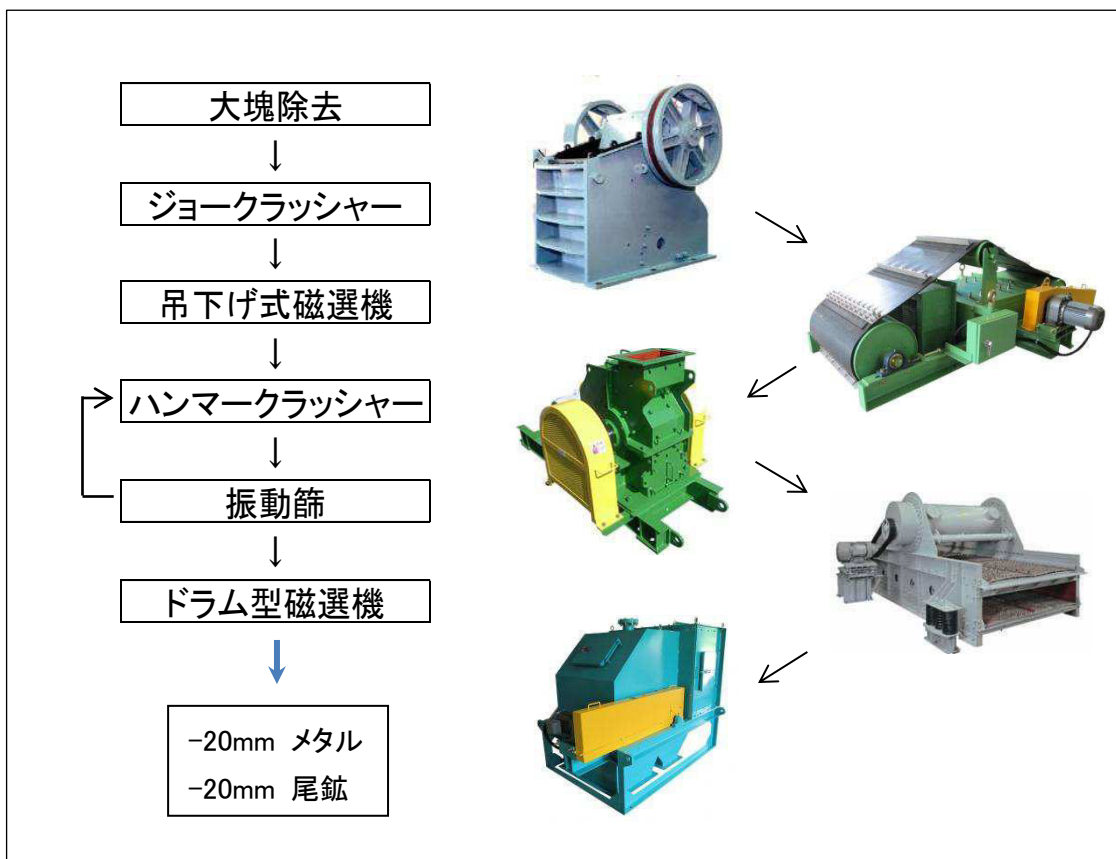


Fig.52-2 G1 社スラグ処理フロー(写真出典:NMD)

ラインの概要としては、手選別にてサイズオーバーの塊を除去した後、破碎、磁選、篩の工程を繰り返すものだった。

(イ) G2 社

ヒアリング調査を実施後、スラグ処理設備を視察した。調査結果及びスラグ処理設備のラインフローを以下に示す。

Table 52-4 G2 社調査結果

訪問日時	2012/5/21
製鋼方法	電気炉(35t 炉)
生産量	8,000t/M
スラグの種類	EF
スラグ発生量	750~800t/M(約 10%)
スラグ処理	実施中
ミネラル分処分	200INR+トラック運賃→セメント?

Table 52-5 スラグ処理設備の環境対策

区分	現状	問題点
水質	・屋外処理 ・排水設備:不明 ・油水分離:不明	雨季の大雨に対応出来ない可能性あり、有害物質・油分流出の恐れ
大気	・屋外処理(対策なし)	対策なしのため常に発塵
騒音	・屋外処理(対策なし)	対策なしのため騒音大
振動	・対策なし	振動による建屋・設備の破損、発塵

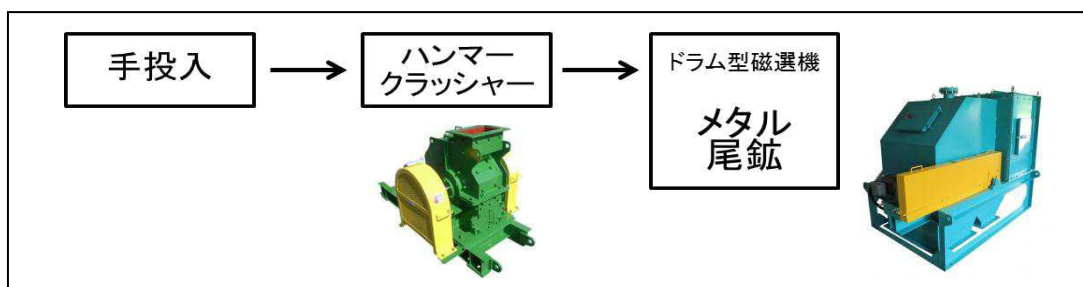


Fig.52-3 G2 社スラグ処理フロー(写真出典: NMD)



Photo.52-1 G2 社スラグ処理設備



Photo.52-2 G2 社 金属回収物

(ウ) G3 社

ヒアリング調査のみであったため、スラグ処理設備等の詳細は不明である。

Table 52-6 G3 社調査結果

訪問日時	2012/5/22
製鋼方法	電気炉(35t 炉)
生産量	4,500t/M
スラグの種類	EF
スラグ発生量	625~750t/M(約 16%)
スラグ処理	不明
ミネラル分処分	ブローカーが取扱中

(エ) G4 社

ヒアリング調査のみであったため、スラグ処理設備等の詳細は不明である。

Table 52-7 G4 社調査結果

訪問日時	2012/5/22
製鋼方法	電気炉 2 基 22~25t/基
	誘導炉 2 基 10t/基
生産量	8,000t/M
スラグの種類	EF、IF
スラグ発生量	電気炉 300t/M
	誘導炉 100t/M
スラグ処理	実施中(詳細不明)
ミネラル分処分	誘導炉スラグは手選別後、1 社のエージェント経由でセメント行(処分費 0 円+輸送費 100Rs)または廃棄処分、経済的理由でスラグ分析は未実施

G3、G4 社ともスラグ処理設備は不明であるが、ミネラルの取り扱いに関してインフォーマルセクターの存在が顕著だった。

(オ) G5 社

ヒアリング調査を実施後、スラグ処理設備を見学した。調査結果及びスラグ処理設備のラインフローを以下に示す。

Table 52-8 G5 社調査結果

訪問日時	2012/5/22
製鋼方法	誘導炉(電気炉導入予定)
生産量	2,100t/M
スラグの種類	誘導炉
スラグ発生量	60t/M(約 3%)
スラグ処理	実施中
ミネラル処分	Rs0 で処分、活用に興味あり

Table 52-9 スラグ処理設備の環境対策

区分	現状	問題点
水質	・半屋内処理 ・排水設備:不明 ・油水分離:不明	雨季の大雨に対応出来ない可能性あり、有害物質・油分流出の恐れ
大気	・対策なし	対策なしのため常に発塵
騒音	・対策なし	対策なしのため騒音大
振動	・対策なし	振動による建屋・設備の破損、発塵

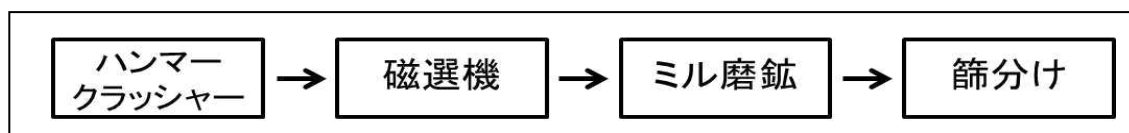


Fig.52-4 G5 社スラグ処理フロー



Photo.52-3 G5 社 ハンマークラッシャー



Photo.52-4 G5 社 六角形型回転式磨鉢機

Photo.52-4 に示す磨鉢機等は人力で行っており、不安定であるため処理量は限られている。G5 社の場合はスラグ処理に多くの人手が必要であるが、一方でインドの雇用確保の観点からすれば、これらは必要な設備であるとも考えられる。



Photo.52-5 G5 社 ドラム型磁選機

(2) 民営中小製鉄所の調査結果総括

環境に関する製鉄所の理解は各々異なり、また以下の課題があった。

(ア) スラグの種類

スラグの種類は電炉(EF)及び誘導炉(IF)の2種類ある。IFはスラグ発生量が1~3%と少ない。

(イ) スラグの発生量

電炉メーカー4社からのスラグ発生量は約4万4千 tpy、誘導炉メーカー200社からのスラグ発生量は3万6千 tpyであり、合計しても8万 tpy程度と発生量が少ないことが判明した。また、調査を行った5社においても合計最大約4万 tpyだった。

(ウ) スラグ処理状況

自社での簡易設備を用いて人海戦術でのスラグ処理を実施中

(エ) ミネラル分の処分

ミネラル分の処理業者としてエーエージェントやブローカーといったインフォーマルセクターが存在し、運賃と低価格な手数料で処分することが判明した。しかし、その処分先は調査した5社とも不明とのことだった。

以上をまとめると以下の様になった。

Table 52-10 民営中小製鉄所調査結果

	G1	G2	G3	G4	G5
スラグの種類	EF	EF	EF	EF、IF	IF
スラグ発生量(tpy)	21,000	9,000	8,400	4,800	780
スラグ処理	○	○	不明	手選別	○
ミネラル分処分業者	不明	外注	外注	外注	外注
ミネラル分処分先	不明	不明	不明	不明	不明

(3) 今後の方針

弊社の構外型スラグ処理プラントでは、最低でも4~5万 tpyのスラグ受入れが必要であり、それ以下の場合には収益性が著しく低下する。

また、中小民営製鉄所にはエーエージェント、ブローカーと呼ばれるミネラル分の処分業者が存在し、製鉄所は処分先の確認を行っておらず、顕在的問題点を有している。

以上の調査結果を考慮し、今回の事業化対象としては優先順位を下げる事とした。また、今後もエーエージェント、ブローカー等のインフォーマルセクターとは接触しない。

5.1.3 民営一貫製鉄所

項 2.4 で選定した対象製鉄所に対して一連の予備調査を行った。調査ステップは以下の通りとなる。訪問調査後、製鉄所の理解が得られれば、スラグ性状の分析を実施し、それに基づくマテリアルバランス案作成、事業スキームの検討を行う。

- 1) インド三井物産による訪問予備調査
- 2) 三井物産(株)とインド三井物産ならびに弊社での訪問調査及び事業提案の実施
- 3) スラグの実態調査とミネラル分の有効活用状況の調査

(1) C 社調査結果

高炉+DRI 電炉一貫製鉄所である C 社の調査結果を以下に記載する。

Table 53-1 C 社生産状況調査結果

訪問日時	2012年5月23日
製鋼方法	高炉+電気炉(40t*4基) DRI炉 2基 焼結1基
生産量	300~350万t/Y
スラグの種類	DRI
スラグ発生量	70万t/Y (約20%)
スラグ処理	実施中、スラグ貯鉱量 200万t
ミネラル分処分	不明

Table 53-2 スラグ処理設備の環境対策

区分	現状	問題点
水質	・屋外処理 ・排水設備:不明 ・油水分離:不明	雨季の大雨に対応出来ない可能性あり、有害物質・油分流出の恐れ
大気	・屋外処理(対策なし)	対策なしのため常に発塵
騒音	・屋外処理(対策なし)	対策なしのため騒音大
振動	・対策なし	振動による建屋・設備の破損、発塵

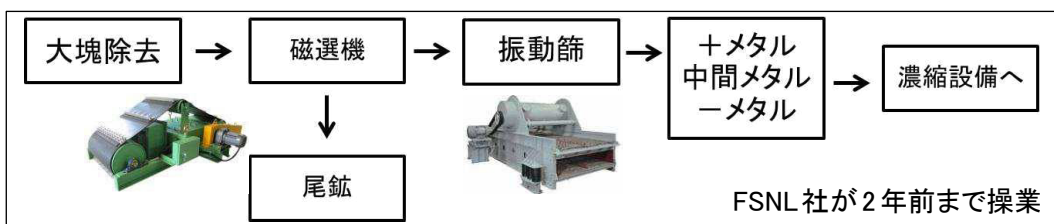


Fig.53-1 C 社スラグ処理フロー(写真出典:NMD)

(ア) 製鋼スラグの処理・活用状況

現在の製鋼スラグの発生量は 0.73~0.88Mtpy である。以前は外部企業が構内でスラグ処理を実施していたが、数年前より当該企業が撤退。現在は構内の一定地域に積み上げており、現在 2Mt 程度積み上がっている。

(イ) 事業提案の可能性

- ① 製鉄所の周り約 2.5km の場所で 100 万 tpy のスラグ処理プラントの新設を検討中であり、外部業者の提案に興味あり。実際に当社以外の提案も受けている。

- ② 外部業者に対し、C社はスラグ処理用の用地・水道・電気・燃料を提供する考えがある。
- ③ メタル分の回収に加え、ミネラル分の活用についての提案を期待している。

(2) D社調査結果

転炉以外の全ての生産設備を有する一貫製鉄所D社の調査結果を以下記載する。

Table 53-3 D社生産状況調査結果

訪問日時	2012年7月25日
製鋼方法	高炉+電気炉 DRI炉 8基 焼結1基
生産量	230万t/Y → 320万t/Y(2014年)
スラグの種類	DRI、電気炉
スラグ発生量	55万t/Y (約24%)
スラグ処理	実施中、スラグ貯鉱量 50万t
ミネラル分処分	第3者に販売(詳細不明)

Table 53-4 スラグ処理設備の環境対策

区分	現状	問題点
水質	・半屋内処理 ・排水設備:不明 ・油水分離:不明	雨季の大雨に対応出来ていない可能性あり、有害物質・油分流出の恐れ
大気	・対策なし	対策なしのため常に発塵
騒音	・対策なし	対策なしのため騒音大
振動	・対策なし	振動による建屋・設備の破損、発塵

(ア) 製鋼スラグの処理・活用状況

- ・D社は現在 Fig.53-2 に記載のフローでスラグ処理を実施しているが、処理設備の不具合や能力不足により年間15~20万tのスラグ(400tpday)が処理されずに埋め立てられ、現在約50万t(約3.5年分)が積み上がっている。
- ・現在、2年後の製鋼ライン増強を計画しており、増強後は更に多くのスラグが処理できずに野積みされ、最低でも100万 tpy の処理能力が必要となる見通し。
- ・既存設備では、1次ハンマークラッシャー前のジョークラッシャーや吊り下げ型磁選機の機能が十分でない為に、手作業で大きな金属塊を除去している。また、当該前処理が不十分な場合、金属塊が1次ハンマークラッシャーに噛み込み、機械停止ならびに復旧作業の為に休止時間が増え稼働率の低下につながっていると考えられる。同様な理由で、2次ハンマークラッシャーでも、金属塊の噛み込みが起こっており、機械停止ならびに復旧作業の為に休止時間が増え稼働率の低下につながっていると推測される。実際に現場の作業員からは、手選別作業や機械停止の無いオートマチックな設備の導入が求める声を確認している。・尚、既存設備には環境対策設備(集塵機等)は設置されておらず、作業員は不十分な安全保護具の着用のみで過酷な作業環境を強いられているという問題もある。

(イ) 事業提案の可能性

- ・製鋼ラインが増強された2014年を目標にスラグ処理事業を正常化する意向があり、当社の技術を擁した処理能力を保証出来るプラントの提案へ興味を示している。現行設備に不具合が多い為か、D社からは提案するプラントはメンテナンスが少なく済む、より自動化が進んだものにしてほしいとの要望がなされる等、事業提案の可能性は高い。

・尚、具体的な提案では、提案するスラグプラントで処理した後のメタルバランス等についても求められる等、D社としての興味の高さを伺うことが出来ている。

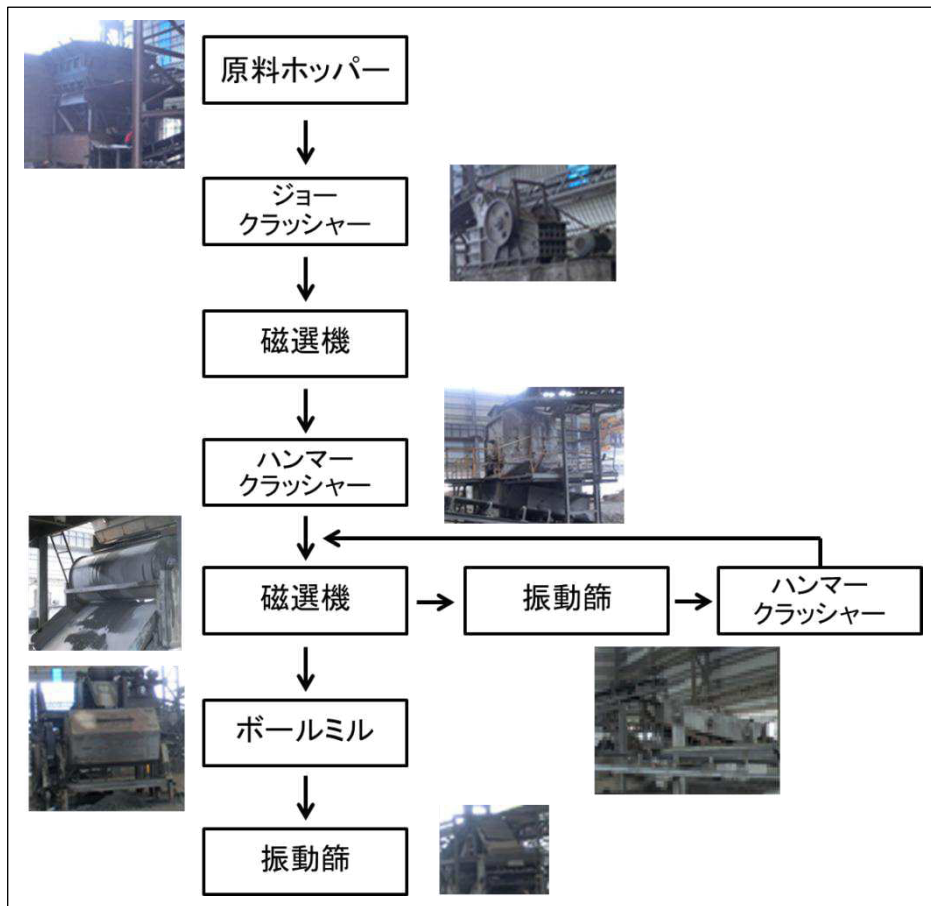


Fig.53-2 D社スラグ処理フロー

(ウ) スラグの組成・性状等の調査結果

D社よりスラグ性状分析実施への理解を得ることが出来た。以下に調査結果を記載する。

① 目的

本邦ではDRI原料の利用率が限られているため、DRI原料を電気炉にて溶解した後のスラグに関する知見が少ない。そこで、DRI原料を主に用いた製鋼プロセスを経た製鋼スラグのミネラル分の性状を確認する。結果は、スラグ処理後ミネラル分の有効活用化の基本データとして活用する。

② 発生状況

D社の製鋼スラグはDRIの装入量に応じて連続的に熔融状態で炉下ピットへ排出。散水冷却後、固化した黒色スラグをWheel Loaderにてすくいあげ保管場所へ移動しているが、試料としてスラグ処理後の a.磁選精鉱の磨鉱物、b.磁選尾鉱の試料を採取した。

③ 試験方法

スラグ処理後の磁選精鉱の磨鉱物、磁選尾鉱(ミネラル分)の試料を各々1~2kg ずつランダムサンプリングにて採取。採取したサンプルは、輸出許可を受け日本へ送付(Photo.53-1・2 はサンプル本邦到着後に撮影したもの)。

各試料は全量をスタンプミル(Stamp mill: 鉄製の餅つき機)試験粉碎機にて粉碎した。粉碎後、0.5mm の円形篩にて篩分けした。篩上(+0.5mm)は、再度スタンプミルにて粉碎し、篩下(-0.5mm)の発生が無くなるまで繰り返した。-0.5mm 回収物は、秤量後交流式磁力選別試験機(Hand Tester)にて磁着物(-0.5mm-C)と非磁着物(-0.5mm-T)に選別した。+0.5mm は、金属鉄である。

④ 試験結果

・ 目視観察結果

以下に今回入手した既存設備でスラグ処理後の 1)磁選精鉱の磨鉱物と、2)磁選尾鉱(ミネラル分)の写真を記載する。また、目視観察結果を以下に記述する。

1) 磁選精鉱の磨鉱物

最大粒度 70mm、金属質とミネラル分の混合物、黒色

2) 磁選尾鉱(ミネラル分)

酸化鉄の含有量が高く黒色をしていた。表面は凸凹で、少量の気泡あり

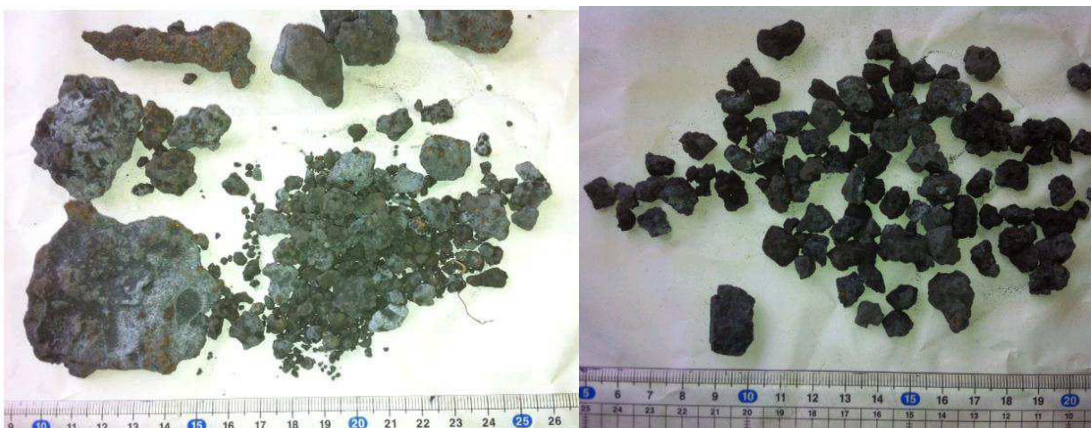


Photo.53-1 磁選精鉱の磨鉱物

Photo.53-2 磁選尾鉱

・ メタル含有量(スタンプミル)検定結果

以下にスタンプミルによる金属鉄含有量の検定フローと測定結果を示す。

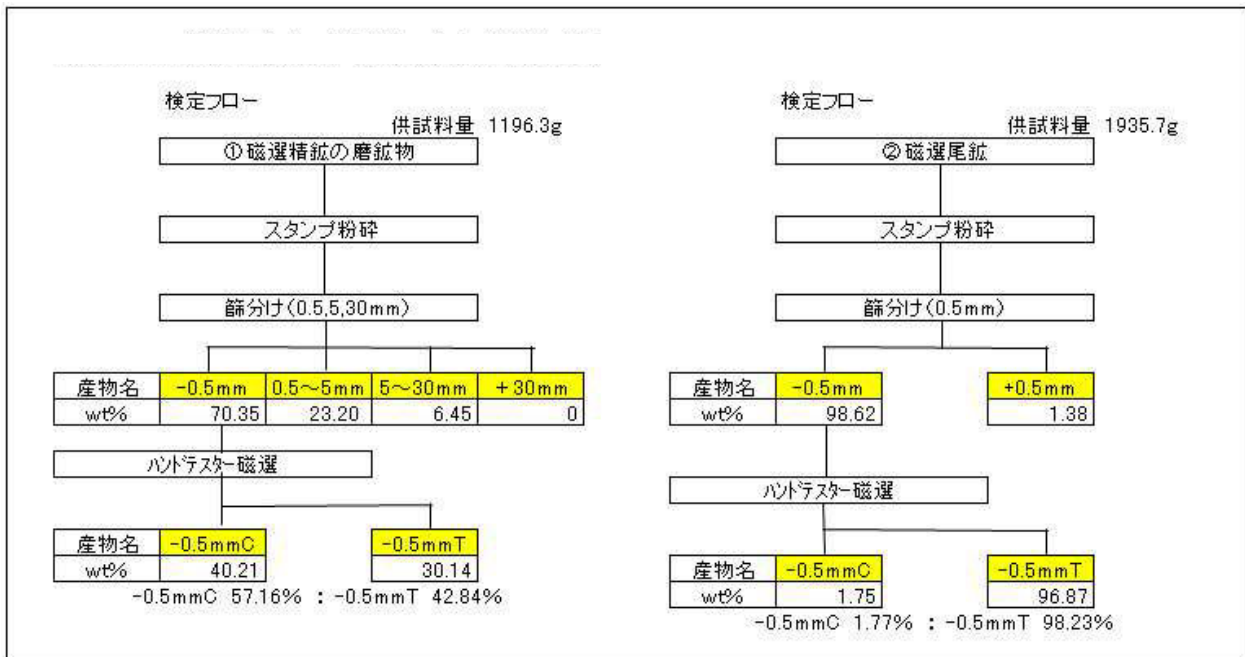


Fig.53-3 Flow Sheet and Result of Concentrate & Tailing

・ 磁選精鉱の磨鉱物

想定した金属鉄含有量 (+0.5mm) の測定結果が 39.65%と低い事が判明。また、既存設備では磨鉱による品位アップが不十分である事が判明した。

以下にスタンプ検定後の回収メタルの写真を掲載するが、外見は日本の電炉酸化期スラグから回収した金属鉄に近似している。また全体的に粒度が細かく全量が-30mm 以下であった。



Photo.53-3 磨鉱後メタル

+30mm メタルの含有が無い事と粉碎後の磁着物(-0.5mm-C)の含有量が 40.21%と高い。これは、微粒金属鉄の含有量が高い事が分かる。粉碎後の磁着物(-0.5mm-C)に関しては、M-Fe の分析を行う事とした。

- ・ 磁選尾鉱(ミネラル分)

磁選尾鉱中の+0.5mmメタルは1.38%と金属鉄の逃避も少なく、-0.5mmミネラル分中の磁着物の含有量も少ない。スラグの粉碎粒度が20mm以下と細かい事に起因している。

- ・ 化学成分分析結果

磁選精鉱の磨鉱物、磁選尾鉱(ミネラル分)の供試料をスタンプ検定により得られた 1) +0.5mmメタル 2) -0.5mm ミネラル 3) -0.5mm 磁着物 4) -0.5mm 磁着物を供試料とし、1)は湿式分析にて 2)~4)は蛍光X線分析法にて成分分析を行った。以下に+0.5mmメタルの分析結果を記載する。

1) 金属鉄(メタル)分の性状

+0.5mmメタル分は炭素分の分析結果から鋼鉄である事が分かった。これにより、DRI+電炉溶解工程は、銑鉄をDRIの酸化部分を用いて脱炭反応を促進している事が判明した。これは、スラグの目視観察結果と一致する。

一般に鋼スラグ処理は、銑鉄スラグ処理に比べ鉄分の品位アップが難しく、製鋼スラグ処理プロセスに工夫が必要となる。また、P、Sの含有量がいずれも低い事から回収メタルの評価は高くなるものと考えられる。

結果を以下に記載する。

Table 53-5 Chemical components of +0.5mm Metals

Sample name	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %
①磁選磨鉱-C+0.5mmメタル	0.12	0.39	0.02	0.035	0.039	0.01
②磁選尾鉱+0.5mmメタル	0.12	0.27	0.02	0.025	0.037	0.01

2) ミネラル分の性状

-0.5mmミネラル分の塩基度($V=CaO/SiO_2$)<2である。通常の電炉スラグに比べるとかなり低い。金属鉄中のP、S含有量は十分低いため、造滓効果は十分でありかつ流動性の良いスラグになっていると思われる。またセメント鉄源として考えた場合、T-Fe>40%程度は必要であり複合原料としての位置付けになると考えられる。

結果を以下に記載する。

Table 53-6 Chemical components of minerals

試料名		M.Fe %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	T.Fe %	CaO %	MgO %	S %	Na ₂ O %
磁選磨鉱 -C	-0.5mm	4.92	13.01	7.16	34.75	21.42	7.37	0.07	0.09
	-0.5mm-C	8.37	11.65	6.49	38.34	19.22	6.62	0.05	0.08
	-0.5mm-T	0.98	14.97	8.16	29.75	24.59	8.51	0.05	0.09
磁選尾鉱	-0.5mm	1.23	18.24	9.08	24.25	29.58	8.20	0.05	0.09
	-0.5mm-C	20.36	11.88	6.00	41.03	19.68	5.91	0.06	0.09
	-0.5mm-T	1.02	18.45	9.22	23.84	29.88	8.32	0.05	0.09
試料名		K ₂ O %	Cl ppm	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	MnO %	Cr ₂ O ₃ %	CaF ₂ %	
磁選磨鉱 -C	-0.5mm	0.09	78	0.61	0.38	0.22	0.07	< 0.01	
	-0.5mm-C	0.09	71	0.57	0.34	0.19	0.07	< 0.01	
	-0.5mm-T	0.09	78	0.69	0.44	0.26	0.08	< 0.01	
磁選尾鉱	-0.5mm	0.10	73	0.76	0.49	0.37	0.06	< 0.01	
	-0.5mm-C	0.09	79	0.60	0.31	0.26	0.06	< 0.01	
	-0.5mm-T	0.10	72	0.79	0.49	0.37	0.06	< 0.01	

3) -0.5mm 磁着物の性状

-0.5mm 磁着物は、T-Fe 含有量から見ても焼結原料に適しているが、Al₂O₃ の含有量が高く使用制限が必要となる。セメント向け製品製造の為に、スラグを-0.5mm まで粉砕する必要性ができれば、メタル回収量を増やす事ができる。

・ マテリアルバランスシート作成ならびに設備診断

以上の結果を元に、既存スラグ処理設備のマテリアルバランスシートを作成した。以下に記載する。

Quantity	600 t/day	←	Quantity and run time	
	216,000 tpy		30 tph	20 hrs/day
+0.5mm Metal	2.79 %			
	6,034 tpy			
Slag treatment equipment				
Concentrate	5 %		Tailing	95 %
	10,800 tpy			205,200 t
Metal Quality	29.65 %		Metal Quality	1.38 %
Obtain +0.5 metal	3,202 tpy		Obtain +0.5 metal	2,832 tpy
Yield of +0.5mm	53.1 %		Loss of +0.5mm	46.9 %

Fig.53-4 既存のスラグ処理設備でのマテリアルバランスシート

本調査で採取した磁選磨鉱物の品位が低い。これは、D社既存設備のボールミルの能力不足に起因する。また、磁選尾鉱の金属鉄含有量は、2%以下と良好であるものの、スラグ原料中の金属メタル含有量が低い為、結果として+0.5mm金属鉄の回収率が低くなっている。

・ 提案するスラグ処理設備について

電炉スラグ中の金属メタル含有量が極端に少ないため、金属鉄の歩留改善は難しい。提案内容は処理量増加(150tph)と安定化、手選別作業や機械停止のないオートマティックな設備の導入、回収メタルの高品位化(メタル品位≒85%)とする。以下に提案するスラグ処理設備についてのマテリアルバランスシートを記載する。尚、集塵機等の環境関連設備も並行して提案する。

Quantity	2,700 t/day	←	Quantity and run time	
	972,000 tpy		150 tph	
+0.5mmMetal	2.80 %		18 hrs/day	
	27,177 tpy			
New slag treatment equipment				
Concentrate	1.75 %		Tailing	95 %
	16,981 tpy			923,400 t
Metal Quality	85 %		Metal Quality	1.38 %
Obtain +0.5 metal	14,434 tpy		Obtain +0.5 metal	12,743 tpy
Yield of +0.5mm	53.1 %		Loss of +0.5mm	46.9 %

Fig.53-5 提案するスラグ処理設備のマテリアルバランスシート

(3) E社調査結果

既存の製鉄所に加え、高炉+転炉を用いた製鋼所等、複数の新設計画を有するE社への調査結果は以下の通りである。

(ア) 製鋼スラグの処理・活用状況

既存製鉄所では、製鋼スラグが90万 tpy 発生量。製鉄所から離れた地域にスラグは運び、当該地に簡易なスラグ処理プラントを設け処理を行っているが、処理が追いつかず未処理のストック量が200万t積み上がっている。

(イ) 事業提案の可能性

- ① 十分な処理能力を有する当社提案に対するE社の期待は高く、設備リストや技術、プロセスフローを折り込んだ提案を提出して欲しい旨の要望が為される等、事業提案の可能性は高い。尚、E社からはスラグの有効活用に関する提案についても確認することが出来た。
- ② 現在競合他社がE社にアプローチを行っているということもE社からの説明にて確認しており、価格競争力を含めE社のニーズに応える提案を行う必要がある。
- ③ 新設計画に関するスラグ処理については、E社内で具体的な検討が始まっていない段階。高炉・電炉といった製鉄所の主要ラインの計画推進が確定の後、スラグ処理の検討を行うとのことにて、将来的に事業提案を行える可能性が有る。

(4) F 社 (JSW 社) 調査結果

Shri O.P.Jindal 氏が総裁を務める Jindal Group は、インドの複合企業である。その 1 つの事業である JSW(JSW Steel Ltd) 社、は、Vijayanagar 製鉄所のみがインド国内製鉄所唯一の高炉+COREX+転炉を用いた製鋼プロセスを有している。そこで今回の調査対象製鉄会社を JSW 社 Vijayanagar 製鉄所に定めた。COREX 設備で融解した EF スラグの知見は少ないため、製鋼スラグの性状調査が重要となる。

尚、同社は JFE スチールが包括的技術協力を行っており、今後生産量の倍増が期待されている。

Table 53-7 Summary of JSW

Plant name	State	Steel method	Process
Vijayanagar	Karnataka	Integrate	BF+DRI+EF
Salem	Tamil Nadu	NA	Recycling

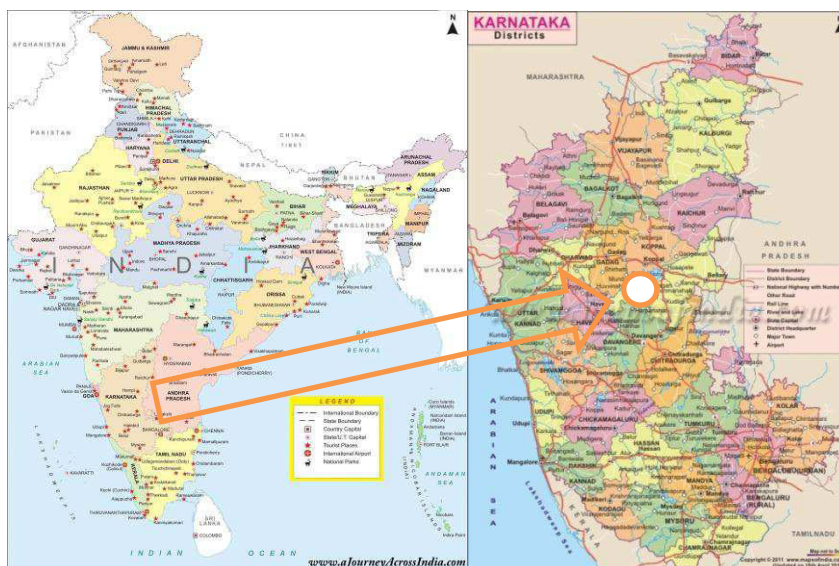


Fig.53-6 Map of JSW

(ア) 予備調査結果

2012 年 10 月 10 日に民間のスラグ処理会社を訪問した。スラグ処理量ではインド第 2 位の会社である。現地パートナーとして協調体制が組めるか検討する実態調査を行った。他国営製鉄所ではスラグの搬送、JSW 社ではスラグ処理を 6 年担当している。訪問の際、以下の要請を受けた。

- ① JSW 社カルナタカ製鉄所へのスラグ処理提案
- ② カルナタカ製鉄所の増産計画に対応したスラグ処理設備の検討
- ③ 現地調査の要請受け

競争他社は JSW 社 Vijayanagar 製鉄所にアプローチし、スラグ処理を計画途中である。現在運営中のスラグ処理会社が日本側に協力を要請してきた。今回はその内容確認と JSW 社の要望項目

と提案すべき内容を調査した。JSW 社は競合他社以上の技術と日本並みの環境要求事項を達成するスラグ処理プラントの提案を要求した。

(イ) 訪問調査結果

以下に JSW 社の訪問調査結果を記載する。



Photo.53-4 スラグ処理工場



Photo.53-5 原料ヤード(40万t+200万t貯蔵)



Photo.53-6 現状のスラグ処理工場(MRP-1)設備全景

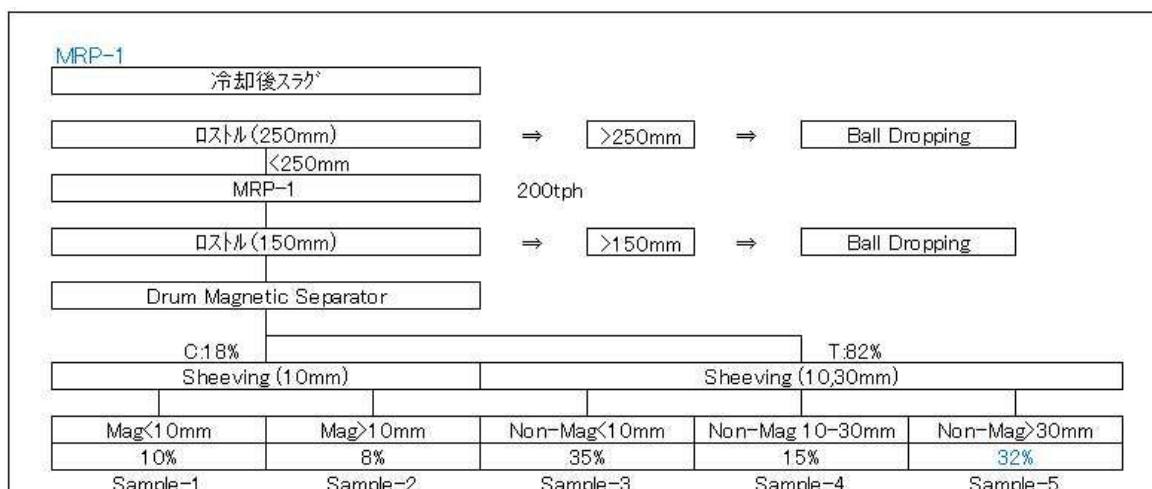


Fig.53-7 MRP-1 Flow & Balance Sheet



Photo.53-7 現状のスラグ処理工場(MRP-2)設備全景

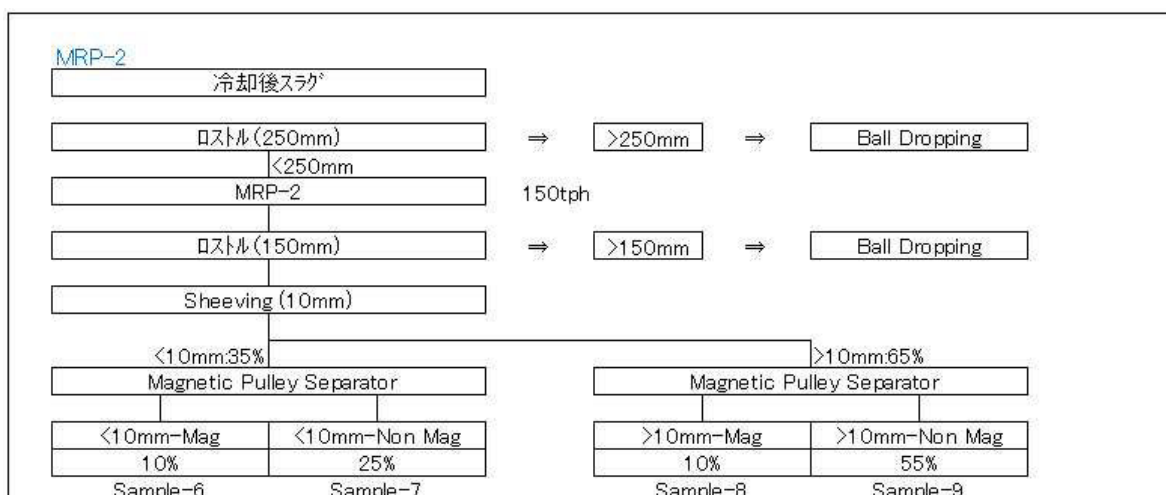


Fig.53-8 MRP-2 Flow & Balance Sheet

以下に同社に対するスラグの有効活用についての交渉経緯と内容を述べる。

Table 53-8 交渉経緯

年月日	内容	部署	出席者	概要
121109	第1回 合同検討会	製鉄所	印6名、日側6名	実態調査・プレゼンテーション・パイロット プラントテスト打合 詳細: ① 参照
130302	第2回 合同検討会	製鉄所	印12名、日側5名	Proposal 内容の討議・提出 詳細: ② 参照

① 第1回関係者合同検討会

- ・スラグの保管状況確認
- ・現状のスラグ処理プラントのフローならびに生産状況確認

MRP(Metal Recovery Plant)-1・MRP-2

- ・ JSW 社から提出された Contract Scope and deliverable と 弊社が提出した Counter of Contract Scope and deliverable に関する意見交換
- ・ 日本レベルでの環境・安全基準に準ずる設備設計の要請
- ・ ミネラル分の用途開発に関してアドバイス要請
- ・ 今後の増産計画
- ・ スラグ処理に関する技術協力の要請
- ・ パイロットプラント試験
 - 1) 試験結果をベースとしたスラグ処理のフローシート
 - 2) 環境対策設備機器の付加：集塵機等の環境対策
 - 3) スラグ処理設備の土地、Utility、Consumption
 - 4) スラグ処理設備のオペレーション、Quality Control
 - 5) ミネラル分の有効活用について
- ・ 今後の方針
 - 1) パイロットプラント試験と最適プロセスの検討
 - 2) 検討結果を基に設備の基本設計を提案

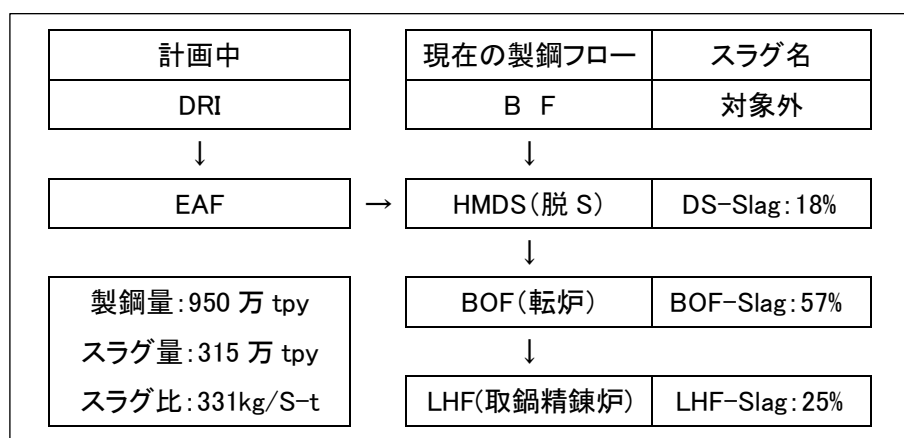


Photo.53-8 関係者合同検討会

② 第2回関係者合同検討会

- ・ JSW 社に提出する Proposal に関する質疑応答
 - 1) +250mm の品位改善
 - 2) Steam aging system の詳細説明
 - 3) 推進体制の確認
 - 4) 設備見積
- ・ パイロットプラント試験を基にした技術会議
- ・ スチームエージング
- ・ 現スラグ処理プラント、JSW 社スラグ転倒場見学

Table 53-9 製鋼フローと対象スラグ



(ウ) 今後の方針

① 事業スキーム

JSW も交えたスキームについては別途検討協議

② 詳細技術提案

スラグを工程毎に分別処理した場合の基本設計を JSW 社へ提案

5.1.4 調査結果

(1) 予備調査結果

(ア) インド国内製鉄所の調査結果:対象製鉄所の選定

(イ) 製鋼スラグの有効活用を取り巻く状況調査結果

関連法規制、関連機構・機関等、ユーティリティー他、競合他社、協力企業、インフォーマルセクターの動向、気候条件等を調査⇒投資リスク回避の検討

(ウ) ミネラル分の有効活用先調査:有効活用先の選定

(2) 訪問調査結果

事業実施体制は項 1.2 (2) に示す通りである。国営製鉄所に対しては阪和興業(株)、民営製鉄所に対しては三井物産(株)が中心となり、それぞれの現地法人やパートナーと請負者が共同して行った。国営製鉄所 2 社・民営製鉄所 9 社を訪問調査し優先順位を付けた。以下に調査結果を記載する。

Table 54-1 調査結果一覧

区分	国営		民営一貫				民営中小					
	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G1社	G2社	G3社	G4社	G5社	
ステップ	製鉄所名											
1	予備調査	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	訪問調査	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	環境に対する製鉄所の理解	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	スラグ処理の実施	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	インフォーマルセクターとの共存	×	×	○	○	○	○	×	×	×	×	×
6	スラグ性状予備調査		○	○	○	○						
7	協力企業の存在		×	○	○	○						
8	パイロットプラント試験			○	○	×	○					

(3) スラグ組成・性状調査及びパイロット試験結果

(ア) ミネラル分の組成・性状等調査の結果

訪問調査で理解を得られた製鉄所のスラグ・中間品・ミネラル等を少量サンプリングし、分析・性状調査を実施した。結果の一部を Table 3 に示す。これらのデータは、ミネラル分の有効活用に対する市場開発に活用する。

Table 54-2 各製鉄所のミネラル分の成分分析結果

		(%)							
製鉄所	製鉄法	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	M-Fe	CaO	MgO	P ₂ O ₅	MnO
C社	電炉	16.54	3.17	28.87	1.09	31.01	6.08	0.96	1.51
D社	電炉	16.25	9.57	32.92	2.46	25.20	10.5	0.48	0.21
F社	転炉	11.35	0.90	23.51	1.00	40.76	7.46	1.50	4.40
製鉄所	製鉄法	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Cl	S	CaF ₂	B ₂ O ₅	CaO/SiO ₂
C社	電炉	0.09	0.08	0.67	<1ppm	0.080	<0.01	-	1.87
D社	電炉	0.08	0.10	0.96	<1ppm	0.038	<0.01	0.09	1.55
F社	転炉	0.01	0.01	0.35	-	0.039	-	3.07	3.59

ミネラル分とは選別によってスラグから金属分を取り除いたものである。日本における製鋼スラグの活用(2011年)を見ると、製鉄所内での再利用が約16%、路盤材等道路への利用が約31%、土木材料に約34%、セメント原料に約4%となっている。また、電炉スラグは塊状、転炉スラグは塊と粉状という特徴がある。

金属鉄(M-Fe)の含有率は、セメント原料として用いる場合は1%以下が理想であるが、特にD社においては高い結果となった。これはスラグ中の金属分とミネラル分との選別が不十分で、逃避していることを示している。よって、セメント原料化には不適當である。

塩基度(CaO/SiO₂)に関してはF社が高い結果となり、M-Feを減少させることでセメント原料化が可能である。

これらの結果から判断すると、C、D社のミネラル分はバラストへ、F社はセメントまたはバラストへの活用となる。

(イ) パイロット試験結果

同様に理解が得られ具体的な提案書の提出を求められた一部の製鉄所に関してはパイロット試験を実施した。対象製鉄所は既存の簡易リサイクル設備を有していたため、その装置を活用した。各工程から回収した産物を日本に持ち帰り検定を行った。

試験結果は6項で述べる。

5.2 ミネラル分の有効活用先調査結果

ミネラル分はスラグの約 90%を占めるため、その有効活用は不可避の課題である。よって、ミネラル分の活用先に関して予備調査を行った。

(1) 目的

(ア) 事業拠点を構える地域

インド国内の製鉄所の配置の中から、ミネラル分の有効活用先であるセメントメーカーや路盤材メーカーや肥料メーカー等のロケーションを調査し絞り込む。

(イ) 回収-処理-資源売却の一連のバリューチェーンを考慮したビジネスモデル

スラグ処理・メタル分販売・ミネラル分の有効活用を考慮したビジネスモデルを検討する上で、ミネラル分の有効活用先のロケーション、すなわち物流費がボトルネックとなる。100万 tpy のスラグ処理を実施した場合 90万 tpy(毎月 7.5万 t)のミネラル分の出荷・物流が必要である。このため製鉄所と有効活用先との距離は収益性等に大きく影響する。また、両社間の道路のインフラ整備状況によって物流効率に変化する。

(2) 調査結果

調査状況を以下に示す。

Table55-1 ミネラル分の有効活用先調査進捗状況一覧

調査先	調査状況
Indian Railway (鉄道省)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鉄道用バラスの規格に準じる必要あり ・ 適合規格: SPECIFICATIONS FOR TRACK BALLAST ・ 使用に関しては積極的であるが単価は安い
National Highways Authority of India	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鉄道用バラスの規格に準じる必要有 ・ 適合規格: 入手中 ・ 官民の連携に懸念あり
セメント会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ 微粒メタル除去のため、水砕化を要望 ・ 徐冷した製鋼スラグのセメント原料化の認識なし ・ M-Fe の規格に関して調査が必要

また、調査先への訪問調査内容を以下に記載する。

(ア) Indian Railway (鉄道省)

2012 年 10 月に訪問した調査内容を以下に記載する。

- ① 製鋼スラグから回収したバラストは鉄道バラストとして使用可能
- ② 製鉄所はバラスト向けに試験中
- ③ 粒度や比重等が規格に合えば使用可能：規格書入手
- ④ 製鋼バラストの魅力は安価な事であり、スラグ工場と施工場所の距離 (運搬コスト) が重要
- ⑤ 試験結果により Proposal を提出



Photo.55-1 Indian Railway 本社

以下に適合規格 (SPECIFICATIONS FOR TRACK BALLAST: 全 15 頁) の一部を記載する。

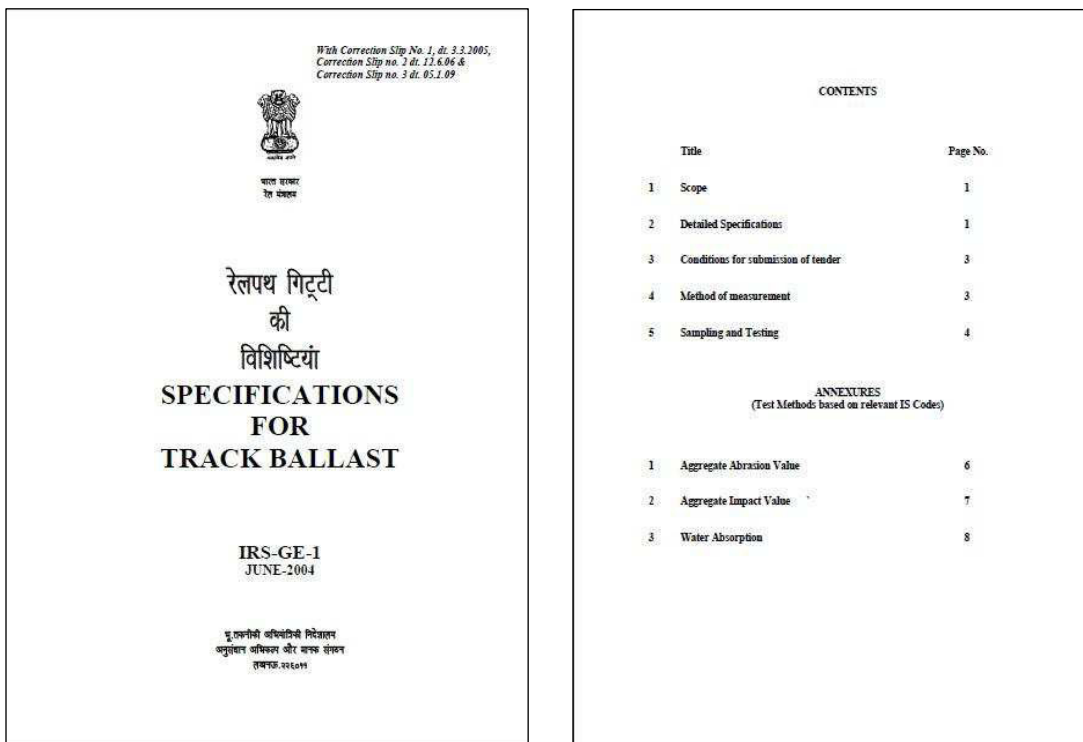


Fig.55-1 SPECIFICATIONS FOR TRACK BALLAST (一部)

(イ) National Highway Authority of India

2013年2月、道路交通省の下部組織である National Highway Authority of India に訪問した。
調査内容を以下に示す。

- ① 製鋼スラグの道路用バラストへの有効活用を提案
- ② Manual of Edifications & Standards for six Laning of Highways though Public Private Partnership (Indian Roads Congress 2010)を紹介、これに準じ試験結果を提案書として提出
- ③ 提案書により Indian Roads Congress が評価
- ④ 日本政府機関の働きかけが必要

(ウ) セメント会社

調査内容を以下に示す。

- ① J/V を含め製鋼スラグの有効活用には積極的だが、使用基準なし
- ② ミネラル分の分析結果、使用工程・方法についての質問
- ③ CaO が最低でも 43.5%は必要
- ④ セメント原料とセメントクリンカ原料の区別の明確化が必要

(3) 今後の方針

製鉄所と一体となったミネラル分の有効活用化プロジェクトが必要と思われ、製鉄所に提案中

6 パイロットプラント試験

具体的な提案書の提出を求められた一部の製鉄所に関してパイロット試験を実施した。対象製鉄所は既存の簡易リサイクル設備を有していたため、その装置を活用した。各工程から回収した産物を日本に持ち帰り検定を行った。

F/S に必要な 1)金属分含有量、2)メタルバランスシートの検定・測定・成分分析、3)回収金属鉄の成分分析を行った。また、スラグの有効活用のために必要なミネラル分の 1)化学分析、2)水浸膨張試験、3)含有鉍物測定を行った。更に、最適なスラグ処理プラントの設計に必要な 1)各産物の比重測定、2)水分測定等も実施した。

成分分析等に関しては、高周波プラズマ発光分析、蛍光 X 線定量分析、X 線回折及び JIS に準じて実施した。

これらのデータは、製鉄所へのプラント提案書の中へ活用した。

パイロット試験を実施した製鉄所の内、一例を以下に記載する。

1 検定・分析方法

1.1 バッチミル検定方法

供試料の内、+150mm サイズはバッチミル(媒体：ロッド)を使用してメタル検定を行った。各試料を装入し、破碎・粉碎を行った。

1.1.1 設備

名称	バッチミル
内寸	φ750 mm × 900 mm
媒体	鉄製ロッド φ70 mm × 800 mm 20kg
回転数	96rpm



Photo.6-1 バッチミル

1.1.2 条件

原料	サンプリング量全量
ロッド	10本、200kg
時間	45分

1.2 スタンプミル検定方法

供試料にスタンプミルを使用してメタル検定を行った。

1.2.1 設備

名称	スタンプミル
ロッド	φ45 × 1700 mm 30kg



Photo.6-2 スタンプミル

ストローク 150 mm
サイクル 60 回/分
乳鉢 外径×内径×深さ=168×162×132 mm

1.2.2 検定手順

試料 500g を乳鉢に装填し、ロッドを落下させ破碎した。落下回数は試料の硬度により異なる。破碎により、メタルとスラグに分離した試料は 0.5 mm で篩い分け、0.5 mm 以上のものをメタルとした。0.5mm 以下のものはハンドテスターによる磁着率測定に供した。

1.3 ハンドテスターによる磁着物含有率測定方法

スタンプミル検定の 0.5 mm 以下を対象に測定を行った。

1.3.1 設備

名称 原田式ハンドテスター
磁束密度 0.09T



Photo.6-3 ハンドテスター

1.3.2 測定手順

アルミ製のボール内に試料を 100g 投入し、ハンドテスターの磁極に磁着したものを回収した。磁着物と非磁着物の重量割合から磁着率を求めた。

1.4 化学分析方法

1.4.1 試料調製

スタンプミルで粉碎した後、ディスクミルで微粉碎し分析試料とした。スタンプミル粉碎後においても粒径が 10 mm 以上のものは 10 mm で篩い分け、以下の調製を行った。

- ・ +10 mm: ドリリングして試料採取、採取した切粉はディスクミルで微粉碎
 - ・ -10 mm: スタンプミルで粉碎後、ディスクミルで微粉碎
- +10mm と -10 mm は発生比率に応じて合成した後、分析試料とした。

1.4.2 分析方法

1) 全試料

- ・ T.Fe: 高周波プラズマ発光分析法(ICP-AES)
- ・ M.Fe: JIS M8213 「鉄鉱石—酸可溶性鉄(II) 定量方法」 附属書 ニクロム酸カリウム滴定法 V 金属鉄を含む鉄鉱石の酸可溶性鉄(II)の分析方法 1.金属鉄定量方法 に準じて実施

2) +0.5 mmメタル

- ・ C : JIS G1211-2 「燃焼ーガス容量法」 に準じて実施した。
- ・ Si、Mn、P、S: 高周波プラズマ発光分析法(ICP-AES)

3) 尾鉱-0.5 mmハンドテスター非磁着物

- ・ CaO、SiO₂、Al₂O₃
FeO、MgO、MnO
Na₂O、TiO₂、Cl
S、P₂O₅、CaF₂ } 蛍光 X 線定量分析

- ・ B₂O₃ 高周波プラズマ発光分析法(ICP-AES)

※ ICP-AES: Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry

4) 尾鉱

X 線回折による鉱物組成確認

1.5 水浸膨張試験

JIS A 5015 附属書 2 「鉄鋼スラグの水浸膨張試験方法」に準じて実施

1.6 比重測定

尾鉱の嵩比重及び真比重 (IHI 製空気比較式比重計) の測定を行った。

1.7 水分測定

恒温乾燥器 105°C±5°C にて 24 時間乾燥し秤量

2 結果

2.1 マテリアルバランスシート

試験結果を基にマテリアルバランスシート (Fig.1) を作成した。

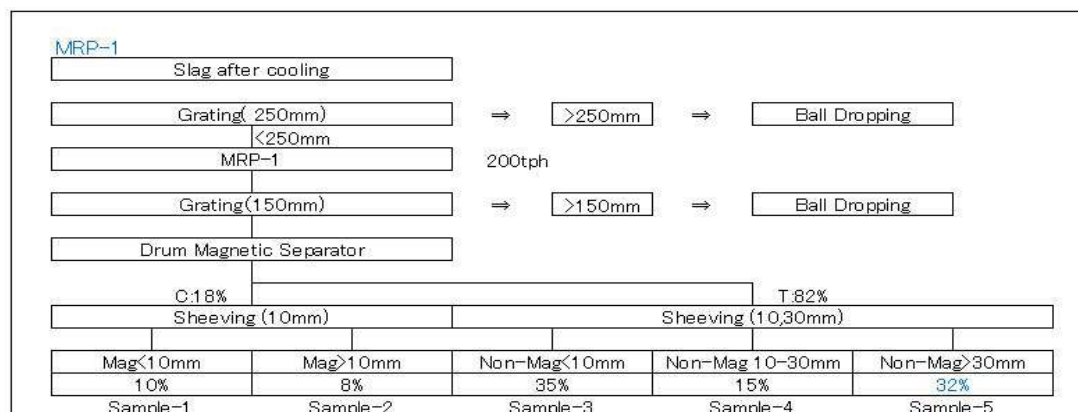


Fig.6-1 マテリアルバランスシート①

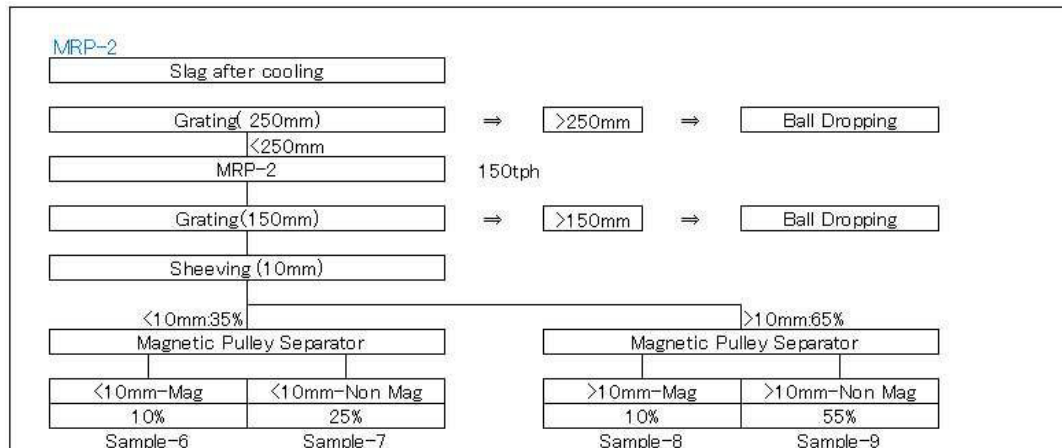


Fig.6-2 マテリアルバランスシート②

2.2 各産物の検定結果

各産物の検定結果を以下に示す。

Table 6-1 粒度分布

Sample No.	MRP-1					MRP-2			
	1 Mag<10	2 Mag>10	3 Non<10	4 Non10-30	5 Non>30	6 Mag<10	7 Non<10	8 Mag>10	9 Non>10
>30mm					95.2				27.7
10-30mm	4.1	91.9	13.9	88.5	4.8	0	0	100	72.3
7-10mm	8.2	8.1	19.2	11.5		6.3	15.8		
5-7mm	11.2		14.7			7.2	13.4		
<5mm	76.5		52.2			86.5	70.8		
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Table 6-2 メタル分析結果

sample	Flow	Size	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %
5	MRP-1	>10mm	1.86	0.41	0.79	0.092	0.044	0.02
11		>30mm	0.31	0.46	0.50	0.075	0.042	0.02

Table 6-3 メタル粒度分布

	M-Fe tpy			JSW Data
	Mag	non-Mag	Total	
>250mm	32,146		32,146	32,156
150-250mm	88,452		88,452	88,482
30-150mm	92,910	22,792	115,702	136,678
10-30mm	36,670	9,841	46,510	
7-10mm	8,086	8,372	16,459	83,185
5-7mm	7,988	7,764	15,751	
-5mm	39,166	49,850	89,016	
Σ 0-250mm	273,272	98,618	371,890	308,344
Total	305,418	98,618	404,036	340,500
Yield	75.59	24.41	100.00	
		Fe%	12.83	10.81

Table 6-4 成分分析結果

Sample	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	M-Fe%	T-Fe%	CaO %	MgO %	S %	Na ₂ O %
1	10.65	3.62	1.11	15.91	39.26	8.89	0.23	0.10
3	10.44	4.19	1.01	15.02	40.03	8.84	0.27	0.11
6	10.45	4.90	0.97	14.15	40.87	8.80	0.32	0.10
7	10.28	4.28	0.99	14.74	40.60	8.65	0.30	0.09
Sample	K ₂ O %	Cl ppm	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	MnO %	Cr ₂ O ₃ %	CaF ₂ %	B ₂ O ₃ %
1	0.09	99	0.60	1.35	5.98	0.06	< 0.01	0.041
3	0.10	135	0.60	1.25	5.25	0.06	0.04	0.011
6	0.08	98	0.60	1.19	5.30	0.06	0.09	0.038
7	0.08	83	0.58	1.23	5.53	0.06	0.04	0.039

Table 6-5 ミネラル分の成分分析結果

	-0.5mmNon-Magの成分													
	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	FeO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Cl (ppm)	S (%)	P ₂ O ₅ (%)	CaF ₂ (%)	B ₂ O ₃ (%)
尾鉱	25.20	16.25	9.57	32.92	10.50	0.21	0.08	0.10	0.96	<1	0.038	0.48	<0.01	0.093

2.3 X線回折

Table 6 に測定結果及び測定チャートを記載する。

Table 6-6 X線回折結果

	鉱物組成
◎ 検出(強い)	MgO
○ 検出	Ca(OH) ₂ 、3CaO・Al ₂ O ₃ ・SiO ₂ 、FeO
△ 検出(弱い)	CaCO ₃ 、MgCO ₃ 、2CaO・SiO ₂ 、Fe ₃ O ₄ 、Fe ₂ O ₃ 、Mn ₂ O ₃ 、Mn ₃ O ₄
× 不検出	CaO、Mg(OH) ₂ 、3CaO・SiO ₂ 、CaO・SiO ₂ 、3CaO・Al ₂ O ₃ 、MnO

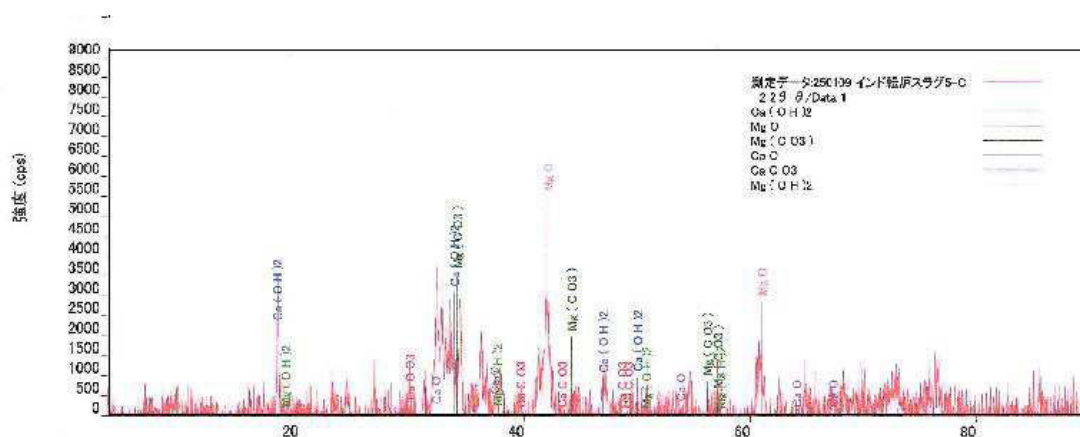


Fig.6-3 X線回折チャート

2.4 水浸膨張試験

Table 7 に試験結果を示した。

Table 6-7 水浸膨張試験結果 (n=2)

日付	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
①	0.00	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.14	0.16	0.17	0.20
②	0.00	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.19	0.22
平均	0.00	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.15	0.16	0.18	0.21

2.5 比重測定結果(尾鉱)

Table 8 に測定結果を示した。

Table 6-8 比重測定結果

嵩比重	1.50
真比重	3.72
充填率	40%

充填率 = 嵩比重 / 真比重

2.6 水分測定結果

尾鉱の水分を項 3.8 の方法で測定した。測定の結果、水分は 1.88% だった。

3 考察

3.1 メタル含有量

スラグにおける M-Fe 含有率は 12.83% だった。

3.2 水浸膨張

水浸膨張試験では初期に 0.11~0.15% まで膨張した後に平衡に達したが、7 日目以降再び膨張を始めた。10 日時点での膨張比は n=2 平均で 0.21% だった。JIS 規格は 10 日間で 1.5% 以下、他社の多くは 10 日間で 0.5% 以下であり、問題なくクリアしている。

3.3 X 線回折

X 線回折試験において膨張に関係する鉱物として、MgO と Ca(OH)₂ が観測された。MgO は膨張により Mg(OH)₂、MgCO₃ となるが、その反応は非常に緩慢であり、本試料においても MgCO₃ のピークは微弱であった。通常、スラグの膨張は F-CaO によるものが多く、F-CaO は膨張後に Ca(OH)₂ となる。本試料において CaO は検出されなかったため、F-CaO が存在しないことが判った。水浸膨張比の測定値からも本試料のバラス化が可能であると言える。

3.4 比重

通常のバラスの充填率が 60%前後であるのに対し、40%と低い結果だった。これは尾鉱の粒度分布やその形状が整っていないためである。バラスへの有効活用を行う場合は破碎方式の考慮が必要である。

3.5 水分

検討中のスラグ処理プラントには乾燥ドライヤーが付いていない。また、発塵を防止するためには水分 5%以下が妥当である。測定結果では 1.88%と問題なかったが、雨季対策や冷却後のスラグの管理は必要である。

4 試験結果総括(実施した 3 製鉄所)

Table 6-9 各製鉄所スラグ中の金属鉄含有量測定試験結果

(%)			
製鉄所	製鉄法	+0.5mm-C	M-Fe
C 社	電炉	8.10	10.80
D 社	電炉	1.97	3.89
F 社	転炉	12.20	12.83

Table 6-10 各製鉄所のスラグ中含有鉱物測定結果

製鉄所	製鉄法	CaO	Ca(OH) ₂	CaCO ₃	MgO	MgCO ₃	FeO	C ₃ AS	C ₂ S	MnO
C 社	電炉		○		◎	×	○			
D 社	電炉	×	○	△	◎	×	○	○	×	×
F 社	転炉		○		○		○		○	×

※1 X線回折による鉱物検出 ◎:検出(強) ○:検出 △:検出(弱) ×検出されず

※2 C₃AS:3CaO・Al₂O₃・SiO₂ C₂S:2CaO・SiO₂

金属鉄の含有量を見ると、各社でバラつきが見られた。これはサンプリング、もしくは製鉄所毎の製鋼法や設備等の差によるものと考えられる。工程毎にスラグを分別し、再度試験を行う必要がある。含有鉱物を見ると、膨張に関係する MgO がどの製鉄所からも検出された。バラストに使用した際、膨張崩壊の原因となるため、特に C、D 社に関してはエージング(膨張を促進・収束させる方法)等を施す必要がある。

7 現実可能性の評価結果

7.1 事業採算性の評価

以上の調査分析結果を踏まえ、対象化したエリアにおいて発生する製鋼スラグの処理、リサイクルに係るより詳細な現状(種類、発生量、コスト、既存企業の動向)について調査を行った。それに基づき事業基本計画を策定し、事業化に向けた実現可能性について評価を行った。Fig.6-1 に本事業の適用範囲例を、Fig.6-2 に設備フローの例を記載する。

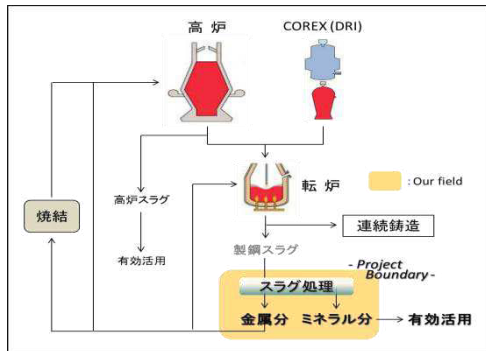


Fig.7-1 本事業の適用範囲(例)

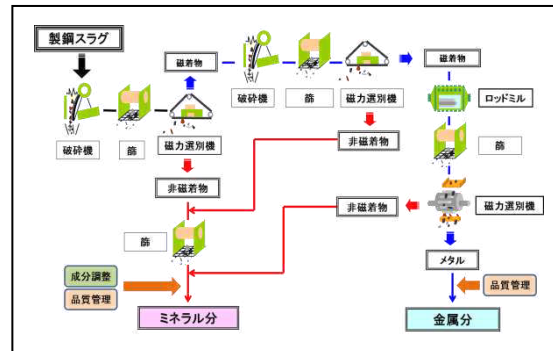


Fig.7-2 設備フロー(例)

計画段階において事業化の可能性があるビジネスモデルに関しては、実現可能性の簡易的な評価を行った。本調査事業での調査分析結果等と請負者の国内での加工実績情報を基に、各ビジネスモデルの事業採算性(単純投資回収年、内部収益率(IRR)等)の見込み計算を行った。インドでの企業税優先の減価償却法(率)、緩慢な環境・安全・現地建築基準や建設費を考慮すれば、実現化の可能性は更に高いと判断出来るが、整備されていない環境基準に従った日本国外競合他社と比較すると競争力に欠ける。今後の環境法的要求事項の動向が事業実現化を左右する。

また、今回製鉄所への見積における安全・環境対策費(建屋・防音設備・集塵機等々)は、見積り総額の約10%を占める事になる。競合他社との金額比較のみでは、設備投資総額に差が出る事は必然である。よって将来的な環境対策方針を持つ製鉄所に対してのみ提案を行う事にした。

ある製鉄所を例とし、スラグ発生量を年間100万tとした場合の事業性の評価結果を以下に記載する。尚、事業評価の前提条件は以下に示す通りである。

- ・ スラグ処理量 : 100万tpy
- ・ 設備投資額 : 約2,000万USD
- ・ 金属鉄含有量 : 11.0%
- ・ 回収率 : 90.0%
- ・ 回収金属鉄評価 : 125.35USD/t
- ・ 関税 : 30.0%

また、ケーススタディとしてミネラル分の販売価格を1USDで販売(Case-1)、2USDで処分

(Case-2)の2パターンとした。

Table 7-1 事業性評価(例)

		Case-1	Case-2	備考
① 売上	金属鉄(スクラップ)	12,535,000	12,535,000	ミネラル分の販売価格
	ミネラル分	826,000	-1,652,000	Case-1:@ 1USD
	売上合計	13,361,000	10,883,000	Case-2:@-2USD
② コスト	人件費	1,571,940	1,571,940	
	電気・水道・ガス	1,333,498	1,333,498	
	修理・消耗品費	1,126,630	1,126,630	
	荷造り・運賃	2,779,280	2,779,280	
	金利等その他コスト	1,520,480	1,297,460	
	コスト合計	8,331,828	8,108,808	
③ 限界利益(=①-②)		5,029,172	2,774,192	
投資回収指標	設備投資金額	25,295,949	25,295,949	輸入関税(約30%)含
	投資回収年数	5.03	9.12	
	ROI %	19.9	11.0	

計画段階でのプレF/Sでは、輸入関税が考慮されておらず、投資回収年数は3~7年と予想された。それを考慮した場合、5~9年と大幅に延びたことから、一般機械等に関しては現地調達化が要点となる。また、売り上げにおけるミネラル分の販売単価が投資回収年数に与える影響も大きく、その市場開拓の結果が事業収益を左右することも判明した。

また、スラグ処理事業のビジネスモデルはスラグを排出する製鉄所の意向に左右されるため、上記に加え装置供給、有効活用のアドバイス及び人材育成といったビジネスモデルスキーム等も想定の上、製鉄所との交渉・事業実現に臨む必要がある。

7.2 環境負荷削減効果の評価

製鉄所構外のスラグ処理施設に関する環境基本法(1991年)、水質(2003年)、大気(1987年)、騒音(2000年)は、施行後10年以上経過している。この古い法に準じて、環境影響評価(2006年)を実施しても、大幅な改善効果は期待できない事が予測される。また、構外型のスラグ処理施設の実現性が低い事もあり事業化調査は保留している。構内型スラグ処理施設に関しては、製鉄所とのMOU締結の段階で再度評価手法を確認し対応する。

(1) 鉄鉱石、天然資源、CO₂抑制予測

現状のインドでの一般的なスラグ処理は簡易プラントによるものであり、鉄分回収率、品位ともに低い。弊社の技術による完全リサイクルが達成された場合、様々な環境負荷低減が見込まれる。その効果を試算し、評価した。定量化として、以下の前提条件に基づいてスラグ100万tを処理した場合の環境負荷低減効果の試算結果を記載する。

(ア) 前提条件

- ① 粗鋼生産量1000kgに付き130kgの製鋼スラグが排出される。製鋼スラグ中の金属鉄の含有量は10%、金属鉄回収率は98%とする。スラグ処理能力は100万tpyとする。
- ② 鉄鉱石のT-Fe=60%とする。高炉法による粗鋼生産量1t当りのCO₂発生量は2.06tとする。(環境省2006年データ)
- ③ 転炉冷却材使用CO₂発生量=153kg/t-Steel
- ④ 転炉スラグ中のCaO=45%、SiO₂=15%とする。
 $CaCO_3(100kg) \rightarrow CaO(56kg) + CO_2(44kg)$
 スラグをセメントに添加した場合のCO₂抑制効果:スラグ1t=△CO₂:0.4t

(イ) 算出結果

Table 7-2 スラグ 100 万tあたりの環境負荷低減効果見込み

			(tpy)
鉄鉱石	購入量減少	金属鉄回収量	9.8万
		減少量	16.3万
天然資源	ミネラル分をセメント利用による使用量減		90.0万
CO ₂	還元コークス削減による排出量減		20.1万
	高品位粒鉄を冷却材使用による削減量		18.7万
	CaCO ₃ 使用減による炭酸ガス発生抑制	CO ₂ 発生量削減	32.0万
		セメント添加効果	36.0万
	スラグ処理及び輸送エネルギー-(発生CO ₂)		▲70~80万

} 20~30万tpy
のCO₂削減

スラグ処理から回収されるメタル回収のみでも 20 万 tpy、メタル・ミネラル分の有効活用が全て達成された場合は約 107 万 tpy の CO₂削減が見込まれる。また、スラグ処理(セメント向けの場合、微粉化と M-Fe 除去)と有効活用先への輸送に関するエネルギーを考慮した場合でも、トータル 20~30 万 tpy の CO₂抑制効果が見込まれる。

ただし、インドにおける CDM 手法の承認は他国に比べ著しく低く、却下率では世界 No.1 である。また、維持管理に要するコストを加味すると利益性も低いとの指摘を受けた。評価手法に関しては、再度見直しの必要性がある。

(2) スラグ処理設備の環境対策

現状でのスラグ処理施設の問題点と、該当すると思われる環境関連法に従いプラント設計を行う際の対策及びその効果を以下に記載する。

Table 7-3 スラグ処理施設の現状と環境対策後の効果

区分	現状	問題点	対策	効果
水質	・屋外処理 ・排水設備あり ・油水分離あり	雨季の大雨に対応出来ていないため、有害物質・油分流出の恐れあり	・建屋内での処理	・外部への流出防止 ・雨水の汚濁防止
大気	・屋外処理 (対策なし)	対策なしのため常に発塵	・建屋内での処理 ・環境集塵機の設置 ・調湿装置の設置	・発塵防止 ・外部への粉塵飛散防止
騒音	・屋外処理 (対策なし)	対策なしのため騒音大	・建屋内での処理 ・ミル等に防音小屋設置	・騒音軽減
振動	・対策なし	振動による建屋・設備の破損、発塵	・建屋内基礎の補強 ・設備取付補強	・建屋・設備の振動防止

現状では環境対策が不十分であることが見て取れた。よって水質、大気等の各区分に対応した対策を施し、環境への配慮を行う。

現時点では、日本の環境法的要求事項はインドにとって過剰であるとは思えたが、製鉄所トップの意識は高く必要条件となってきた。

7.3 社会受容性の評価

ビジネスモデルの妥当性を、パートナーとなり得る製鉄所でのヒアリング等により分析し、ビジネススキームを構築し評価した。

2009年と2012年の当社でのB社製鉄所の現地調査で、発生スラグの一部は簡易処理されてはいたが、未処理分と合わせて約250万tのスラグが製鉄所構内に野積みされていた。Photo.1に示す様に、国営製鉄所であっても適正な処理には程遠い状態にあり、今後のインド製鉄業の健全な発展には、先送り状態の副産物の処理は優先すべき課題である。



Photo.7-1 新規導入設備(環境対策なし)

また、インド環境省やCPCB(Central Pollution Control Board)から製鉄所への環境改善要請もあり、当社の製鋼スラグの処理技術はインド政府・企業等に受け入れられた。

7.4 現地政府・企業との連携等の実施体制の構築

構築した実施体制を以下に示す。(略称は2、4項参照)

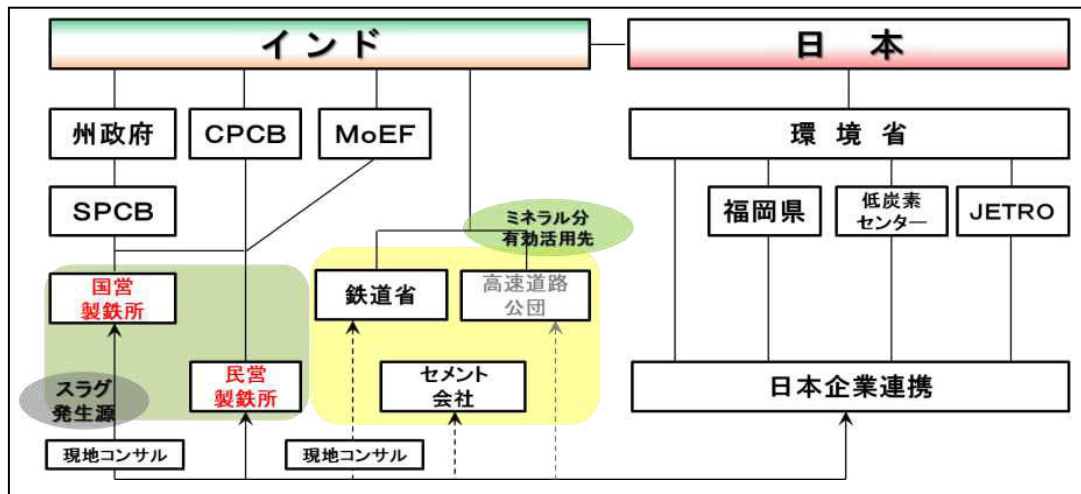


Fig.7-3 製鋼スラグの有効活用事業化時の実施体制

8 実現可能性の検討

現在の進捗状況を以下に記載する。

Table 8-1 進捗状況一覧

区分 製鉄所名	国営		民営一貫				民営中小				
	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G1社	G2社	G3社	G4社	G5社
1 予備調査	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2 訪問調査	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3 環境に対する製鉄所の理解	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4 スラグ処理の実施	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5 インフォーマルセクターとの共存	×	×	○	○	○	○	×	×	×	×	×
6 スラグ性状予備調査		○	○	○	○	○					
7 協力企業の存在		×	○	○	○	○					
8 パイロットプラント試験			○	○	×	○					
9 Invitation/Tender の発行	○		○	○		○					
10 プロポーザルの提出	○		○	○	○	○					
11 競合他社との比較			×			○					
12 現時点での状況	継続中	×	×	継続中	継続中	継続中	×	×	×	×	×

事業実現可能性の検討においては、根本的に 1)製鉄所の理解、2)既存業者との共存、3)競合他社との比較、4)有効活用先の理解が得られる事が必要である。B 社に関しては今後も継続して協調を得ていく。

(1) 課題

(ア) インフォーマルセクターの存在

中小民営製鉄所にはエージェント、ブローカーと呼ばれるミネラル分の処分業者が存在することを、製鉄所へのヒアリングを通じて確認している。製鉄所は最終処分(有効活用)先の確認を行っておらず、顕在的問題点を有している。よって環境影響評価結果を考慮し、構外型でのビジネスモデルは検討せず、該当する製鉄所は優先順位を下げた。また、エージェント、ブローカーとの接触は行わない。

(イ) 環境法・廃棄物処理法・製造者責任・リサイクル法等の未整備

整備されていない環境基準に従った日本国外競合他社と比較をすると、競争力に欠ける。今後の環境法的要求事項の動向が事業実現化を左右する。

弊社らが提案するスラグリサイクルプラントに占める安全・環境対策費は設備投資金額の約 10%を占める。これらの必要性を認識しない製鉄所にとっては過剰投資と考えられ、弊社は競争力に欠ける事になる。環境に対する製鉄所の理解が大前提となる。今回の調査の中で、民営製鉄所数社からは将来的にインドの環境要求事項に対応可能な設備や日本並みの環境対策の方針が得られた。

(ウ) 製鋼スラグから回収されるミネラル分の有効活用化への意識不足

製鉄所へのヒアリングで、高炉スラグは安心して有効活用が可能であるが、製鋼スラグの有効活用に関してはインド国内規格が未整備であり、否定的である事が同一見解として得られた。日本での事例を紹介しても、有効活用に関するインド政府の承認等を求められる場面もあった。製鉄副産物に対する製造者責任の認識も欠けている製鉄所もあった。今後、スラグから回収されたミネラル分の活用について、製鉄所の意識を高める事が最大の課題である。

ミネラル分はその物性から、EF スラグは路盤材・バラスト等へ、BOF スラグはセメント原料化が最適な有効活用先となる。高炉スラグのセメント原料化についての認識は高いが、製鋼スラグに関しては否定的な状況である。ミネラル分の活用に関する意識の向上と市場開拓が今後の課題となる。また、副産物が有価物であるか否かにより産業廃棄物中間処理業の許可が必要となる。

項 3 事業採算性の評価でも試算したが、実現可能性評価の段階ではミネラル分の評価が収益性を左右する。ミネラル分の評価が\$2/ton, \$1/ton, \$0/ton, \$-1/ton、運賃が\$1/ton, \$2/tonと仮定する。100万 tpy のスラグが発生する製鉄所の場合、その売上額もしくはコスト負担額は以下の表のようになる。結果は、\$400万/年もの差になる。

Table 8-2 ミネラル分の評価差による収益影響度(\$万/年)

販売運賃	ミネラル分の評価額			
	\$2/t	\$1/t	\$0/t	\$-1/t
\$1/t	100	0	-100	-200
\$2/t	0	-100	-200	-300

(エ) 現存する既存業者との協調

いずれの製鉄所に関しても簡易的にスラグ処理を行っている。設備の故障等から修理・メンテナンスの負担も多く、処理量の未達が課題となっている。製鉄所としては原因の究明が不十分であり、既存業者への不満も多い。製鉄所によっては既存業者に対して排他的な面も多い。

(オ) 関税、金利

項 3 で記述したが、輸入関税に関しては約 28%、また資金調達に関する金利は約 12%となっており、事業化における大きな課題となっている。

(2) 課題に対する改善案

(ア) 構内型でのスラグ処理

(イ) 環境法・廃棄物処理法・製造者責任・リサイクル法等の整備と法制化

(ウ) 製鋼スラグから回収されたミネラル分の活用に関する認識度の向上

(エ) 現存する既存業者の人材活用と教育訓練システム構築

(オ) 現地調達等によるコスト削減：建設会社等の調査

建設会社に関して、日本国内、日系のインド国内企業、インドローカルの大企業及び中小企業におけるコストや技術力といった点について比較・調査を行う。

(カ) 日本政府機関からの低金利融資政策・EPA(経済連携協定)等の利用、製鉄所自体によるスラグ処理施設の運営

9 関係者合同検討会の開催結果

以下に、各製鉄所や機関等との関係者合同検討会の開催経過を記載する。2013年3月時点で35回開催した。

Table 9-1 関係者合同検討会の開催経過

会社・機関名	年月日	部署	出席者	概要
国営製鉄所 A社 (SAIL社)	120214	貿易	印3名、日側3名	スラグの有効活用事業化のプレゼンテーション
	120217	企画	印7名、日側2名	スラグの有効活用事業化のプレゼンテーション
	120808	本社	印1名、日側1名	Proposal提出
	121008	本社	印5名、日側4名	Proposal内容の討議
	130228	本社	印3名、日側5名	Proposalフォロー
国営製鉄所 B社(RINL社)	120216	製鉄所	印7名、日側2名	スラグ有効活用プレゼンテーション、スラグサンプル
	121010	製鉄所	印4名、日側4名	Proposal内容の討議、現場確認
民営製鉄所 C社	120523	製鉄所	印2名、日側6名	スラグの有効活用事業化のプレゼンテーション
	120723	製鉄所	印2名、日側6名	スラグ分析結果報告、Proposal内容打合
	120810	製鉄所	印2名、日側3名	Proposal提出
	120926	製鉄所	印3名、日側5名	Proposal内容の討議
民営製鉄所 D社	120620	製鉄所	印2名、日側3名	事業提案とスラグサンプル
	120725	製鉄所	印3名、日側6名	スラグ分析結果報告、Proposal内容打合
	120831	製鉄所	印2名、日側3名	Proposal提出
	120928	本社	印6名、日側5名	Proposal内容の討議
	121126	製鉄所	印4名、日側6名	パイロットプラント試験打合ならびに試験実施
	130214	本社	印2名、日側5名	Proposal提出
民営製鉄所 E社	120625	本社	印2名、日側3名	事業提案
	120726	本社	印2名、日側6名	プレゼンテーションとProposal内容打合
	120813	本社	印2名、日側3名	Proposal提出
	120927	本社	印2名、日側5名	Proposal内容の討議
民営製鉄所 F社(JSW社)	121109	製鉄所	印6名、日側6名	実態調査・パイロットプラントテスト
	130302	製鉄所	印12名、日側5名	Proposal内容の討議・提出
民営G1社	120521	本社	印3名、日側5名	スラグ有効活用プレゼンテーション、現場確認
民営G2社	120521	本社	印3名、日側5名	スラグ有効活用プレゼンテーション、現場確認
民営G3社	120522	本社	印2名、日側5名	スラグの有効活用事業化のプレゼンテーション
民営G4社	120522	本社	印2名、日側5名	スラグの有効活用事業化のプレゼンテーション
民営G5社	120522	本社	印3名、日側5名	スラグ有効活用プレゼンテーション、現場確認
国営スラグ処理会社	121011	本社	印2名、日側3名	共同事業化の可能性調査
民営スラグ処理会社	121010	本社	印2名、日側3名	共同事業化の可能性調査
鉄道省	121009	本省	印2名、日側3名	鉄道用バラストの規格調査、有効活用化ヒアリング
National Highway	130213	本部	印1名、日側4名	高速道路用バラストの規格調査、有効活用化ヒアリング
民営建設会社A	120724	本社	印1名、日側6名	工場建設に関する見積依頼
	120926	本社	印5名、日側5名	工場建設に関する見積内容検討
民営建設会社B	121010	本社	印3名、日側3名	工場建設に関する協調体制協力依頼

10 今後の方向性

今後のタイムスケジュールの例を以下に示す。



Fig.10-1 Schedule for implementation

現在、プロポーザルを提出中の製鉄所との MOU または契約締結 (社会的受容性の確認) が出来た時点で、事業化へ向けてのアクションプラン (マイルストーン) を構築する。製鉄所とのビジネススキームは製鉄所の規模とスラグ処理への意向によりその内容が異なるため、製鉄所毎の個別の作成となる。

現段階ではテクニカルアグリーメントを締結し、日本からの技術的支援を優先させる製鉄所もあった。具体的には、製鉄所が必要とするスラグ処理設備・装置の供給、スラグを有効活用するためのアドバイス及び人材育成といった要請を受けた。

また、今後ミネラル分の有効活用を市場開拓するための予備調査を一部実施している。現段階では鉄道省、高速道路公団、セメント会社のスラグ活用への意識を高めるためにはかなりの労力が必要と考えられる。