

(技術資料)

新鉄源プロセスの開発

Development of New Iron Making Processes



原田孝夫*
Takao Harada



津下 修*
Osamu Tsuge



田中英年*
Hidetoshi Tanaka



小林 勲*
Isao Kobayashi



上村 宏**
Hiroshi Uemura

Kobe Steel, along with Midrex Technologies, is a world leader in direct reduction (DR) technologies. Kobe Steel developed a coal based DR process, which utilizes non coking coal as a reductant instead of natural gas, to expand our market share into the coal based iron making field. FASTMET, FASTMELT and ITmk3 are three coal-based processes that do not require expensive coke, fired pellets and lump ore to respectively produce DRI, hot metal and iron nuggets. These processes are currently being used commercially or about to be.

まえがき = 当社は、Midrex®法による直接還元製鉄プラントを国営のカタール製鉄所に納入した(1978年生産開始)のを皮切りに、還元製鉄プラントのビジネスを開始した。同法は天然ガスを改質して得たCOとH₂を使って、シャフト炉内で酸化鉄ペレットや塊状の鉄鉱石を還元し、還元鉄(DRI)を製造するもので、現在世界の直接還元鉄の約64%が同法によって製造されている(図1)。当社は1983年にMidrex社を買収し、還元鉄プラントの販売力を強化した。その後、天然ガスの代わりに石炭を使って還元鉄を製造するプロセスの開発を行っており、現在当社はプラントの販売と新規還元製鉄プロセスの開発において世界をリードしている。

直接還元製鉄プラントは高炉のように大規模な設備投資が不要で、コークスも必要としないため、天然ガスを産出する発展途上国を中心に、製鉄所の鉄源プラントとして建設されてきた。近年米国など先進国においても、スクラップ代替の清浄鉄源として還元鉄の需要が高まっている。従来の高炉法による鉄鋼の生産量の伸びが全世界で年率数%であるのに対して、直接還元鉄法による生産量は1970~2003年の間に約80万トン/年から約5000

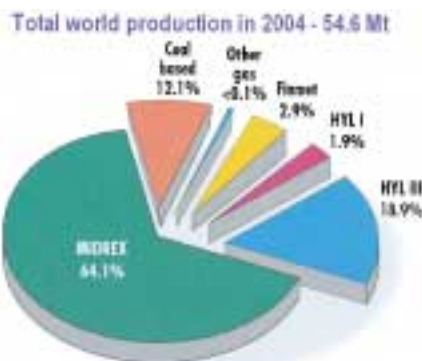


図1 直接還元製鉄におけるミドレックス法のシェア
Fig. 1 World DRI production by process

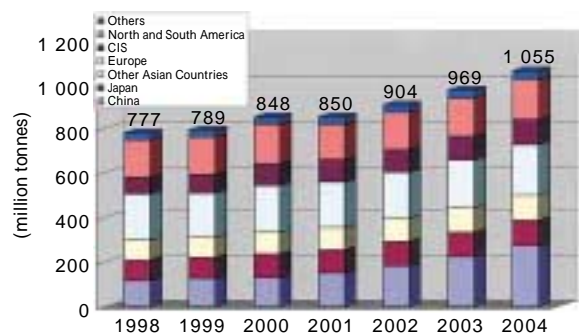


図2 世界の粗鋼生産量の伸び
Fig. 2 World crude steel production

万トン/年と、60倍以上増加している。

近年は、特に中国における鉄鋼消費量の高まりによる世界的な鉄鋼需要の増大から(図2)、還元鉄の取引価格が上昇するとともに(図3)、プラント建設に対する要望も高まっており、各所で新規プラントの建設が計画・実行されている。

1. Midrex 法

図4にMidrex法の標準的なフローを示す¹⁾。また写真1にミドレックスDRプラントの外観を示す。上市後も技術開発を重ね、天然ガス原単位の低減、多様な原料への対応、還元反応の高温化、改質触媒の性能向上、プラントの大型化、海上輸送を可能にする還元鉄のブリケット化などを行ってきた。近年、さらに下記のような技術改良を実施した。

1.1 酸素インジェクション&部分燃焼法(図5)

還元ガス中に酸素を吹込んで部分燃焼させ、還元ガスの温度を上昇させることにより、シャフト炉内の還元反応速度を高める方法である。10の還元ガス温度上昇で生産性が約1.5~2%増加する。工場に余剰酸素がある場合、改質炉の増設なしで既設設備の生産量の増加が可

*新鉄源プロジェクト本部 プロセス技術部 **新鉄源プロジェクト本部 プロジェクト部

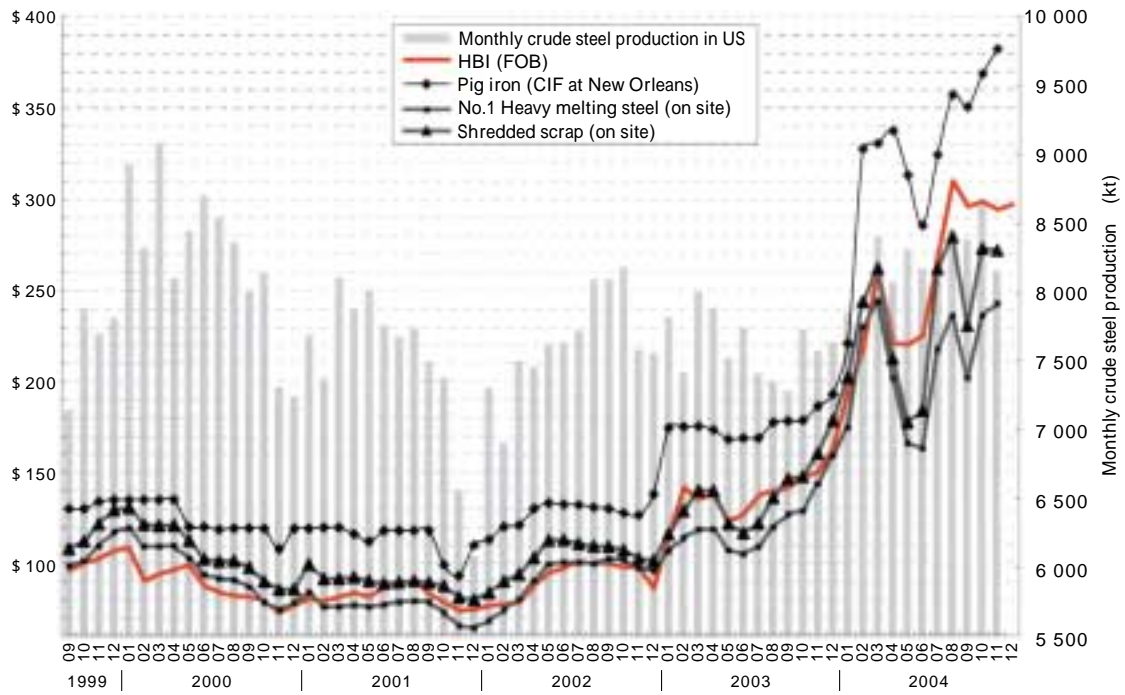


図3 スクラップとHBI 価格の動き
 Fig. 3 Market price of scrap and HBI

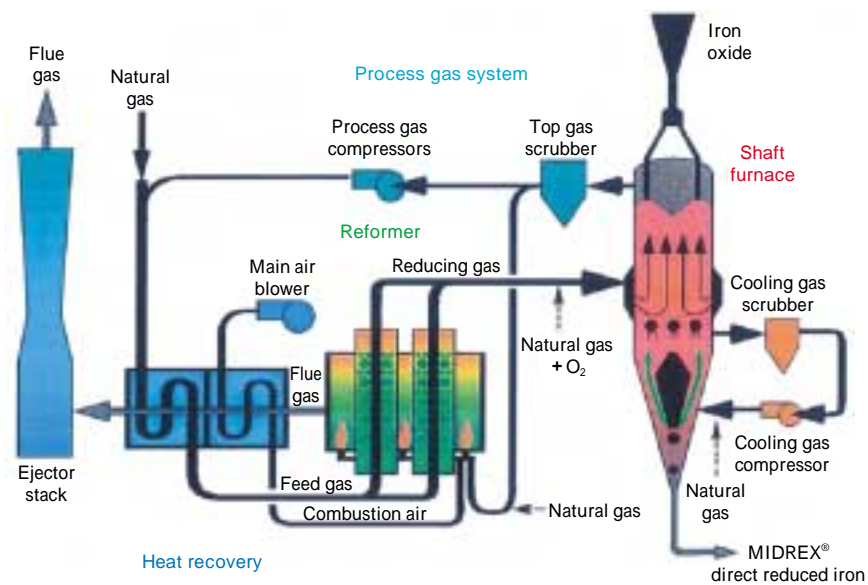


図4 スタンダード Midrex プロセスのフロー
 Fig. 4 Standard midrex process flowsheet



写真1 ミドレックス DR プラント
 Photo 1 Midrex DR plant

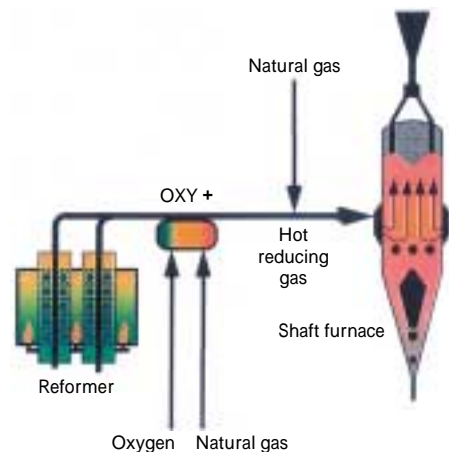


図5 酸素インジェクション&部分燃焼法
 Fig. 5 Schematic of Midrex OXY+

能となる。また、新設の場合は改質炉の小型化が可能となる。本法のさらなる発展形が部分燃焼法(OXY[®]パーナ法²⁾)である。天然ガスを酸素で部分燃焼させることにより還元ガスを製造し、改質炉の負荷を下げることが可能となる。

1.2 電気炉への熱間装入によるエネルギー原単位の低減

これまで還元鉄は一旦冷却・貯蔵されて電気炉に装入される方法が一般的であった。この冷却により捨てられていた顕熱を有効利用する方法として、電気炉へ還元鉄を冷却せずに熱間装入する技術が考案された。シャフト炉下部からホットコンベヤで電気炉へ還元鉄を輸送する技術、シャフト炉の位置を上げて重力により直接電気炉に装入する技術が開発され、それぞれの技術を採用したプラントが現在建設中である。

1.3 電気炉と Midrex プラント相互の柔軟な運転を可能にする COMBO プラント

これまでの Midrex プラントでは、Cold DRI (所内電気炉用還元鉄) と HBI (Hot Briquetted Iron, 外販用還元鉄) の製造は別の設備として取扱われていたが(写真2)、どちらにも変更が可能で操業と経営の柔軟性をもたせるように考案されたのが HBI/DRI COMBO プラントである。現在カタールにて採用され、建設中である。

Midrex 法は市場の要求に従って技術改良を重ね、そのアプリケーションを増やしてきており^{注1)}、今後も還元鉄市場で中心的な役割を担っていくプロセスである。

2. FASTMET[®] / FASTMELT[®] 法

Midrex 法は還元ガスを得るのに天然ガスを使用するため、プラントの建設は天然ガスが安価に入手できる場所に限られる。還元鉄プラントを世界中の多くの地域に建設するには、安価で埋蔵量が多く、広範に分布している石炭によるプロセスが必要である。さらに、地下資源の有効な活用と地球環境を考慮すると、原料炭やコークスを必要としないプロセスが望まれる。

当社は上記観点より、粉鉱石と一般炭^{注2)}を使って還元



写真2 DRI と HBI
Photo 2 DRI and HBI

鉄を製造するプロセス (FASTMET 法) を Midrex 社と共同で開発した。

2.1 FASTMET 法

FASTMET 法では、粉鉱石と微粉碎した石炭(粉石炭)を混合後ペレット又はブリケットに塊成化し、RHF(回転炉床炉)の炉床上に1~2層になるよう供給する。炉に供給されたペレット/ブリケットは、最高1350の高温で急速に加熱・還元され、6~12分の滞留時間で還元鉄となって炉外に排出される(図6)。還元反応によってペレット/ブリケットから発生したCOガスはRHFでの燃料として利用できるため、パーナでの燃料の削減に大きく役立つ。

FASTMET 法の実証を行うため、当社の加古川製鉄所に年産2万トンの実証プラントを建設し、1985年12月から約3年間プロセスの実証を行った。一方、製鉄所の製造工程で発生する製鉄所ガスの処理を行うプロセスの開発が緊急の課題となったが、FASTMET 法では1300

以上の高温で還元を行うため、製鉄ガスに含まれる亜鉛や鉛などの重金属は揮発除去され、重金属を含まない還元鉄となる。また、還元炉で揮発した成分は排ガスの気流中で酸化し、有価な粗酸化亜鉛として回収するこ

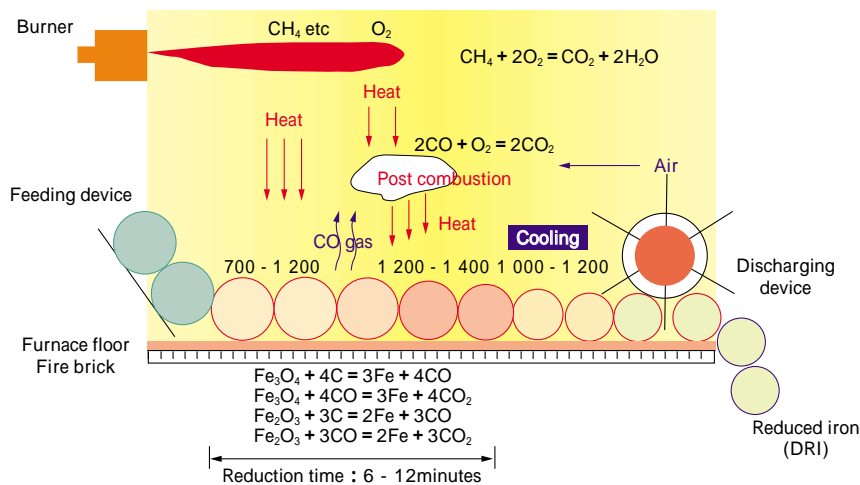


図6 RHFにおける還元反応
Fig. 6 Reduction in RHF

脚注1)

還元ガスの製造に石炭ガス化装置を使用することも検討している。

脚注2)

FASTMET/FASTMELT 法では、原料炭に限らず固定炭素を含有する多種の炭材が還元剤として使用できる。



写真3 FASTMET 商業プラント
Photo 3 FASTMET commercial plant

表1 乾燥ペレットとDRIの化学性状
Table 1 Chemical composition of dry ball and DRI
(Unit : wt%)

	T. Fe	M. Fe	FeO	C	S	Zn
Dry ball	58.70	17.10	36.60	11.90	0.17	0.75
DRI	82.20	74.20	7.40	3.30	0.23	0.05

とができる。

当社は2000年に、新日鐵広畑製鉄所向けに190,000トンの製鉄ダストをリサイクルするプラントとして商業1号機を納入した(写真3)。表1に乾燥ペレットとDRIの化学性状を示す。現在までに自社加古川製鉄所内のものを含め3機の商業機が稼働している。

2.2 FASTMELT 法

石炭を使って製造する還元鉄には、石炭中の灰分と硫黄分が移行するという問題がある。この問題を克服するために開発したプロセスがFASTMELT法である(図7)。同法は、FASTMET法で製造した還元鉄を高温のまま溶解炉で溶解し、溶銑とスラグに分離するとともに脱硫も行う。溶解炉から発生するガスはCOを主成分とするため、RHFの燃料ガスとして使用することができる。

溶解のエネルギー源としては電気または石炭が使用可能で、プラントの立地状況に応じてエネルギー源を選定できる。石炭を使って溶解する場合は溶解炉から発生する排ガス量が多くなるため、プラント全体で天然ガスなど外部燃料ガスが不要なプロセスになる。

FASTMELTプラント商業機の溶銑生産量は、1基あたり年産50万トン程度である。同プラントは溶銑が製造できるため、電気炉製鋼を行っているミニミルへの鉄源供給のほか、大型の高炉一環製鉄所での増産用として建設が期待される。

近年塊鉱石や原料炭の価格高騰が問題になる中、粉鉱石と一般炭だけで還元鉄や溶銑の製造が可能なFASTMET法とFASTMELT法は、21世紀の鉄源製造法として期待される。

3. ITmk3[®] 法

ITmk3は粉鉱石と粉石炭からスラグ分を分離した「粒鉄」を直接製造するプロセスである。現在の製鉄の主流である高炉-転炉法を第1世代、Midrex法に代表される直接製鉄法を第2世代とすると、ITmk3は炭材内装技術を駆使した従来とは全く異なるコンセプトのもとに開発した第3世代の製鉄法と位置づけられる⁴⁾。

1996年に開発に着手し、加古川製鉄所のパイロットプラント試験でプロセスコンセプトを検証した後、米国に年産25,000トンの実証プラントを建設し、2004年に実証試験を終えた(写真4)。現在、米国で年産50万トンの商業機の計画が進んでいる。

3.1 プロセス原理

炭材内装ペレットを1,350~1,450℃に加熱することに



写真4 実証プラントの還元溶融炉
Photo 4 RHF in demonstration plant of ITmk3

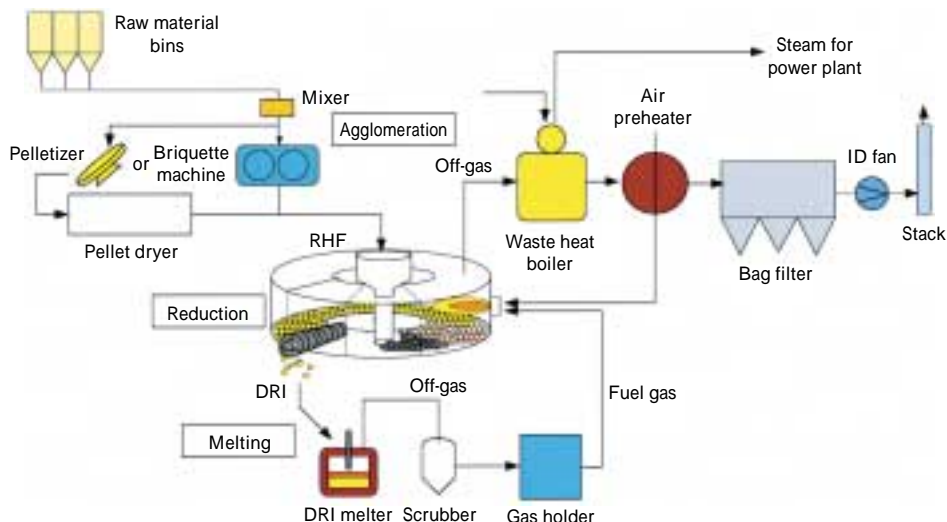


図7 FASTMELT プロセス

Fig. 7 FASTMELT process flowsheet

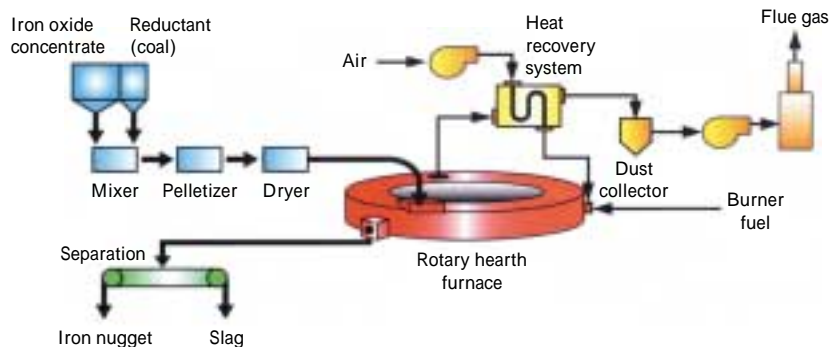


図 8 ITmk3 プロセス
Fig. 8 ITmk3 process flowsheet



写真 5 製品粒鉄 (ナゲット)
Photo 5 ITmk3 product "Iron nuggets"

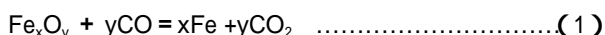
表 2 製品粒鉄の化学組成

Table 2 Chemical analysis of iron nuggets

Item	Content (%)
M. Fe	97.0
C	2.0 - 2.5
P	0.01 - 0.02
S	0.07 - 0.11

ITmk3 はコークスが不要で、一般炭や低品位鉱など多様な原料を扱うことを可能とした、シンプルで環境にやさしい製鉄法である。代表的な粒鉄の外観を写真 5、品質を表 2 に示す。良好な鉄源を安価に供給することにより、転炉、電気炉などの製鋼工程で、生産性、原単位、品質の向上に寄与することが期待される。

より、次の反応が進行する。



これらの一連の反応は約 10 分で完了し、鉄とスラグは明瞭に分離される。

3.2 プロセスフローと展望

この原理を工業化したプロセスは下記のとおりであり、そのプロセスフローを図 8 に示す。

原料粉鉱石と粉石炭から炭材内装ペレットに造粒する。

ペレットを回転炉床炉に装入して 1 350 から 1 450 まで加熱、還元・溶融して鉄とスラグに分離する。

炉内で溶融鉄を粒状に凝集させ、冷却後に排出して粒鉄とスラグに分離する。

むすび = 直接還元製鉄法は原料性状に対する制限が少なく、エネルギー消費の点においても優れているため、地球資源と環境の問題が重要視されるなか、同法に対する期待は今後ますます高まることが予想される。製鉄産業の持続的な発展と地球環境の調和の両立に貢献できるよう、継続的な技術開発に努めて、直接還元製鉄プラントを供給していきたい。

参考文献

- 1) A. R. Elliot: DIRECT FROM MIDREX 3rd Quarter 2004, p.8.
- 2) R. M. Klawonn et al.: DIRECT FROM MIDREX 4th Quarter 2002, p.3.
- 3) 原田孝夫ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.51, No.2(2001) p.23.
- 4) 田中英年ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.52, No.3(2002) p.113.