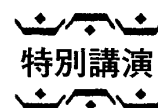


© 1987 ISIJ



高品質石灰およびドロマイトの 量産技術と供給体制の確立



吉澤 兵左*

Establishment of Mass-production Technology and Supply System on High-grade Lime and Dolomite

Hyoza YOSHIKAWA

1. 緒 言

本日、日本鉄鋼協会殿より、名誉ある浅田賞を賜り、身に余る光栄に存じます。会長はじめ、会員各位に対して心から厚く御礼申し上げます。

さて、わが国が、良質でかつ豊富な石灰石資源に恵まれていることは、既に周知の事実であります。この石灰石は、セメント類の主要原料であり、また製鉄工業においては重要なフラックスとして、必要欠くべからざるものであります。したがって、日本の製鉄工業の発展のために、このことは恵まれた条件にあつたと申しても差し支えないと存じます。更に、石灰石は、各種化学工業の原料として重要であるのみならず、土木、建築用の資材、生コン用の骨材、土質安定処理材料、環境保全材料、あるいは、肥料等として非常に広汎に利用されています。

私は、過去 36 年にわたり、石灰石、ドロマイトを通じて、主に我が国の鉄鋼業の周辺を歩んで参りました。以下、これらの技術開発の経過について取りまとめて御報告申し上げますが、高度な技術内容とか、アカデミックなものでないことはあらかじめ御了承を賜りたいと存じます。

2. 石灰石、ドロマイトの開発推移

石灰石、ドロマイトと我々人類とのかかわりは、非常に古く、紀元前においてエジプトのピラミッドやスフィンクスをはじめ、多くの芸術作品として今日、極めて重要な文化遺産として存在している。また我が国においても、奈良県の高松塚遺跡にも石灰石類を原料とする壁画が発見されている。

弊社は、初代吉澤兵左が明治 6 年、栃木県葛生町片山

に、石灰工場を創設し、ここで石灰の製造販売を開始したが、明治 16 年には、皇居御造営のために、石灰を納入したという記録がある。我が国のみならず、外国においても、石灰石は、当初、芸術的な素材、また白壁等の高級建築材料として好まれてきた。

これは、石灰の特性もさることながら、比較的我々の周辺に広く存在し、入手が容易であつたためにほかならない。一方、石灰石が、工業原料として使用されるようになる時代は、今から約 100 年前、セメントの原料として、また続いて製鉄工業の副原料として重要なものであることが認識されるに至ってからである。近代、文明の発展の推進役は、鉄とコンクリートによつて達成されてきたが、この石灰石がその重要な役割を果たしてきた。先に述べた建材としてスタートした石灰石、ドロマイトは、その装飾性、加工性、耐久性、施工性等の特性によるものであるが、それは主に、その素材がもっている物理的特性によるものであつた。またこのような特性をいかした場合の消費量は、規模的にも少量であり、また使用する時も、特殊な技能をもっている人が必要であつた。一方、セメント原料、製鉄原料として利用する場合は、主に石灰石、ドロマイトの化学的特性を生かしたもので、常にその理論的背景があつた。またその消費量も大きく、製造技術と品質管理が重要となつてきた。

戦後、我が国の石灰石鉱山の開発は、非常に急速であつた。我が国の石灰石の全採掘量は、昭和 45 年度において、既に 1 億 2000 万 t 代に達している。一方、我が国の粗鋼生産量が、1 億 t 代に到達した時は、昭和 47 年であり、石灰石の採掘量の方が、製鉄工業よりも一足先に、1 億 t 生産に到達した。そして、高度成長期の牽引力となつた鉄とセメント工業に支えられて、石灰石工

昭和 61 年 10 月本会講演大会における浅田賞受賞記念特別講演 昭和 61 年 12 月 1 日受付 (Received Dec. 1, 1986)

* 吉澤石灰工業(株)取締役社長 (President, Yoshizawa Lime Industry Co., Ltd., 3-9-4 Ginza Chuo-ku, Tokyo 104)

Key words : limestone, dolomite ; mining ; calcining ; iron and steel ; mass production ; history.

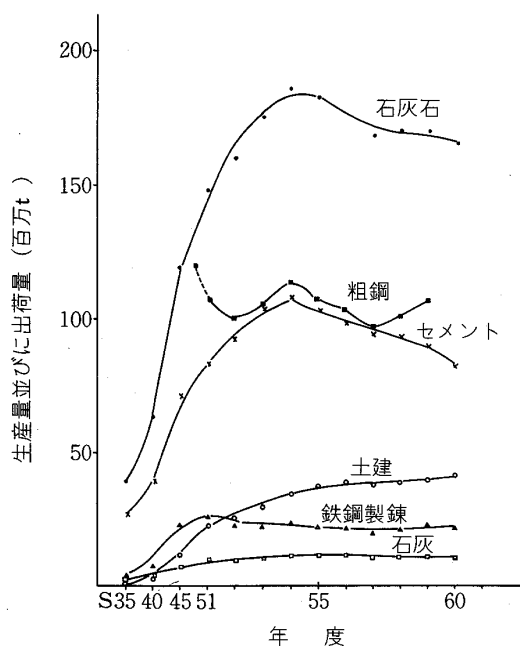


図 1 石灰石生産量並びに用途別出荷量

表 1 昭和 60 年度石灰石生産量並びに用途別出荷量
(通産省資源統計)

用途別出荷内訳内訳	出 荷 量 (千 t)	比 率 (%)
セメント	80 940	49.4
鉄鋼製錬	21 339	13.0
石 灰	9 937	6.1
ソーダ、ガラス	1 552	0.9
タンカル	5 584	3.4
土 建	41 354	25.2
(道 路)	(18 259)	(11.1)
(骨 材)	(18 381)	(11.2)
(一 般)	(4 714)	(2.7)
そ の 他	3 215	2.0
合 計	163 921	100.0

業は、順調に生産を伸ばしてきたが、昭和 48 年の石油ショックと、その後の経済情勢の急変により、セメント、鉄鋼等の基幹産業が低迷状態に入るにつれ、石灰石も昭和 54 年の 1 億 8 500 万 t をピークに、量産設備を抱えながら、減産体制に移行せざるを得ない状況となつている。図 1 は、石灰石の生産量を示しているが、さらに粗鋼生産量及びセメント用と鉄鋼、製錬用の石灰石の消費量も示している。

また、昭和 60 年度の石灰石の生産量は、1 億 6 378 万 t で、前年度 537 万 t、3.2% 減少となつている。このうち、セメント用石灰石の減少が最も大きく、その量は 695 万 t で、7.9% 減少し、鉄鋼用、石灰用、タンカル用もそれぞれ 2% 前後低下している。このように、工業用が低下したのに対し、土建用は、248 万 t、6.4% 増加したが、中でもコンクリート骨材用が 12.4% の大幅な増加となつている。それは、コンクリート用石灰石、ドロマイトは骨材として安定供給ばかりでなく、均質で、かつこの骨材には、アルカリ骨材反応がないためその需

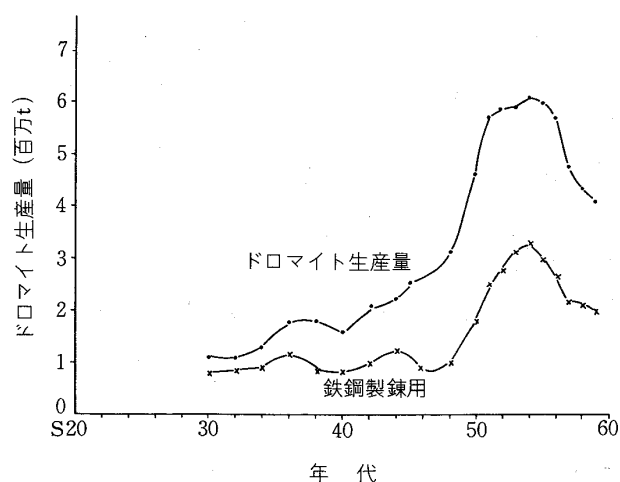


図 2 ドロマイトと鉄鋼製錬向きドロマイト

表 2 製鋼用、焼結用石灰の供給量

昭 和	製 鋼 用	焼 結 用
50	5 021	—
51	4 705	—
52	4 396	—
53	4 122	475
54	4 057	910
55	4 366	987
56	4 084	1 136
57	3 991	1 026
58	3 772	966
59	3 990	944

要が増加しているものである。表 1 は、それらの内訳を示している。また表 2 は、最近の製鋼用及び焼結用の生石灰の供給量を示しているが、我が国で、焼結原料のバインダーとして、生石灰を大幅に使用しはじめたのは、昭和 53 年度からであることが注目される。また図 2 は、我が国におけるドロマイトの生産量と、鉄鋼製錬向けのドロマイトの供給量を示しているが、ドロマイトの生産量は、鉄鋼製錬用に大きく依存している。

3. 高品質石灰、および軽焼ドロマイトの量産技術の確立

さて、弊社と鉄とのつながりについて申し述べたいと存じます。社史によると、大正 3 年 1 月、日本鋼管株式会社川崎工場へ初めて生石灰 3 t を納入したと記されている。当時においては、石灰石を焼成する炉も簡単なものであつたが、これを葛生から川崎まで、安全に輸送することは、非常に困難であつた。馬車と船で渡良瀬川、利根川を運んだといわれている。石灰工業技術は高エネルギー消費型であり、その改善の中心は焼成炉を中心とした操業炉技術の確立である。したがって、それらの技術開発に関しても歴史的に幾度かの変遷を経て現在に至っている。

併せて、今日のような近代化された石灰工業の姿にな

つたのはごく新しく昭和 40 年代に入ってからである。昭和 30 年代後半、我が国の鉄鋼各社は、次々と大型高炉の新設計画を発表したが、これに伴う製鋼法も上吹き転炉が主流を占めるようになり、そのフラックスとしての石灰についても、高活性で転炉内での反応性の良いものが大量に求められるようになった。

3.1 西独の石灰事情調査

私は、平炉から純酸素製鋼の LD 転炉に移行する新技術時代と大量生産計画をスムーズに達成するため、従来の石灰の製造技術は、量的にも、質的にも対応できないと考え、近代的な石灰焼成炉の実態調査をすると共に、これまでのコークス、無煙炭のような固体燃料から液体燃料による焼成炉の可能性について検討を始めた。

3.2 ウェスト・オーヘン炉の導入

昭和 38 年、西独において堅型重油焼成炉が成功した旨の情報が入ったが、これがウェスト・オーヘン炉であり、実態を調査した。この炉は、特殊なバーナーを用いて焼成に成功したということであつた。その当時、弊社の試験炉では、この辺で苦勞しておりましたので、未確認の部分も抱えながらあえて導入することと致しました。この炉は、日産能力 100 t の重油焼成炉として我が国に導入されたものの第 1 号である。この炉は、昭和 40 年に火入れしたが、残念ながら炉内に棚吊現象が起こり、期待どおりの品質と操業のロングランができない状態が続いた。やがて、ヨーロッパにおいては、新しい重油焼成炉が次々と開発された。

3.3 メルツ炉の導入

弊社においては、昭和 43 年オーストリアより同じく

重油焚堅型焼成炉メルツ炉を導入した。この炉による石灰は品質が均一で、特に燃料消費量の低い点が特徴である。図 3 はメルツ炉の内部構造を示している。この炉は、内部が 2 分され、それぞれ上から原石の予熱帯、焼成帯、及び冷却帯にわかれ、一方が焼成中の時は、他方にその燃焼ガスが移行し、蓄熱して原石が予熱されるようになって、交互に燃焼と予熱を繰り返している。

したがって、品質が均一となりまた操業も容易である。我が国の第 1 号炉となつたこの炉の焼成能力は日産 140 t であるが、製鋼用として品質もよいことが確認され、引き続いて昭和 44 年日産 150 t の 2 号炉も増設している。

3.4 ベッケン・バッハ炉の導入

同じ頃、西独においてベッケン・バッハ炉が発表された。この炉も、重油焚堅型焼成炉である。このタイプの炉も我が国に導入されている。最初に、この炉の導入を決定したのは、奥多摩工業株式会社と弊社の合弁企業からなる奥多摩化工株式会社であつた。この炉は、東京都氷川に建設することになり、弊社は、これまでの堅炉焼成技術を提供することになり、多くの出向社員が担当した。この炉は、メルツ型より、炉内の構造がやや複雑であるが、原石が細粒部分まで焼成可能であり、また製品がソフトに仕上がるという特徴がある。弊社においては、この炉によつて、軽焼ドロマイトを製造するため、日産焼成能力 200 t のものを昭和 45 年、及び昭和 46 年、葛生工場に建設した。

現在、我が国のみならず、欧米においても、堅型炉の大型石灰焼成炉は、これらメルツ炉とベッケン・バッハ炉の 2 種類が主流であるが、弊社は、他社に先がけて、この型の炉を導入し、液体燃料による高活性度の製鋼用石灰焼成技術確立した。

3.5 ロータリーキルンの建設

昭和 40 年代の鉄鋼生産計画は、ますます旺盛となり、弊社においても、石灰、軽焼ドロマイトの増産が必要となつた。この需要に対応して、葛生工場において、従来のものよりもさらに高活性度の製品が多量に必要となつた。このため、種々検討した結果、ロータリーキルンを建設することに決定した。ロータリーキルンも、予熱帯、焼成帯及び冷却帯に大別されているが、堅型炉と違って、原石の予熱部分と製品の冷却部分はキルンの本体とは別にそれぞれプレヒーター及びクーラーが設置されている。弊社において、これより先に、既にロータリーキルンによるドロマイトクリンカーの焼成技術確立していた。この経験をベースにして、昭和 45 年、日産 400 t の焼成能力のロータリーキルンを建設し、続いて昭和 53 年同じ能力をもつ第 2 号炉を建設し、現在に至っている。図 4 は石灰石、ドロマイトの焼成に使用しているロータリーキルンの概要を示している。また写真 1 は葛生工場内のロータリーキルンを示している。かくして、

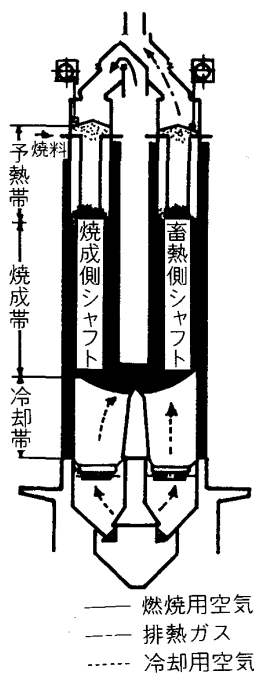


図3 メルツ炉の焼成原理図

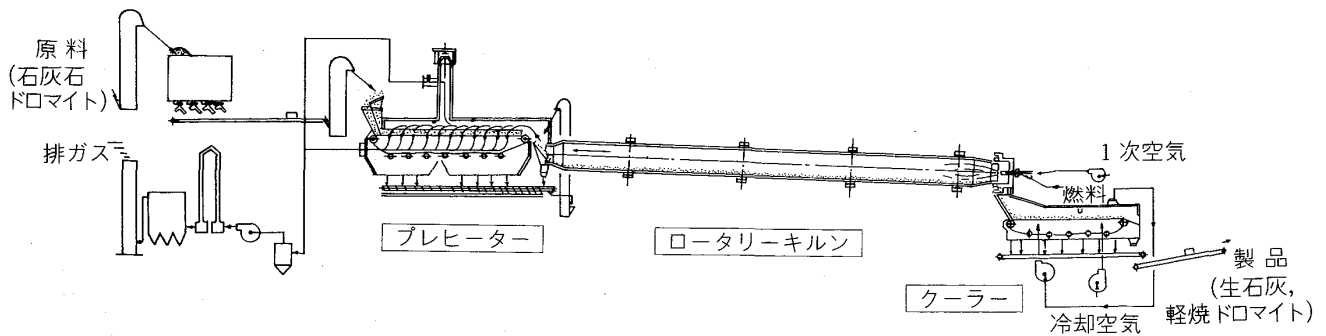


図4 ロータリーキルン装置概要図

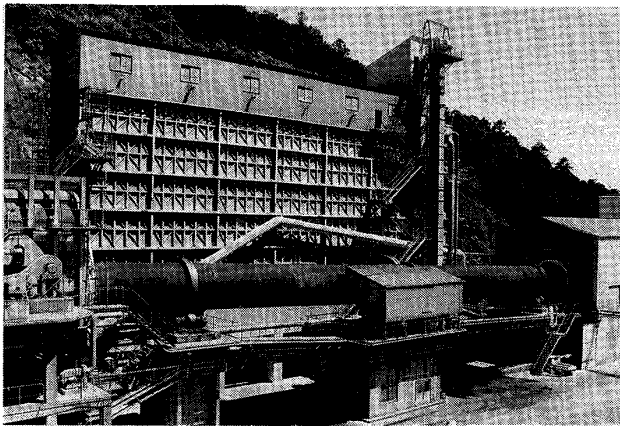


写真1 葛生工場ロータリーキルン

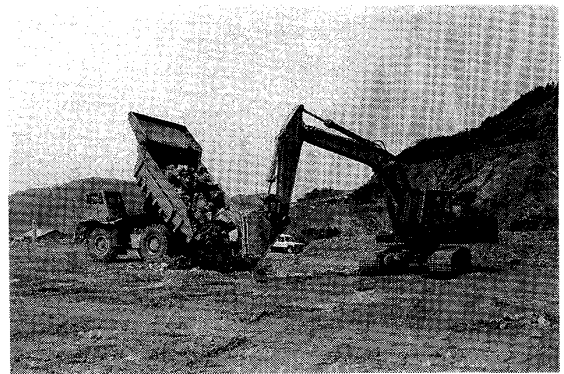


写真3 大叶鉱山三峰鉱区探掘現場



写真2 大叶鉱山三峰鉱区

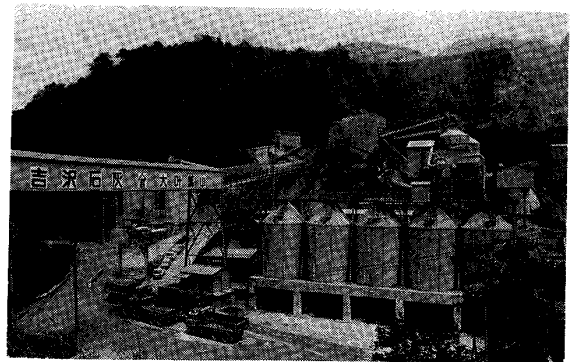


写真4 大叶鉱山三峰鉱区原石サイロ

昭和40年、我が国において最初に液体燃料により大量生産が可能な豎型を導入して以来、昭和53年までの13年間に、豎型5基、ロータリーキルン2基を相次いで新設し、その焼成能力は月産40,000tとなっている。

3・6 葛生地区、大叶鉱山の開発

次に、葛生工場において、新型の各種焼成炉の建設と並行して、石灰石、ドロマイト鉱山の開発も精力的に推進してきた。弊社葛生地区のものは大叶鉱山と呼ぶが、

石灰石の埋蔵量約7億t、ドロマイトの埋蔵量は約5億tと推定される。この大叶鉱山の特徴として、上部に石灰石、その下部にドロマイトが賦存している。

これらの鉱区を詳細にボーリングして、石灰、マグネシアのほか、微量成分の酸化鉄、シリカ、りん、硫黄等について調査し、それぞれ用途別に採掘している。写真2は、弊社三峰地区の航空写真である。また図5は、葛生地区地質鉱床図である。更に、写真3、写真4は、三峰鉱区の採掘現場及び三峰プラントのサイロを示してい

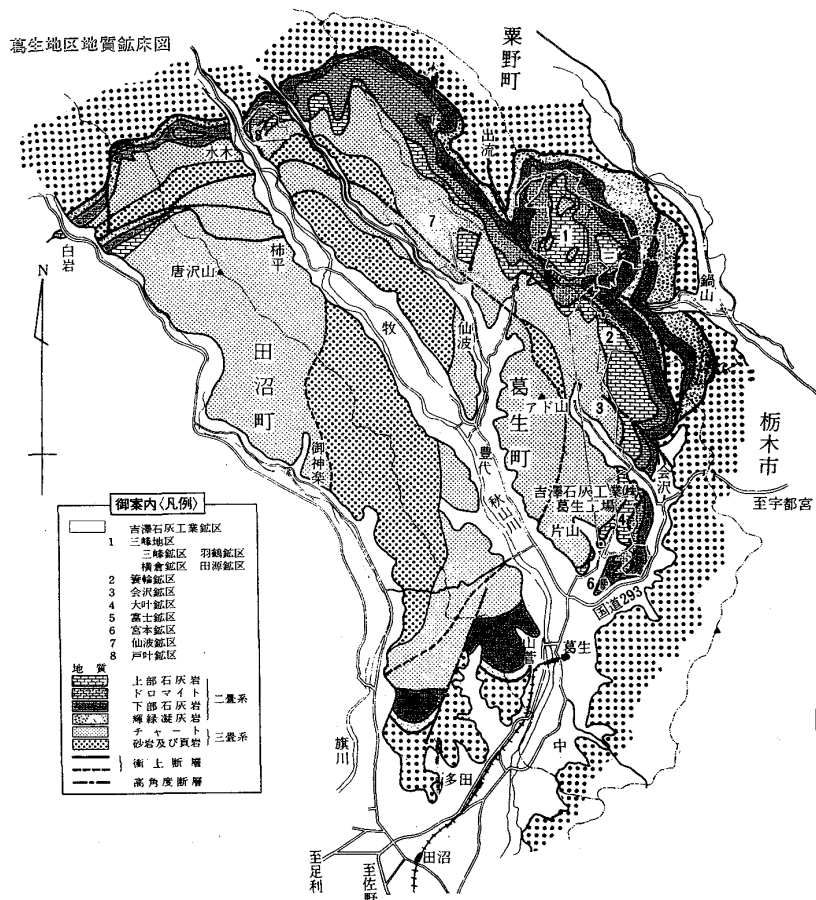


図5 葛生地区地質鉱床図

表3 大叶鉱山採掘方法の推移
(採掘量: 万 t/月)

昭和	21~30	31~41	42~53	54~現在
露天採掘	傾斜掘 2~2.5	グローリーホール法 3~4	ベンチカット採掘法 4~25	30~35
坑内採掘	小型さく岩機 0.5	小型さく岩機 2~8	サブレベル採掘 11~5	休止
合計	2~3	5~12	15~30	30~35

る。近年、採掘技術も非常に進歩している。

その大量採掘技術は、弊社のみならず、安全性、品質管理性等から露天採掘のベンチカット法に定着している。採掘に先立つて、十分に地質調査を行い、剥土、剥岩作業後、発破に続いて、1次破碎、2次破碎、篩分け工程を経て、更に原石を完全に水洗後、各キルンに適した粒度の原石を貯鉱している。表3は、大叶鉱山採掘方法の推移と採掘量をまとめている。弊社は、昭和40年から昭和50年代にわたって、石灰石、ドロマイト及び砕石を含めて、年間600万tの採掘能力と、年間48000tの焼成能力を有する採掘-焼成加工の一貫工程を有する工場を完成した。この他、自社開発による圧力消化機による消石灰製造設備及び砕砂プラントを有している。図

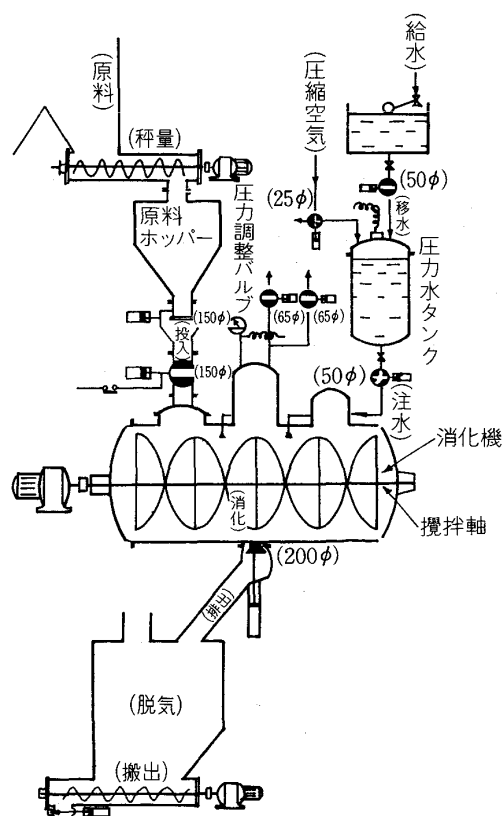


図6 圧力消化機系統図

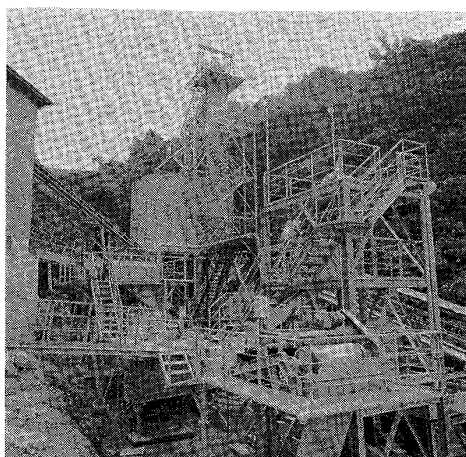


写真5 砕砂プラント

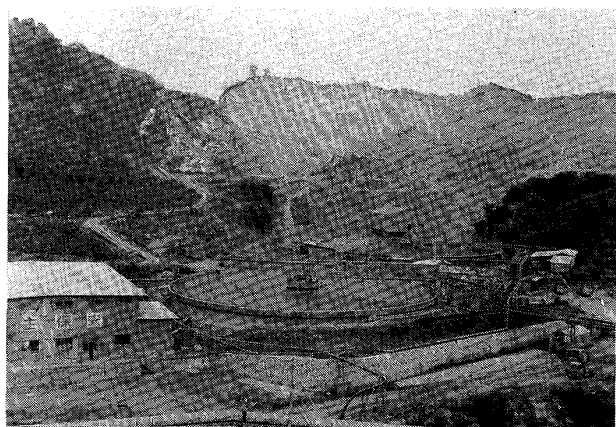


写真6 シックナー

6はその消化機、写真5は砕砂プラントであるが、水洗、破碎、篩分け、及びサイロを設置している。また写真6は、葛生工場にある大型シックナーで、これは、原石の水洗後の水から、粘土を分離している。また構内において発生するダスト類を湿式で集塵し、このシックナーによつて分離し、水のリサイクルと同時に、湿式による粉塵防止を行い、公害対策を確立している。

3.7 君津製鉄所の石灰焼成工場

一方、弊社は昭和42年、当時の八幡製鉄所の転炉用生石灰製造を委託する旨の内命をうけ、君津構内の転炉サイドに、日産400t焼成能力を有するロータリーキルン2基及び日産600t焼成能力を有するロータリーキルン1基を次々と建設した。この3本のロータリーキルンにより、石灰焼成能力は日産1400tとなり、石灰に関しては君津製鉄所の年間粗鋼生産量1000万t体制を満足できるものである。

4. 軽焼ドロマイトによる転炉寿命の延長技術の確立

君津製鉄所の第1転炉は昭和43年から稼働開始し、

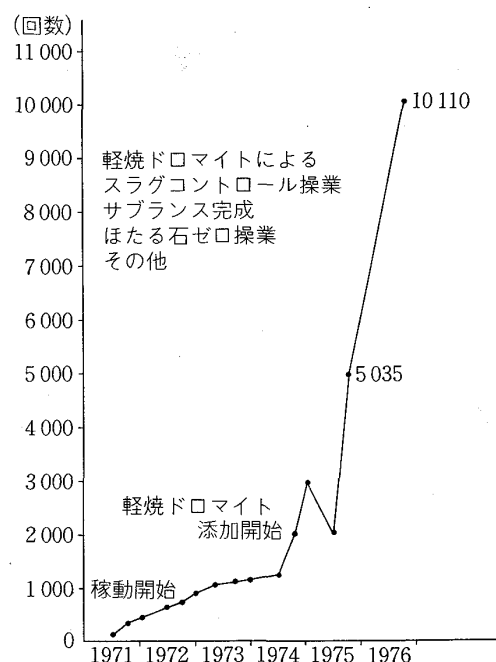


図7 君津第1転炉工場第2号炉寿命（回数）

続いて46年から第2転炉工場が完成している。当時、製鋼部においては、転炉の寿命延長技術の開発が最も重要な課題であつた。また、時を同じくして、転炉用のフラックスとして生石灰と同時に併用するほたる石が減少し、この対策が大きな課題であつた。当時、アメリカにおいて、転炉の寿命延長対策として、転炉操業において生石灰と軽焼ドロマイトを併用しているという技術情報を入手し、その実態を直接調査し、その結果を関係方面へ報告した。その後、転炉工場側の多くの技術開発により、毎年転炉の炉命の延長が更新された。君津製鉄所の転炉工場においても、新しく生石灰と軽焼ドロマイトを併用するいわゆるスラグコントロール技術と、ほたる石ゼロ操業技術とサブランス技術の完成等によつて、第1転炉工場2号炉の57代操業において延連続操業日数438日となり、この間の出鋼回数は、10110回となりその全出鋼量は、2424703tの世界新記録を達成した。図7は、各年代における転炉の寿命を述べている。この事実、新しく軽焼ドロマイトが、製鋼技術の面で大きく評価される時代となつていることを示す。

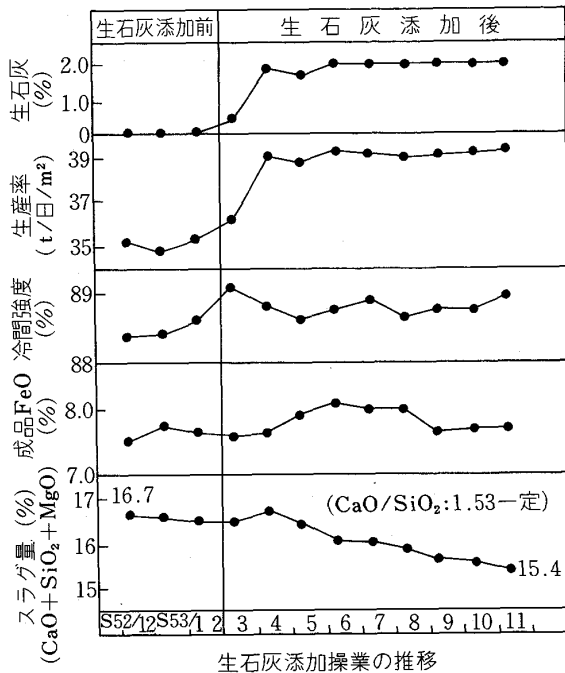
5. 生石灰による焼結の品質と生産性の向上

我が国の大型溶鋳炉の主原料は焼結鉱である。

それは、粉鉄鉱石の輸入という背景と、高炉操業の安定性によるものである。したがって、焼結炉の生産性とその品質向上は非常に重要なものである。八幡製鉄所においては、焼結原料の事前処理技術を完成している。すなわち、コークスの分割添加技術と生石灰添加技術である。焼結原料の石灰石の一部を生石灰に置換することに

表4 焼結原料に CaO を使用するメリット

1	焼結鉱の増産
2	焼結鉱の冷間強度の向上
3	スラグ量の減少
4	NO _x の減少



(鉄と鋼, 62 (1976), S56)

図8 生石灰添加による君津 3DL の操業

より、その生産性、品質向上その他多くのメリットが知られている。表4はこれをまとめたものである。この技術は、君津製鉄所においても行われることになり、弊社は、この焼結用生石灰の焼成と供給を行つた。すなわち、焼結原料用の -5 mm の細粒石灰石を原料とし、これを焼結炉のサイドにおいて流動焙焼によつて製造した。この流動焙焼炉の焼成能力は日産 800 t であり、この種の炉としては世界でも類例のない大型のものである。この炉の完成と、これよりさきに実行された新しいコークスの2段階分割添加技術とあいまつて、生産性の向上と品質アップ、さらに NO_x 低減も果たすことができた。図8は、生石灰添加による君津 3DL の操業結果を示している。

この成果は、その後我が国の多くの製鉄所において採用され、先の表2において示すように、昭和56年において、我が国の焼結用生石灰の供給量は実に1136千tまで急上昇している。また、写真7は、君津製鉄所の流動焙焼炉である。

6. ドロマイトクリンカーの製造

ドロマイトは、その耐火性、塩基性等の特性から、古くから製鋼用の耐火物原料として知られている。葛生産のドロマイトを原料として、ドロマイトクリンカーを製

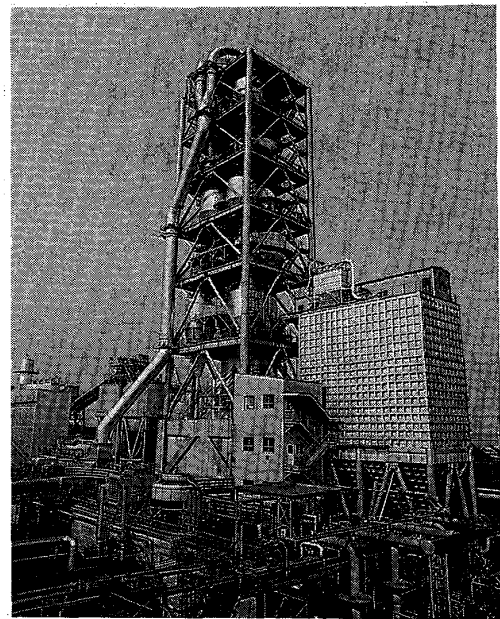


写真7 流動焙焼炉

表5 ドロマイト生産量並びに用途別出荷量

(千t, %)

	生産量	鉄 鋼	ガラス	石 灰	肥 料	その他	土 建
昭和45年	6 188	3 383 54%	315 5%	278 4%	342 5%	833 13%	1 134 19%
昭和59年	4 284	2 077 48%	301 7%	138 3%	254 6%	572 13%	1 013 23%

造している。当初、日本鋼管のトーマス転炉の炉壁保護材として供給した。その後、多くの技術改良によつて、ドロマイトレンが用、平炉、電気炉用のスタンプ材として使用されている。表5は、昭和45年と昭和59年度におけるドロマイトの生産量とその用途別出荷量を示している。鉄鋼市場の低迷により、その全出荷量は減少しているが、主流は鉄鋼関係であり、一方、土建関係の生コン用骨材の需要が急進している。

7. 海外製鉄所への技術協力

弊社のこれまでの石灰に関する一連の技術に対して、各製鉄所から評価をうけ、我が国の製鉄所が多く、外国の製鉄所へ技術協力する時、弊社も製鋼用石灰炉の設計、焼成、操業指導等の技術協力を行つている。すでに、日本ウジミナス製鉄所はじめ、韓国浦項製鉄所、ベネゼエラ製鉄所のほか、中国、上海宝山製鉄所等に技術協力し、その成果は大きく各製鉄所から評価をうけている。

8. 自社技術開発

弊社においては、石灰、ドロマイトを原料として、製鉄工業のみならず、各種化学工業原料、火力発電所の排煙脱硫用石灰石、農業用肥料として、粒状苦土カル肥料、

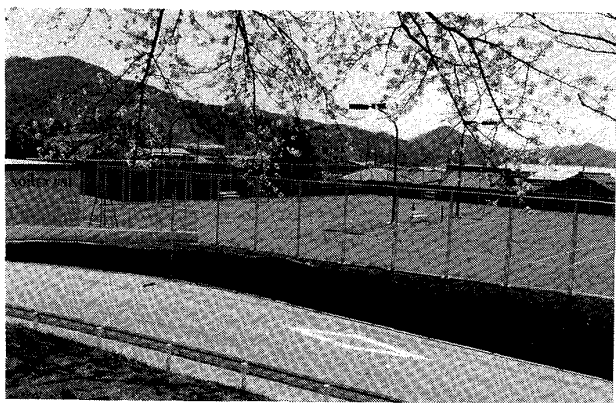


写真8 グランド材を用いたテニスコート

建築材料として現在最も市況が大きい ALC 用の硬焼石灰、グランド材、静的破碎剤等多くの自社技術の開発に取り組んでいる。写真8は、石灰石、ドロマイト等を水洗する時発生するマッドを活用して開発したグランド材である。粘土に着色し、また粒度調整することにより排水と保水性をよくし、降雨後、短時間にプレーができる新しいグランド材料を使用したテニスコートである。また写真9は、弊社で開発した静的破碎剤による施工現場のものである。この原理は、生石灰が水和して、消石灰に変化する時、その容積が約2倍に膨張することを利用した1種の破碎剤である。無騒音、無振動によつて岩石、コンクリートを破碎できるもので、都市再開発、原子炉の解体等で注目をあびているものである。この技術は、被破碎体に、穿孔し、この中に水と混合した静的破碎剤を充填することにより、充填後、30 min から 60 min で割岩できる新製品である。この製品に関して、弊社は、昭和 58 年 7 月、建設大臣より評価書を授与されている。



写真9 静的破碎剤による転石の破碎

9. 結 び

最後に、私は、昭和 55 年 5 月より昭和 61 年 5 月まで、日本石灰協会の会長に就任いたしました。この業界の需要の大部分は、鉄鋼用に占められております。よつて、本日の栄えある浅田賞の受賞に対しては、石灰業界を代表して御礼を申し上げるしだいであります。

さて、今日、我々の周辺は、大きな変化が起こつていると考えられます。製鋼技術の進歩と共に石灰の原単位は著しく低下しており、また鉄鋼業界も国際的に著しく大きい制約下にあります。したがつて、石灰類の品質は申すにおよばず、価格の面でも新たな変化があります。石灰業界としては、このような厳しい環境を十分認識し、このような変化に適切にかつ、積極的に対応すべき使命と責任を痛感しております。日本鉄鋼協会各位の御指導を切に御願ひ申し上げるしだいであります。