

高品質・高効率・低環境負荷を同時実現する 次世代製鋼プロセスの開発

New-Generation Technologies for the High-Quality, High-Efficiency and
Environment-Friendly Steelmaking Process

住友金属工業株式会社

1. 研究開発の背景と目標

弊社では、『高品質・高効率・低環境負荷を同時実現する次世代製鋼プロセス』の開発を行い和歌山製鉄所に新製鋼工場を建設し、1999 年より稼動している。本報告はその技術開発に関するものである。

(1) 高品質化へのニーズ

世界のエネルギー需要拡大に対応して、化石燃料資源は海底・地下深くの油井から採取・輸送する必要性が近年高まっている。世界の大規模な石油・天然ガス開発プロジェクト案件を図 1 に示すが、過酷な環境にある油井開発プロジェクトが活発化し、深海や深井戸、さらには高腐食環境も開発対象となっているのが特徴である（図 1）。

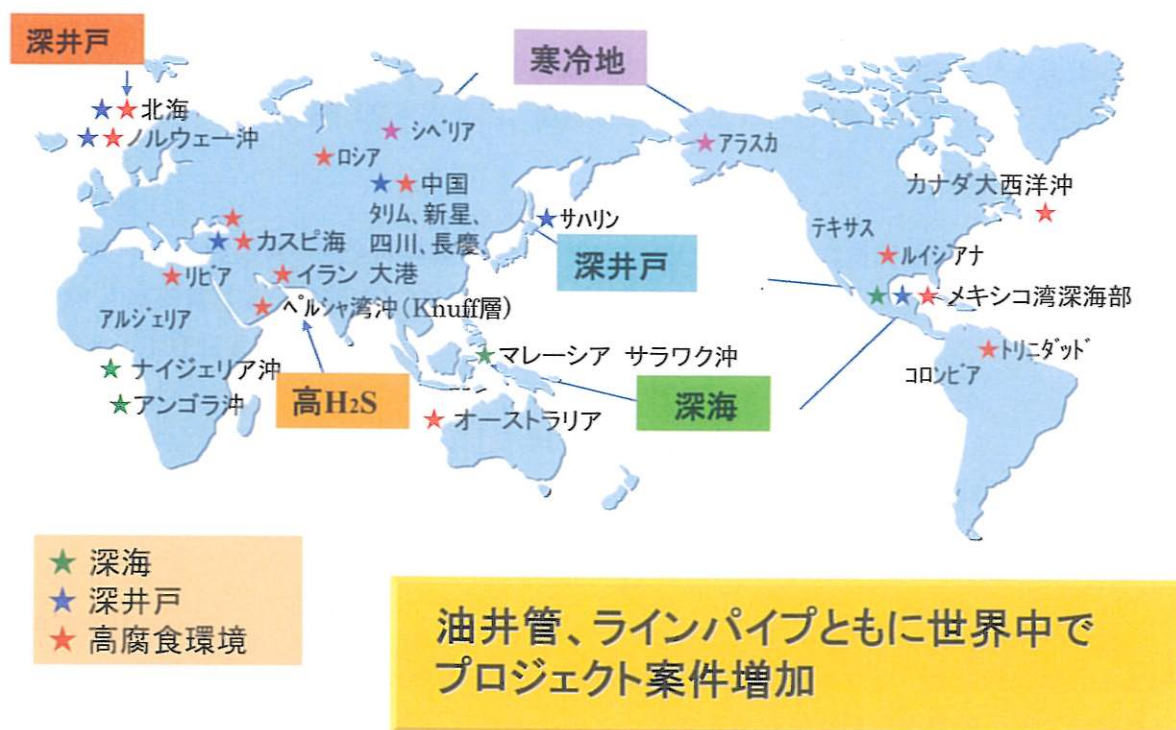


図 1 世界の大規模な石油・天然ガス開発プロジェクト案件

これらの油井開発の全体像の1例として海上からのオイルやガス採取の概念図を図2に示す。海底から原油や天然ガスを掘り出す場合は海上に設置したプラットフォームより大規模な掘削が行われる。海上のプラットフォームの下に、海底の井戸元があり、さらに地下深くの油井やガス井戸から油井管を介して汲み上げが行われている。この井戸元からプラットフォームや積出船への輸送にはラインパイプが使用されている。油田の掘削方法と構造を詳細に示したのが図3である。地表、あるいは海底から通常 2000m～4000m 以上の地下に存在している油やガスの地層まで井戸の外壁としてケーシングを用い、ケーシングの中のチュービングと呼ばれるパイプを用いて油、ガスなどの生産流体を汲み上げている。油井管はケーシングとチュービングの2種類に大別され、特に深井戸の石油・天然ガス層に触れるケーシングは高強度かつ、硫化水素ガス等に対する耐腐食性を持つ最高級の性能、品質が要求される。これらの要求品質を満足するには、極低磷濃度、極低硫濃度という鋼の高純度化が重要である。

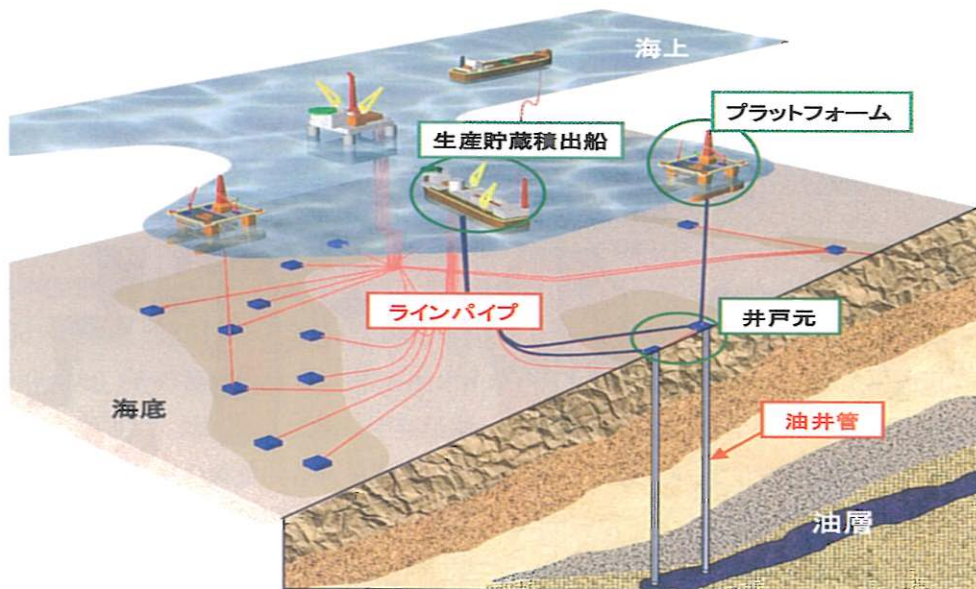


図2 油井開発の模式図

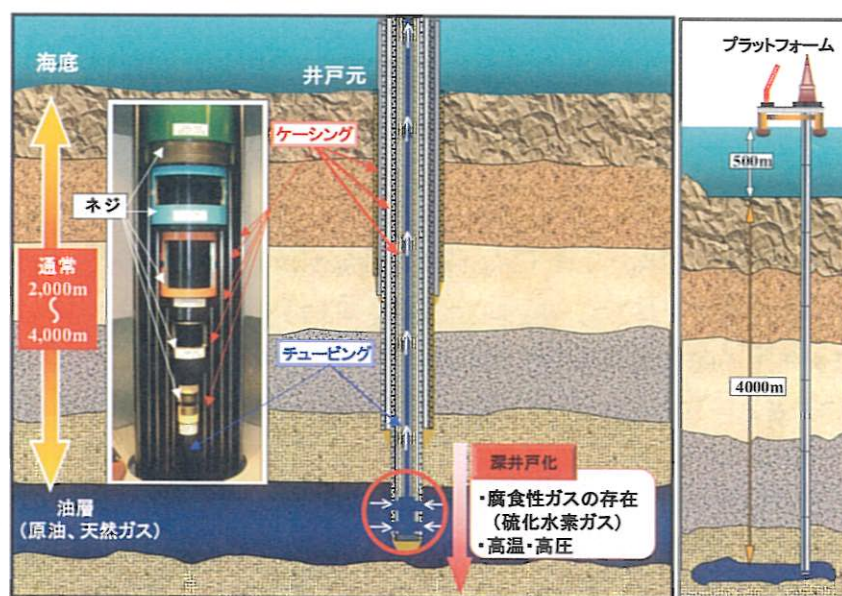


図3 油井の掘削例

(2) 鋼の製造プロセス

高炉一貫メーカーにおける汎用鋼の製造方法について図4に基づき説明する。まず、鉄鋼原料である鉄鉱石（鉄酸化物）が高炉内でコークス（炭素）により還元され、炭素濃度 4mass%程度の溶鉄（溶銑）が製造される。この過程で鉄鋼原料に含まれる不純物が鉄中に混入するため、溶銑中の磷濃度は 0.1mass%、硫黄濃度は 0.035mass%と高くなっている。この溶銑はトーチカーと呼ばれる搬送容器によって製鋼工場へ輸送される。輸送された溶銑は転炉と呼ばれる反応容器に装入される。転炉内の溶銑には上吹きランスから純酸素ガスを超音速で吹き付けられ、炭素が一酸化炭素ガスとして除去されて溶銑は炭素濃度 0.1mass%程度の溶鋼となる。この炭素除去処理と同時に転炉内に生石灰が投入され、溶銑中の不純物である磷と硫黄がそれぞれ 0.04mass%、0.03mass%にまで除去される。この過程で投入された生石灰は溶融化したスラグとなる。転炉工程を経た後の溶鋼は、用途に応じて真空精錬炉で水素や窒素や酸素のガス成分を除去され、合金等を添加して目標成分に調整される。その後、連続鑄造装置によって様々な形状に凝固させ、鉄鋼半製品が製造される。

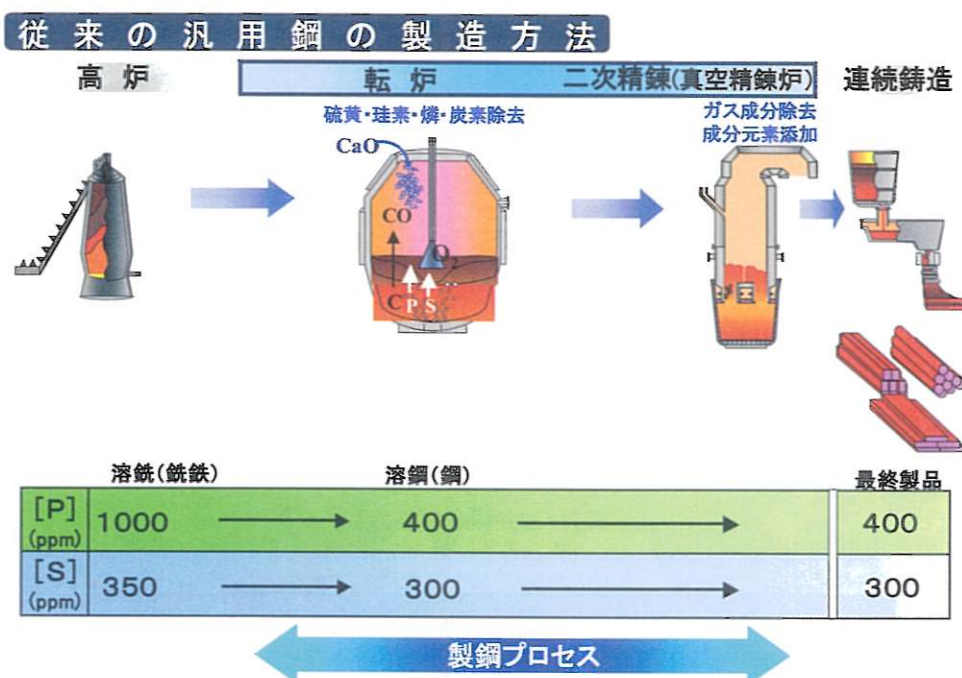


図4 従来の汎用鋼の製造方法（当社の例）

以上述べた汎用鋼の製造方法では、油井管などのシームレス鋼管に要求される高純度な高級鋼を製造することができない。そのため、従来は汎用鋼の製造方法に複数の工程を付加して、高級鋼を製造していた（図5）。すなわち、予備的に硫黄・珪素・磷を除去する工程を転炉処理の前に加え、また、転炉処理の後に硫黄除去工程を加えるものである。これにより磷は転炉処理前に 0.04mass%まで除去され、さらに転炉での処理により最終的に 0.015mass%の磷濃度が得られる。また、硫黄も転炉処理前に 0.005mass%まで除去され、さらに転炉処理後の硫黄除去工程で最終的に 0.001mass%の硫黄濃度が得られる。この従来の高級鋼製造方法は複雑で多数の工程が追加されるため、高級鋼の生産量を拡大する場合の高効率化に大きな問題を残していた。また、エネルギーと資源を大量に消費するプロセスとなっており、CO₂ ガス抑制に代表される低環境負荷の実現にも課題があった。

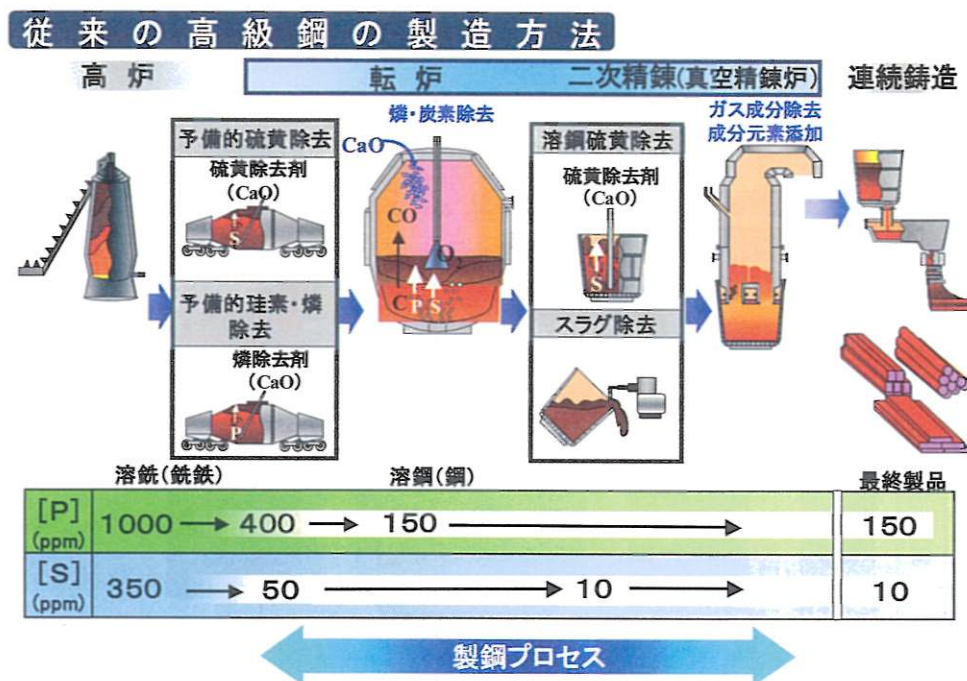


図5 従来の高級鋼の製造方法（当社の例）

（3）日本鉄鋼業の状況

わが国の鉄鋼業は図6に示すように、1960年代から1970年代に渡る高度成長期に生産量が拡大し、最盛期を迎えた。その後、1973年の第一次オイルショック、1980年代の円高不況等による鉄鋼需要の伸び悩みに直面し、量的拡大に頼らず高級鋼へのシフトにより競争力を維持してきた。高級化、高純度化の例として鋼中の燐濃度と硫黄濃度の推移を図中に示すが、製品の要求性能の厳格化とともに、これらの不純物元素濃度の低減が進行してきた。しかし、そのためにプロセスが複雑化し、全体的な生産性の低下がコストの上昇を招くという問題があった。さらに、高級鋼生産量の拡大も困難な状況にあった。

一方、M&Aの活発化や中国に代表される中進国の台頭により、グローバル市場でのコスト競争とシェア競争がともに激化しており、生産コストの削減による競争力維持が急務となっていた。さらに、京都議定書に代表されるCO₂削減、エネルギー消費抑制、省資源化などの環境保全に関わる社会的ニーズが急速に高まり、低環境負荷を実現するための根本的な解決策が求められていた。

（4）当社の対応

世界的にエネルギー需要が拡大し、化石燃料を海底・地下深くの油井から採取・輸送するための鋼材（油井管・ラインパイプ）に一層の高品質・高強度・高耐食性能が求められ、より高純度な低燐・低硫鋼を安定して溶製する必要があることを予測し、高級鋼に対応した新製鋼プロセスを開発した。そして、中国の急成長等によりエネルギー枯渇問題がますますクローズアップされてきた20世紀末の1999年、日本の鉄鋼業にとり最も厳しい環境ではあったが、開発技術に確信を持った当社は、シームレスパイプの拠点である和歌山製鉄所に開発プロセスを理想的に実現できる新製鋼工場を日本では20年ぶりに建設した。その結果、鋼の高純度化が要求される超高機能シームレスパイプを安定的に供給することが可能となり、社会に貢献するとともに高品質・高効率・低環境負荷を同時実現する製鋼プロセスを作り上げた。

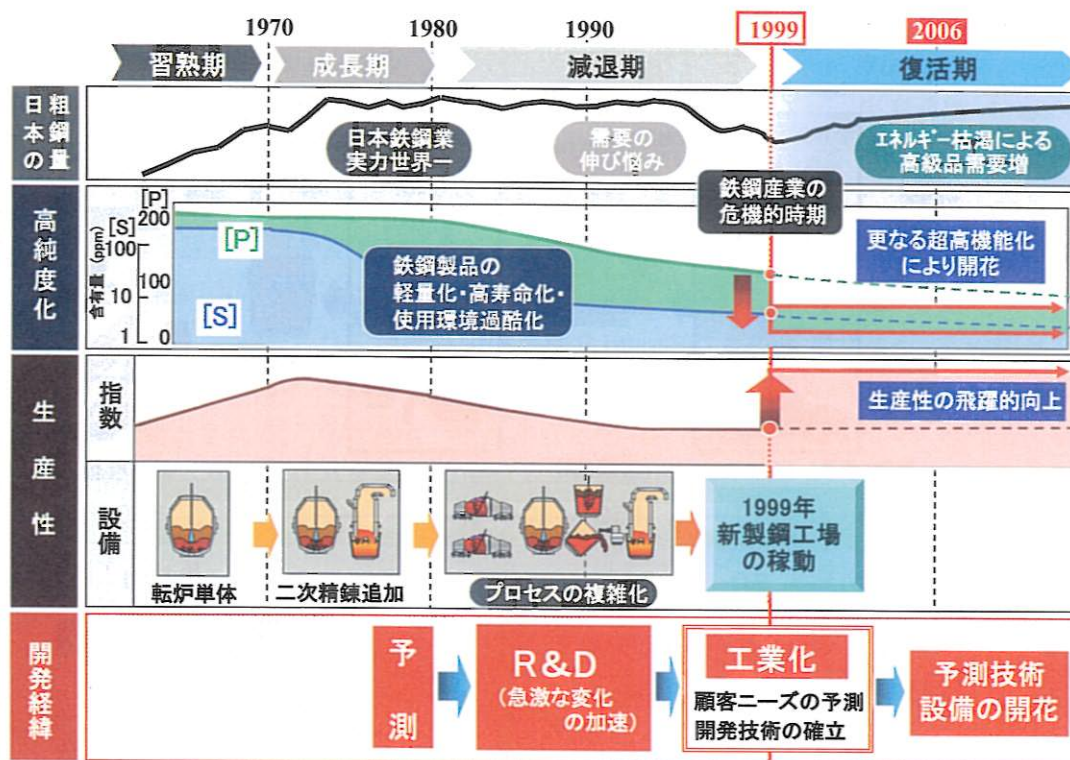


図6 開発の背景

(5) 研究開発の目標

本開発の目標とそれに対応する技術開発内容は以下のとおりである。

1) 向流精錬法による高品質・高能率・環境保全の同時実現

- ①一次精錬プロセスにおいて、世界初の上底吹型転炉二基による『向流精錬法』で脱磷と脱炭へ機能を分割することにより高品質鋼（低磷濃度鋼）製造と高効率生産を両立させた。
- ②同時に、機能分割した脱炭プロセスで独自のランス技術開発により世界最高速度での精錬処理を実現した。
- ③上記の高能率生産により、CO₂削減・省エネを達成するとともに、スラグの大幅な削減を可能にした。

2) 多機能二次精錬法によるユーザーニーズへの対応

- ①二次精錬プロセスにおいて、真空中脱ガス法であるRHに独自開発の『真空中粉体上吹き法』適用した多機能二次精錬法を考案し、二次精錬プロセスの二大機能である脱ガスと脱硫とを統合することにより省エネと高品質な低硫黄濃度鋼の量産を両立させた。

3) 新製鋼工場による開発技術の能力の最大化

- ①『向流精錬法』と『多機能二次精錬法』の高効率生産・環境保全能力を最大限に引き出す画期的な設備配置を採用し、CO₂排出量の大幅な低減とともにスラグの大幅な削減を実現した。

2. 研究開発の経過

(1) 向流精錬技術－1（上底吹転炉型脱磷技術）

上底吹転炉型磷除去技術については、1980年代前半より研究所での小規模な基礎実験を開始し、その後の研究所での中規模実験にて磷除去能力を確認し、実転炉を用いた大規模パイロットテストで有効性を確認した。その後、実機操業において磷除去の効率・速度を向上させる技術開発を継続し、向流精錬の能力拡大を図った。

(2) 向流精錬技術－2（高速脱炭技術）

高速炭素除去技術は1980年代後半に水モデル実験と試験転炉実験により上吹きランスから噴射されるジェットとそれに誘起される液滴粒の飛散挙動の基礎調査から得た交互異傾斜角ランスを開発し、実機転炉テストで効果確認後に実用化した。さらに、1990年代前半からランス性能向上のための研究を行い、試験転炉にて交互異傾斜角・交互異径ランスを開発した。一層の溶鉄粒飛散抑制効果を確認後、実機転炉で高速炭素除去操業の実証試験と適用拡大を図った。

(3) 多機能二次精錬技術（真空下粉体上吹き技術）

多機能二次精錬技術のベースとなる真空下粉体上吹き技術は1980年前後から基礎実験を開始し、大型パイロット試験により脱硫反応などの精錬機能を確認後、実機RHで効果を確認した。引き続き実操業にて効果・操業性改善の技術開発を行った。

(4) 最適レイアウト技術

本開発の向流精錬技術および多機能二次精錬技術の高効率性能を最大限に発揮する最適レイアウトを1990年代前半から検討開始し、1996年から始まる新製鋼工場建設に反映した。

以上の技術を盛り込んだ新製鋼工場を1999年4月から稼動・操業開始し、操業技術開発を継続した結果、高級品比率の増加に関わらず世界最高能率を維持し、環境負荷を大幅に低減する技術の実用化に成功した。

3. 研究開発の内容と特徴

これらの背景に対応するためには従来型の製造技術では限界があるとの基本認識に立ち、鋼材製造の中核である製鋼プロセス技術を抜本的に見直し、国際競争力を確保し、かつ高級化するユーザーニーズに対応可能で、さらに環境負荷低減可能な次世代製鋼プロセスの開発を行った。その内容は以下のとおりである。

(1) シンプル精錬技術の開発

本開発は向流精錬法と多機能二次精錬法から構成される独自開発の革新的製鋼プロセスであるSRP法（Simple Refining Process）に基づくものであり、その特徴を従来法と比較して図7に示す。

従来法のプロセスは磷・炭素を除去する転炉とガス成分を除去する真空処理（RH）の基本工程に加えて、転炉処理の前に非効率な予備的な磷除去処理、後に大気圧下での硫黄除去処理を加えた複雑なプロセスで高純度な高級鋼を製造していた。そのため、プロセスの複雑化、環境負荷の増加、顧客ニーズの高級化への対応力が不十分という問題があった。

それに対し、開発法のプロセスでは、転炉機能を炭素除去と磷除去に分離した“向流精錬法”を開

発し、さらに、硫黄除去とガス成分除去を機能統合した“多機能二次精錬法”を開発することにより、高品質・高効率・低環境負荷を同時実現する次世代製鋼プロセスを実現した。

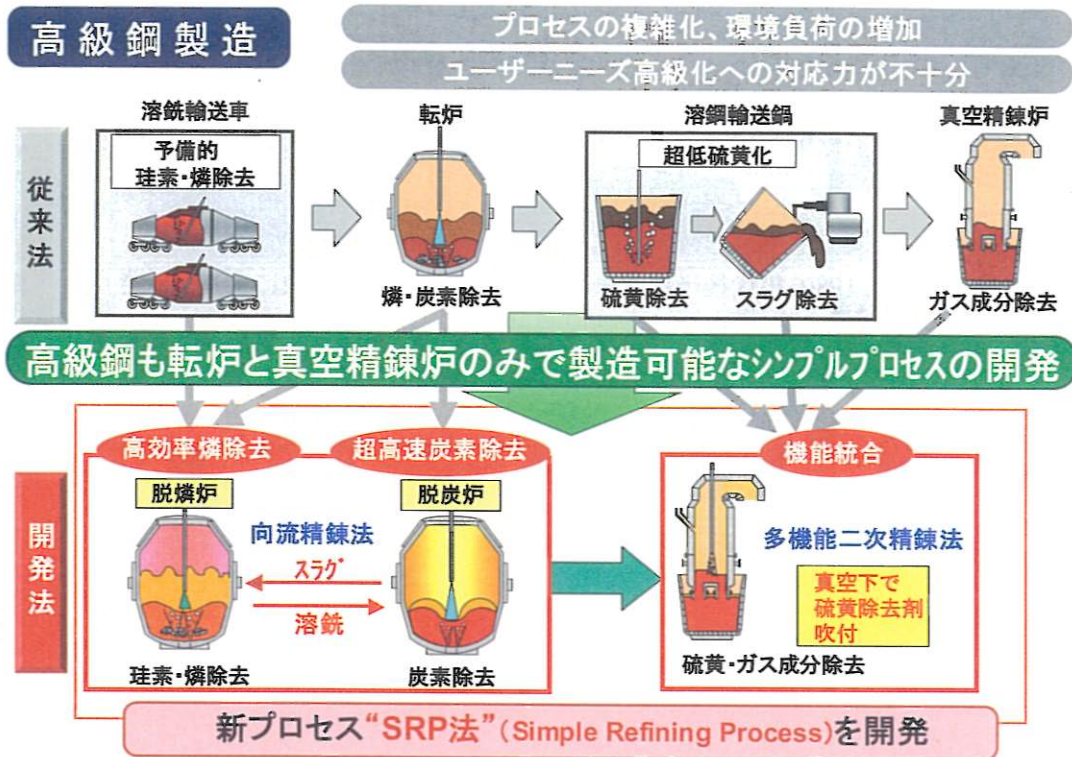


図7 従来法の問題点と開発法の特徴

1) 向流精錬技術の開発－1（上底吹転炉型燐除去技術）

低燐鋼を製造する一般的な従来法では、転炉処理の前に溶鉄輸送車内で予備的に燐除去を実施する。具体的にはトーピードカーと呼ばれる溶鉄輸送容器を精錬容器に流用し、溶鉄中に燐除去剤を吹き込む方法であるが、容器内空間が小さく溶融化した燐除去剤が横溢するために攪拌力を高めることができず、①処理時間が極めて長く、②到達燐濃度が高い、という問題があった（図8）。

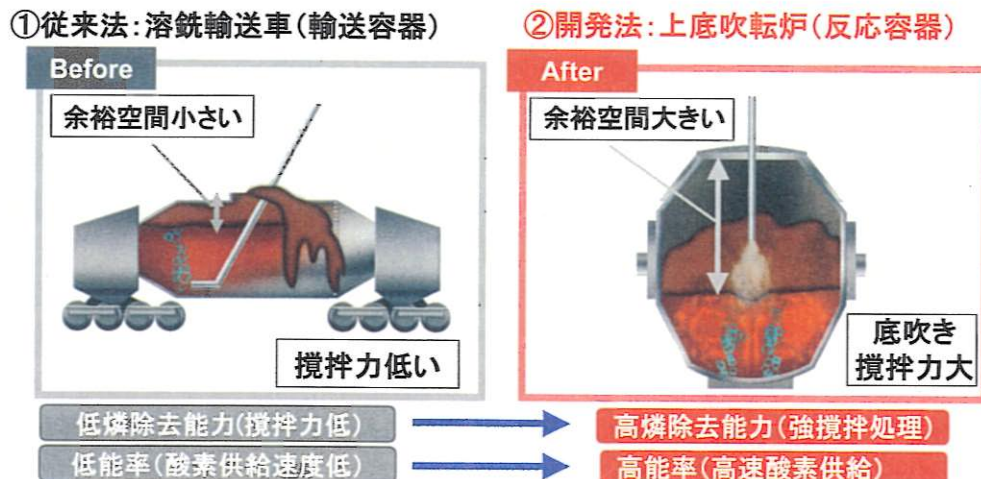


図8 従来の燐除去方法と開発法の比較

開発した向流精錬法は、磷除去と炭素除去の処理を分離して二基の転炉で分割処理し、さらに、溶鉄と精錬剤に対して向流反応操作を行うという画期的な方法である。磷除去処理をする脱磷炉では余裕空間と底吹き攪拌力が大きいいため理想的な条件での処理が可能となり、その結果として極低磷濃度化と磷除去剤使用量低減が同時に実現する。引き続き炭素除去処理では、脱磷処理の必要がないために磷除去剤使用量の最小化が可能となり、酸素供給速度の向上（すなわち、脱炭処理時間の短縮）が実現する。さらに、脱炭炉で使用した熔融精錬剤を脱磷炉で再利用するため、一層の磷除去剤使用量低減が可能である。

開発法の磷除去速度は従来法と比較した結果を図9に示すが、溶銑輸送車方式であるトビードカーの10倍となり、到達磷濃度も飛躍的に低減できることがわかる。これは開発法が底吹きガスにより攪拌力を強くすることができ、さらに磷除去反応に好適な条件を上吹き酸素ガスにより形成できるためである。

この長所を限界まで追求するため、脱磷炉の底吹き攪拌力を3倍化することにより反応効率を向上させ、さらに専用の上吹きノズルの開発でスラグ組成の適正化を図った。その結果、到達磷濃度は安定的に100massppm以下を得ることが可能となった（図10）。

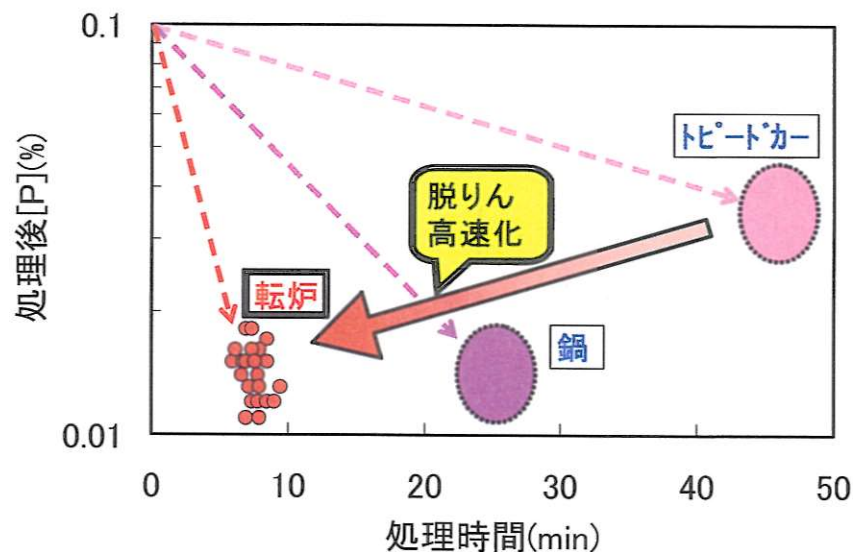


図9 従来の磷除去方法と開発法の比較（当社の例）

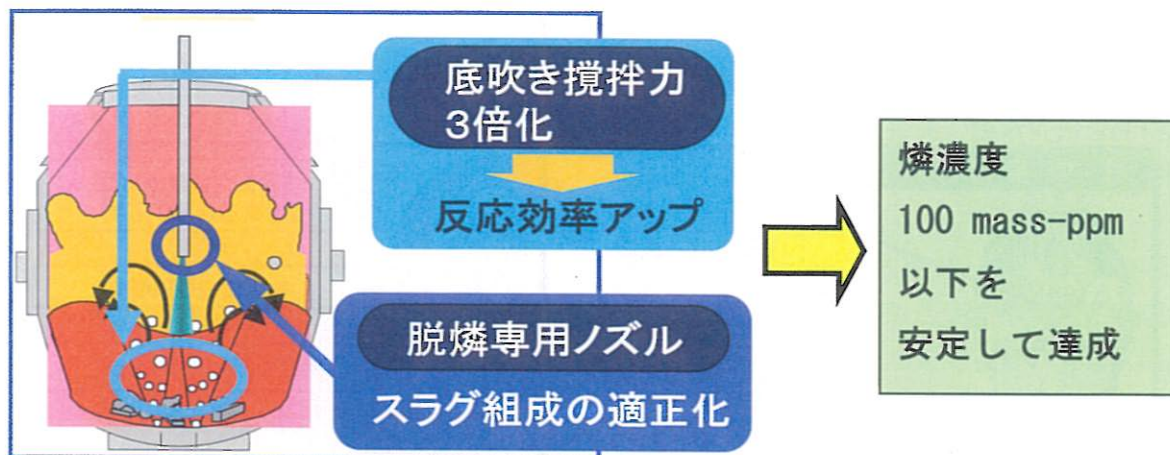


図10 脱磷炉機能向上のための対策

2) 向流精錬技術の開発－2（世界最高速炭素除去技術）

転炉における炭素除去処理は製鋼全体の生産性に大きく影響する工程であるため、炭素除去に利用される酸素を高速度で供給する必要がある。従来法では、転炉前工程での予備的な磷除去処理の能力が低く、転炉においても磷除去処理が要求されていた。開発法では、脱磷炉で製品要求レベルまで磷濃度が低下するので、脱炭炉では磷除去剤の溶融横溢がなくなり酸素供給速度の増加が可能となった。

しかし、脱炭炉での精錬剤使用量が低減したことにより、脱炭内で吹き付けられる超音速ジェットの酸素ガスが衝突面である溶鉄表面で多量の微細な溶鉄粒を飛散させるという新たな課題に直面した。これらの微細な溶鉄粒はノズルあるいは炉口付近に付着後に凝固堆積し、堆積物はノズルの出し入れや溶銑・スクラップの装入を阻害するため、除去作業が必要となって操業能率を低下させてしまう（図 11）。

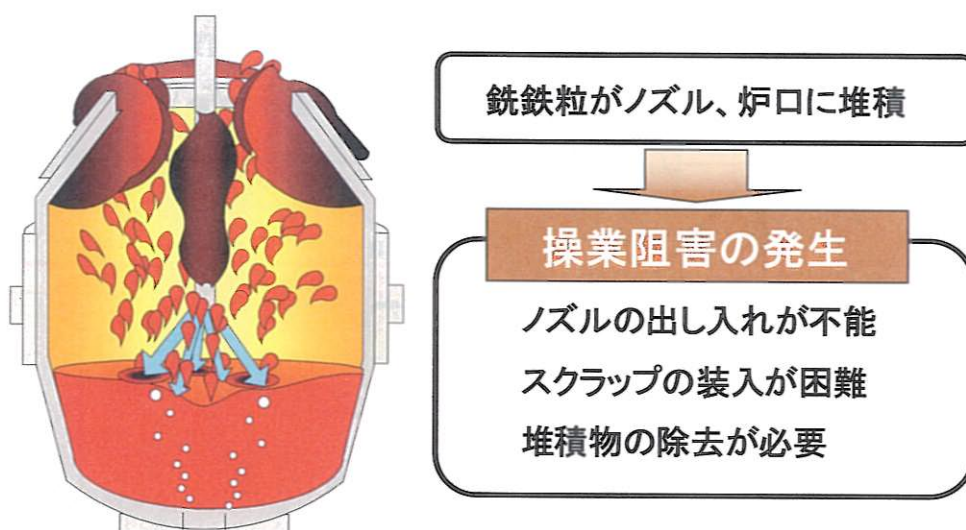


図 11 転炉での溶鉄飛散とそれに起因する問題

そこで、溶鉄飛散の原因を調査した。従来ランスの先端には同心円状に4～6孔の同径・同傾斜角のノズルが配置され、そこから噴射された酸素ジェットは相互の干渉が生じ、その結果として多量の溶鉄粒の飛散が発生していたことを明らかにした（図 12）。ジェットの相互干渉を避けるにはノズル傾斜角を拡大するしかないが、従来型ノズル配置を前提にすると脱炭炉耐火物溶損という新たな問題が生じてしまう。

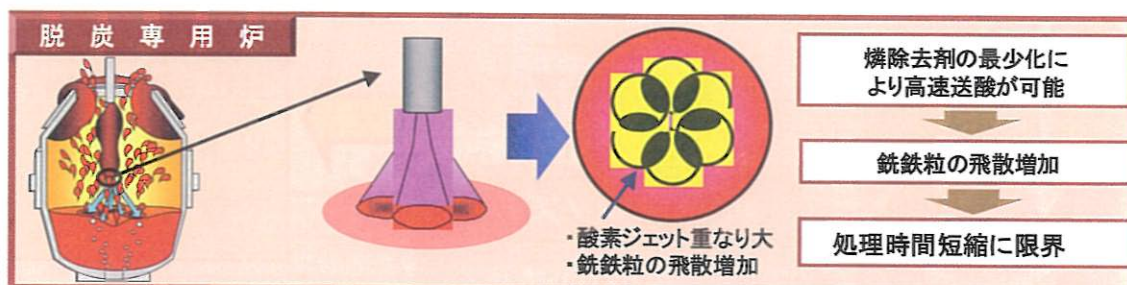


図 12 従来型転炉用上吹きランスのジェット分布（概念図）

本開発では、酸素ガスを供給するランスの先端に配置したラバー型ノズルの形状を変更することによりジェット分布の最適化を指向し、この課題を解決した。すなわち、従来ランスの常識であった「同一傾斜角を有するノズル」ではなく、「交互に異なる傾斜角をもつ（千鳥配置の）ノズル」という新しい着想に基づくランスを考案し、ジェットの相互干渉を回避して、溶鉄粒の飛散を低減した。さらに異なる傾斜角に異なるノズル径を適用することにより千鳥配置ノズルでのジェット分布を最適化し、飛散量をさらに大幅に低減することを可能にした（図13）。

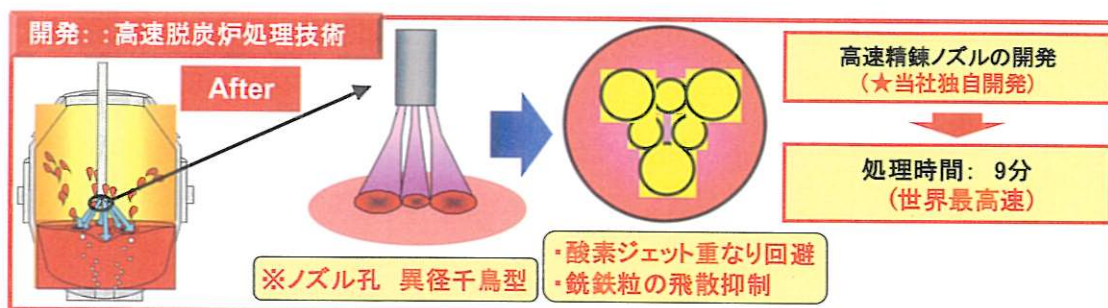


図13 開発した転炉用上吹きランスのジェット分布（概念図）

この新しいランスにおける高・低傾斜角ノズルのそれぞれのノズル径を D_2 、 D_1 とし、このノズル径比 (D_2/D_1) が液滴の飛散量（スピitting量）に及ぼす影響を水モデル実験装置、および、2ton規模の試験転炉で調査した結果を図14に示す。なお、図ではノズル径比が1での飛散量を基準値として指数化している。

この図からわかるように、ノズル径比を最適化することによりこのランスの液滴飛散量を極小化することが可能となった。

この交互異傾斜角ノズル開発、および、ノズル径最適化を適用した異径千鳥型ノズルにより溶鉄飛散粒の発生量を低減する効果は試験転炉実験において確認され、その後すみやかに実機操業に適用された。その結果、 $5.0\text{Nm}^3/\text{min}/\text{ton}$ と非常に高い酸素供給速度においてもランスや炉体への溶鉄粒の付着や堆積に起因する操業障害は発生せず、炭素除去時間は世界最短の9分を実現した。

以上述べたように、鉄鋼業界において世界で初めて向流精錬技術を開発・適用し、高効率、高品質（高純度）、低環境負荷の同時実現を可能にした。この結果、脱炭炉では燐除去処理が不要となり炭素除去処理に特化した高速処理を可能にした。それに加えて独自のランス開発により世界最短の炭素除去処理時間を実現した。

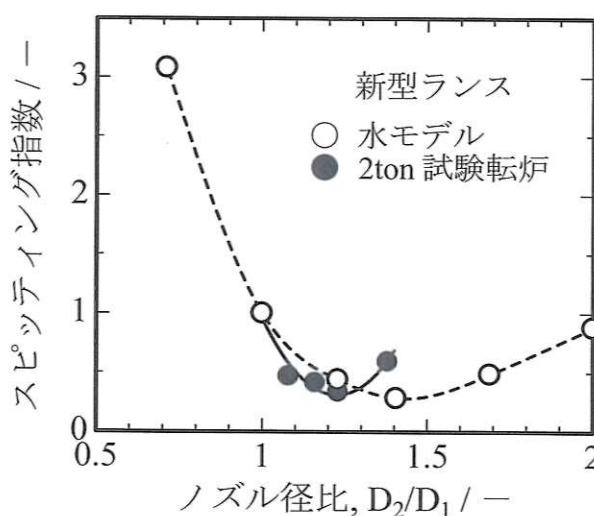


図14 交互異傾斜角ノズルのノズル径比が液滴飛散量に及ぼす影響

3) 多機能二次精錬法（真空下粉体上吹き法）の開発

転炉での炭素除去処理により得られた粗溶鋼の硫黄濃度は転炉前処理である硫黄除去工程で 30massppm 程度まで脱硫されているものの、高機能シームレス鋼管で要求される 8ppm 以下を満足することはできない。そのため、転炉処理後に取り鍋へ移送された溶鋼を更に硫黄除去する方法が従来から適用されていた。この従来法は取鍋内に収容した溶鋼中に浸漬したランス先端から Ar ガスと硫黄除去剤とを吹き込む処理であるが、硫黄除去効率が低いために大量の硫黄除去剤を必要としていた。また、大量に投入した硫黄除去剤は溶鋼と接触した後に溶融スラグとなるため、処理後にこの溶融スラグを物理的に排出・除去する工程が不可欠となる。その結果、処理時間は長大となって温度低下によるエネルギーロスが極めて大きいことに加え、大気圧下で攪拌操作をするために大気中窒素が溶鋼中に溶解し、材質特性に悪影響のある窒素濃度が増加するという課題があった（図 15）。

従来法の課題を解決し、低窒素濃度かつ低硫黄濃度の鋼を効率的に製造するため、技術開発を実施した。低窒素鋼を得る目的で、大気圧下処理を真空下処理（RH 脱ガス法）へ変更し、さらに、全量同一プロセスのコンセプトを実現するために新しい硫黄除去技術である真空下粉体上吹き法を考案し付与した。従来法では粉状の硫黄除去剤を溶鋼内部に導入するが、開発法では上方から溶鋼表面に吹き付ける点が大きく異なる（図 16）。

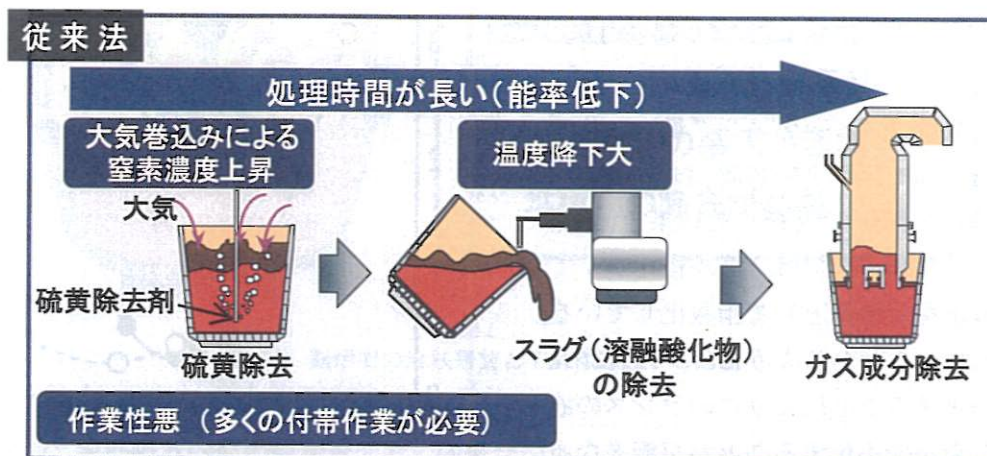


図 15 従来法による溶鋼中硫黄除去処理（当社の例）

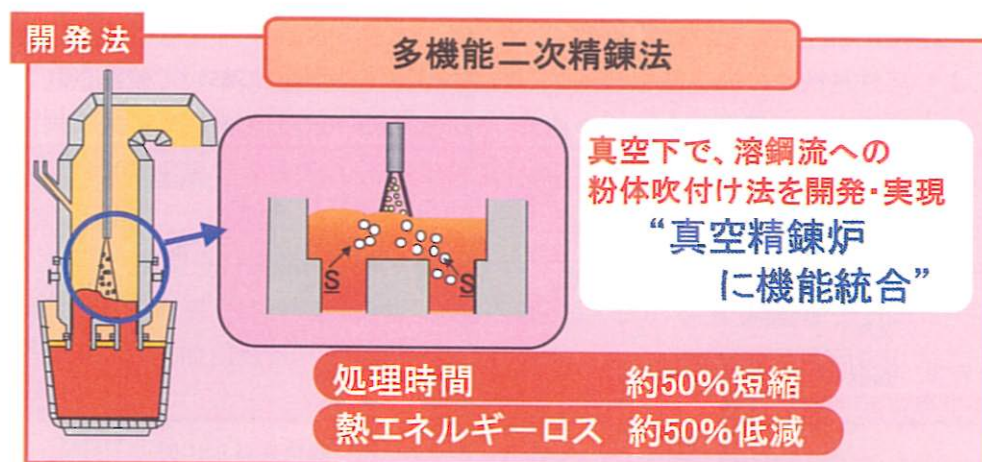


図 16 開発技術（真空下粉体上吹き法）の概略

吹き付けられた粉体は真空下溶鋼表面に着地後に溶鋼内部に進入し、硫黄除去反応のための界面積を確保することが可能となり、硫黄除去速度の向上と到達硫黄濃度の低下が実現される。また、硫黄除去剤の使用量が少ないため、脱硫処理後にスラグを物理的に排出除去する操作が不要となり、温度降下量で表現されるエネルギーロスも抑制可能となる。

従来、真空下での粉体上吹きは吹き付けた粉体が真空排気ポンプに吸い出されて有効に機能しないと考えられていた。しかし、粉体とそれを輸送するキャリアガスが通過するノズルの形状を工夫することによって強力なジェット流を形成し、ロスなく粉体を溶鋼表面に着地させる技術を開発した。

図 17 に真空下粉体上吹き法の適用結果の一例を示すが、高純度濃度域の硫黄濃度、窒素濃度へ到達可能であることが確認され、高機能シームレス鋼管にも十分対応できるプロセスであることが立証された。従来法を開発法で置き換えることにより、処理時間とエネルギーロスは従来の 1/2 へ低減された。

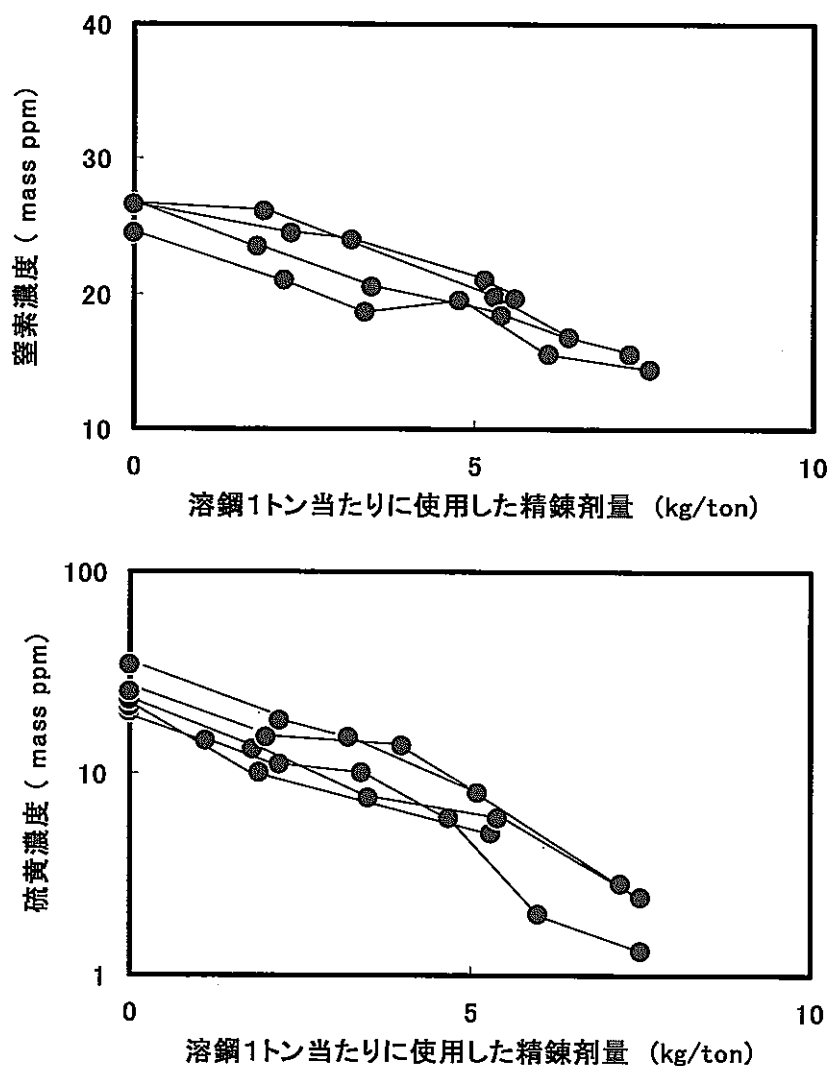


図 17 開発技術（真空下粉体上吹き法）の精錬特性の一例

4) 新製鋼工場建設による SRP 法の能力極大化技術の開発

高炉転炉法をベースにした製鋼工場の設備配置コンセプトは工場全体の物流を決定付け、能率を支配するため極めて重要である。転炉法の開始以来数十年にわたって、複数基の転炉を横一列とする配置が採用され続けてきた。その理由は、転炉の炉前側から原料を装入し、炉裏側へ精錬した溶鋼を排出するという一方向の物流を前提としていたからである。この前提では、転炉の横一列配置は工場内棟数を増やさないという設備投資抑制の面で大きな利点があり、さらにユーティリティ・集塵集合化の観点からも合理的であるとされてきた。

しかし、開発法である向流精錬法では『転炉の機能を脱燐炉と脱炭炉に分離する』ため、従来法では想定されていなかった『転炉型精錬炉で処理した後に再び転炉型精錬炉で処理する』というフローが発生する。そのため、従来型転炉配列のままでは物流ロスが発生し、本来『向流精錬法』がもっている高効率という特性が発揮できなかった。さらに、二次精錬プロセスにおいても、硫黄除去プロセスと脱ガスプロセスとが分離されていたため、レイアウトおよび物流の複雑化によって超高級鋼の安定製造が困難であった（図 18）。

従来製鋼工場

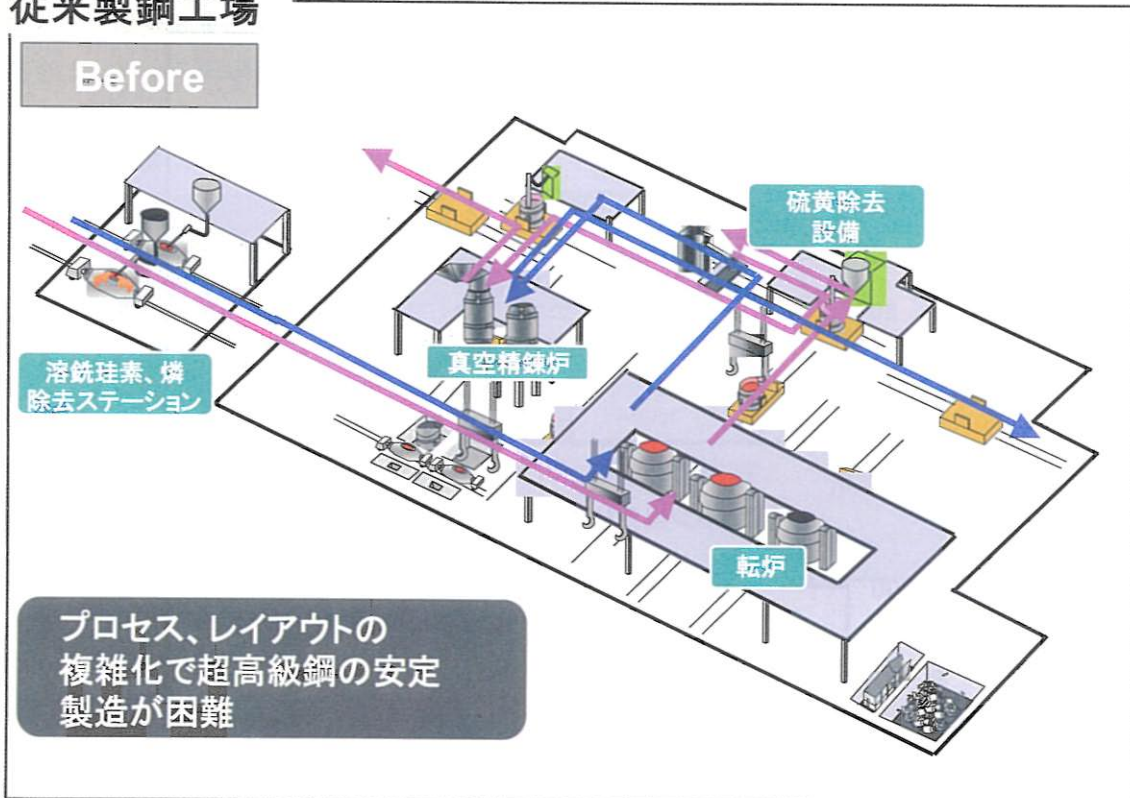


図 18 従来製鋼工場の物流フロー（当社の例）

そこで、脱燐炉の出側に脱炭炉を配置するという従来の設備技術の常識を超えた『直列配列』を考案し、燐除去処理と炭素除去処理の両フロー間で発生する干渉を解消した。さらに、多機能二次精錬法の採用により、二次精錬プロセスのレイアウト・物流を単純化することにも成功した（図 19）。

この最適配置により高級品を含む『全品種』を『最高速』かつ『等ピッチ』で製造することが可能となった。また、高効率操業により、脱炭炉 1 基操業で 3 基の連続 casting 装置へ溶鋼

を供給するという操業を実現した。開発法の適用により転炉 1 炉・一日あたりの処理数は 60heat/day/炉と世界最高能率を達成した。

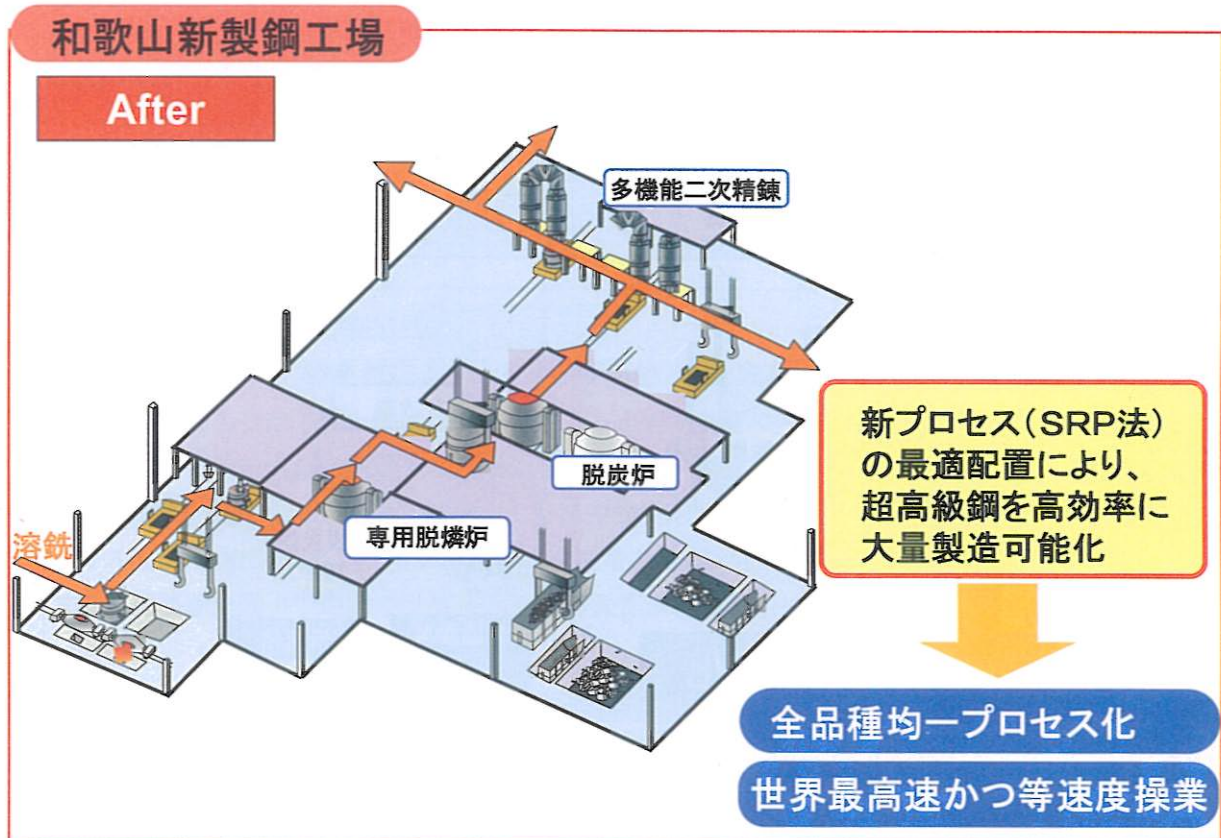


図 19 新製鋼工場での設備レイアウト

本開発で実現した世界最高の稼働率（60heat/day/炉）の効果は単に能率だけに限定されるものではない。転炉操業では非稼働中の放熱ロスが非常に大きい。従来転炉法の一般的な稼働率は約 30heat/day/炉と低く、しかも処理温度が約 1650℃と高いため、エネルギーロスの低減が困難であった。

それに対して、開発法である向流精錬法では、『直列配列』の効果もあって 60heat/day/炉という高い稼働率が実現されたことで非稼働時間が大幅に短縮され、新製鋼工場の転炉でのエネルギーロスの低減が可能となった。また、専用脱磷炉の処理温度は 1300℃と低いため、これによる放熱ロス低減効果も加わるようになった（図 20）。なお、稼働中のガス放散による熱ロスについても蒸気回収・ガス回収を行うことでガス放散による熱ロスも大きく低減することに成功した。

これらの生産革新により、鋼 1 トン製造に使用するエネルギーは 20%削減され、和歌山製鉄所の新製鋼工場では CO₂ 発生量を 29%削減（削減絶対量 34 万 T/年）した。さらに、向流精錬法と多機能二次精錬法が有する精錬効率の高さと精錬剤リサイクル技術により製鋼スラグ量を半減し、ますます重要となる環境保全技術の確立にも貢献した（図 21）。

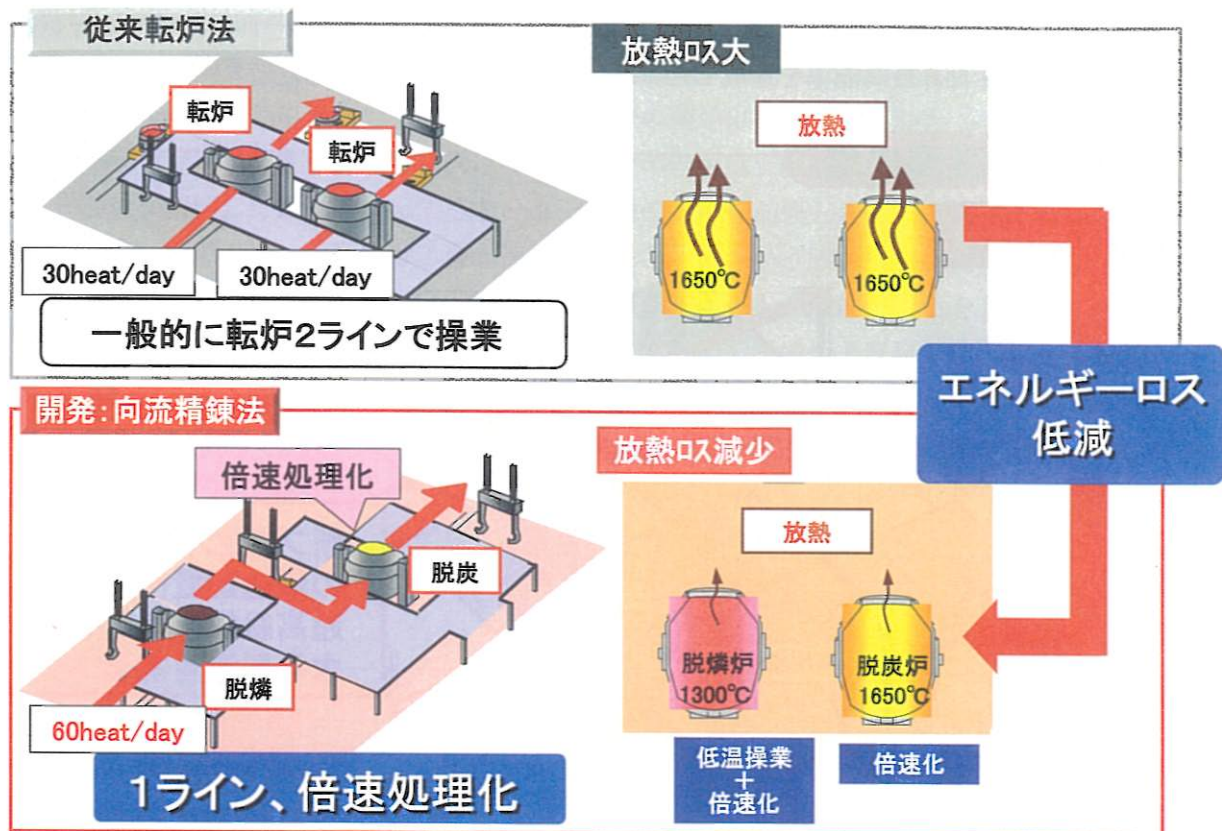


図 20 向流精錬法によるエネルギーロス低減

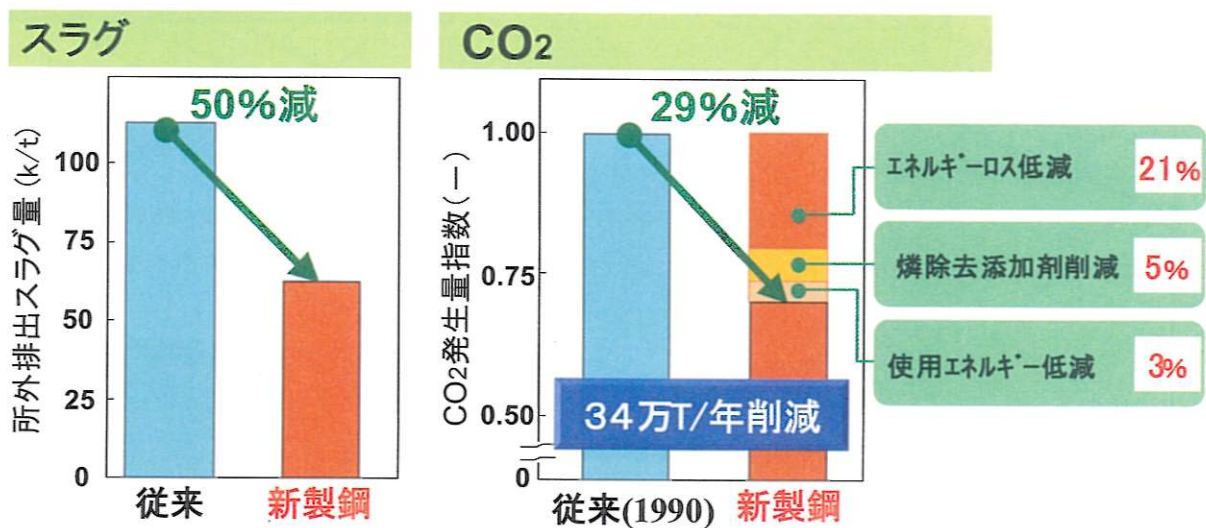


図 21 開発法による CO₂、スラグ削減効果

4. 研究開発の成果

(1) 開発成果の総括

上記技術開発の成果は弊社和歌山製鉄所においてグリーンフィールドに建設した『新製鋼工場』として完成し、1999 年より順調に稼動を続けている。得られた成果は以下の通りである。

1) 高品質・高効率・低環境負荷の同時実現

100massppm 以下の極低磷濃度、8massppm 以下の極低硫黄濃度という極めて純度の高い高機能シームレス鋼管の製造と、一日当たり 60heat/日という世界最高能率操業という、画期的な操業形態を実現した。これにより、生産性 5.7 倍（従来比）、労働生産性 3 倍（従来比）という圧倒的な競争力を可能にした。さらに、高効率化・プロセス統合による省エネ・熱ロス低減と熱回収により熱効率を向上させ、鋼製造にかかるエネルギーを 20%削減し、地球温暖化ガスである CO₂ 排出量の 29%削減（製鋼工場単体で CO₂34 万トン/年削減）を実現した。また、排出スラグ量半減を実現し環境保全に寄与した。

2) 高付加価値高級鋼管の製造拡大

本開発技術である SRP 法により大量生産が可能となった極低磷濃度、極低硫黄濃度の鋼は、従来不可能であった強度と耐食性を確保することが可能となり、深海や腐食環境といった油井開発に使用するシームレス鋼管の安定供給を実現した（図 22）。

この結果、高機能シームレス鋼管である高中強度耐サワー油井管の受注量は 5 倍へ、またサワーガス輸送用 X65 ラインパイプ用鋼管の受注量を 4 倍へ拡大し、世界的に優位な競争力をベースに、発展途上国・中進国では製造困難な高級管素材の製造技術を確立した（図 23）。

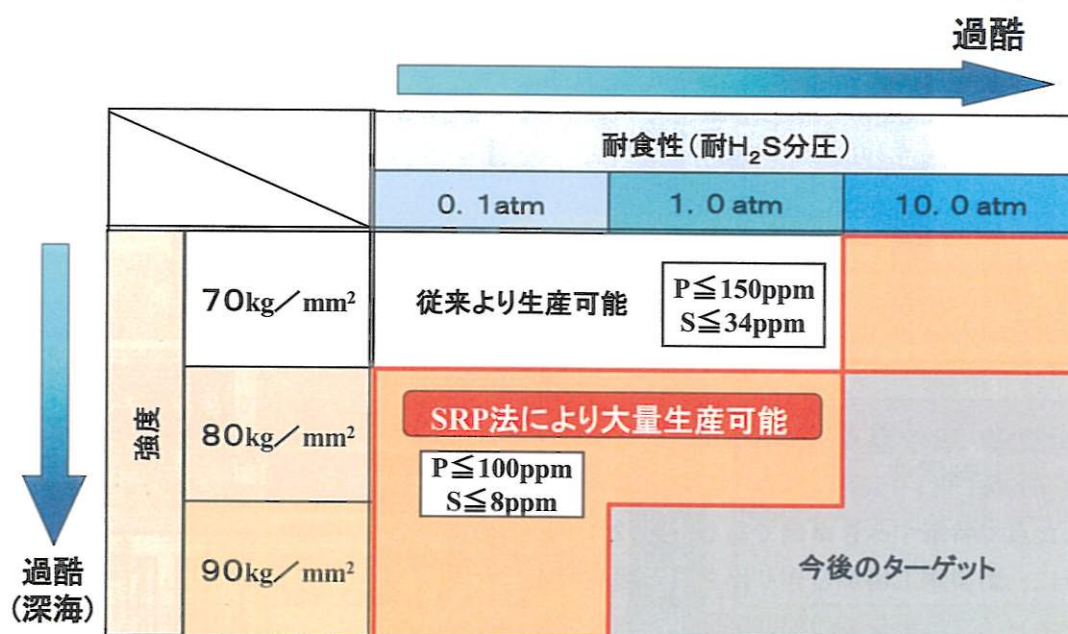


図 22 高機能シームレス油井管の製造可能範囲

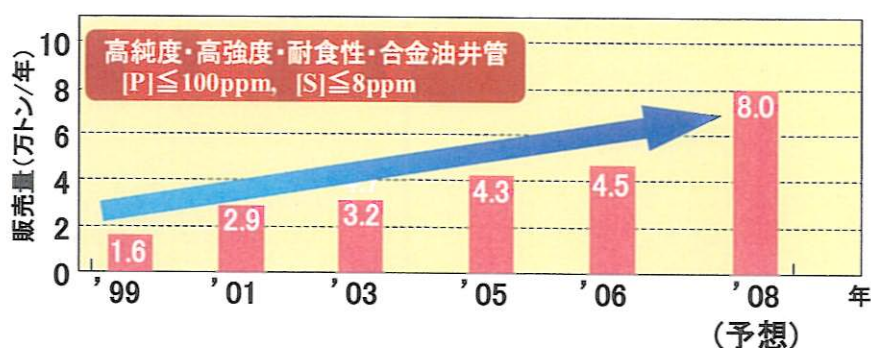


図 23 高機能シームレス油井管の販売量推移

(2) 社会への貢献

1) 国内産業空洞化の防止

近年需要の拡大している高級油井管・ラインパイプでは当社は世界3大メーカーの地位を確保しており、日本の国内産業空洞化防止に貢献した。

2) 世界エネルギー産業への寄与

高級油井管・ラインパイプの供給はより過酷な掘削条件の油田利用を可能とし、得られた化石燃料（石油・天然ガス）の安定輸送を実現した。当社が供給する強度 90 キログレードの高強度かつ高耐食性の油井管は、高腐食環境である北海、ノルウェー海、カスピ海の海底油井において深さ 4000m～6500m の所の油井開発に使用されている（図 24）。

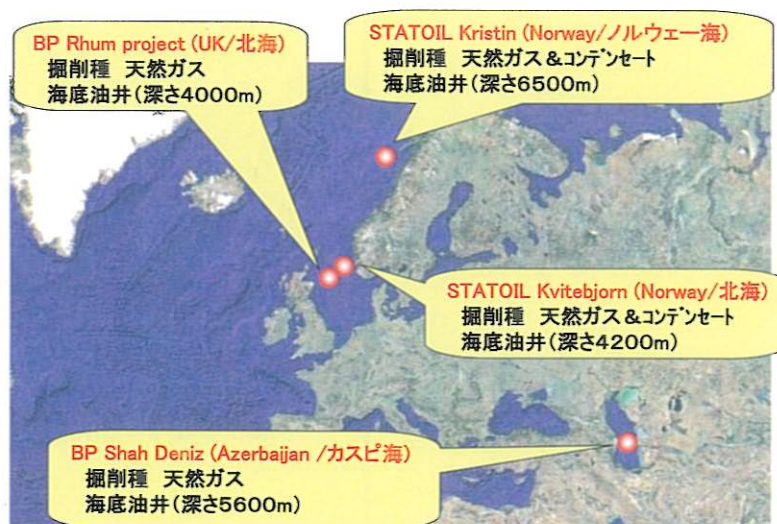


図 24 高機能シームレス油井管利用地域

この中でもノルウェーのクリスティンフィールドは 6500m という深井戸からの天然ガス供給を可とした点で特筆すべき事例である（図 25）。以上のように、新製鋼工場から作り出される超高機能シームレスパイプは最先端の油井開発に大きく貢献している。

3) 技術発展への寄与

向流精錬法をベースにした上底吹転炉を用いた燐除去技術を世界に先駆けて開発・実用化した。上底吹転炉を用いた燐除去法は当初当社のみで実施していたが、現在では国内の多数の製鋼工場で実施されている（図 26）。

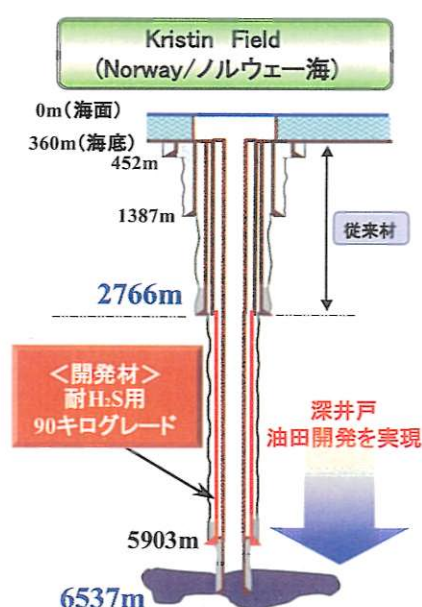


図 25 ノルウェー海での油井管使用例
(情報提供：STATOIL 殿)

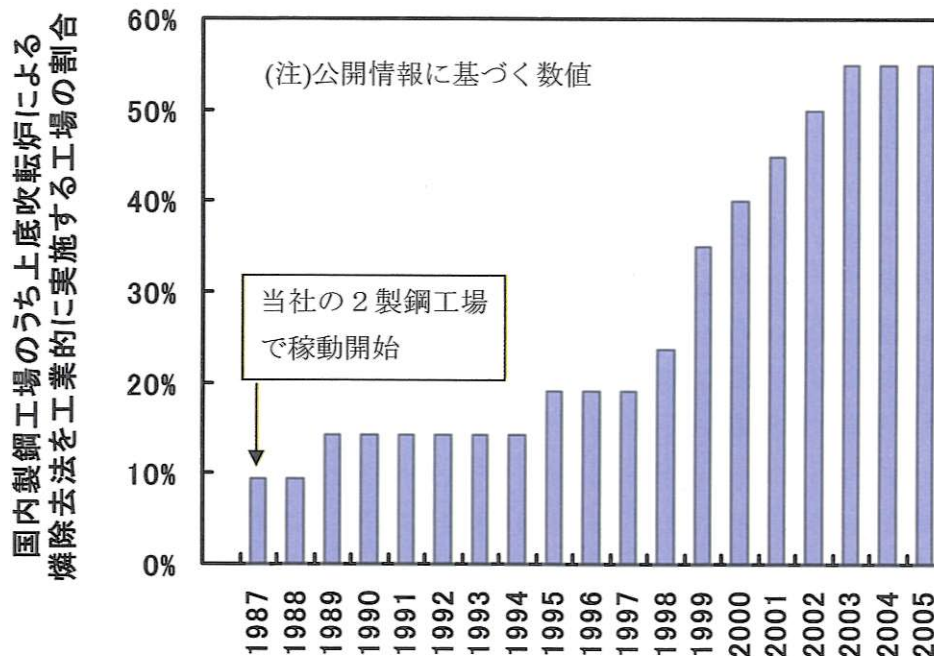


図 26 国内製鋼工場のうち上底吹転炉による燐除去法を工業的に実施する工場の割合

(3) まとめ

まとめを図 27 に示す。将来予測に基づき開発した新製鋼法（“SRP 法”）を 1999 年建設の和歌山新製鋼工場に適用し、「高品質・高効率・低環境負荷を同時実現する次世代製鋼プロセス」として開花させ、エネルギーの安定供給に貢献した。

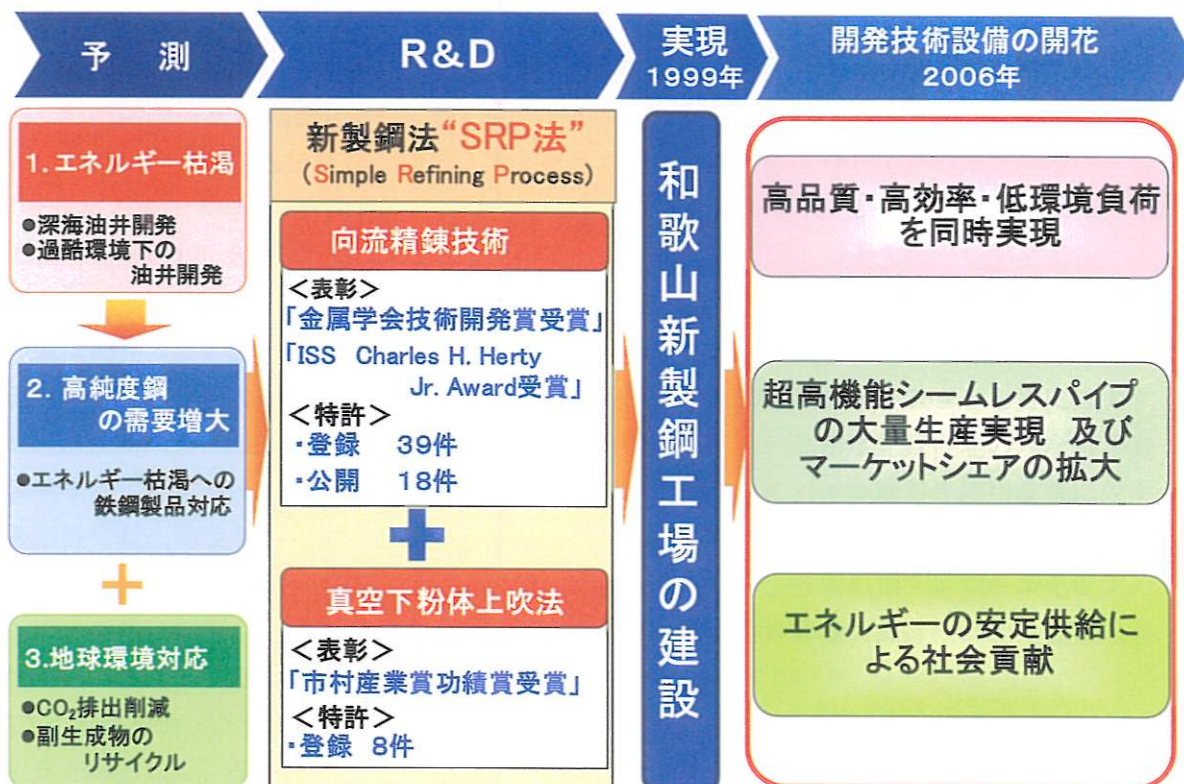


図 27 本開発のまとめ

5. 学会発表、特許等

学術発表は国内外で論文発表 16 件、講演 47 件であり、特許は国内外で登録 47 件、公開中 18 件、未公開 9 件である。

6. 将来展望

本技術開発は多くの特許とノウハウに裏付けられた独自開発技術である。今後は、エネルギー資源採掘環境がますます過酷化し、高級品ニーズが増大する。中国での新設ミル稼動により国際競争もさらに激化するものと予想される。本技術開発はこれらの世界的な傾向に十分対応可能で、今後とも優位性を確保することができる。その結果、わが国の産業空洞化防止への寄与や地球環境への貢献度もさらに拡大していくと期待される。