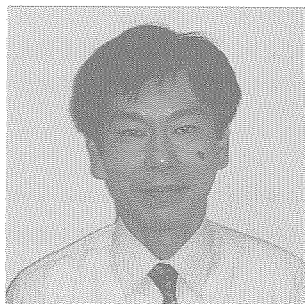
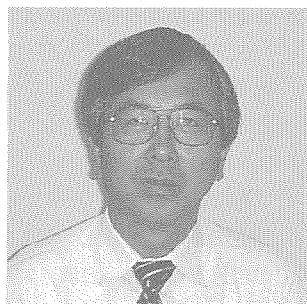


新日本製鐵式タンディッシュプラズマヒーター“NS-Plasma I”

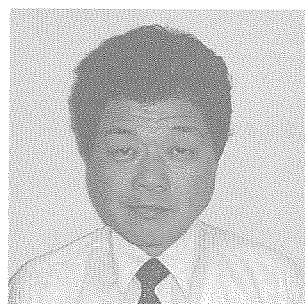
Nippon Steel Type Tundish Plasma Heater "NS-Plasma I" for Continuous Caster



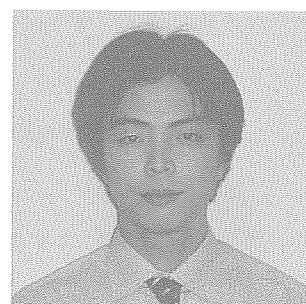
橋 高 節 生^{*(1)}
Setsuo KITAKA



脇 田 修 至^{*(2)}
Shuji WAKIDA



神 吉 豊 彦^{*(3)}
Toyohiko KANKI



細 川 貴 文^{*(4)}
Takafumi HOSOKAWA

抄 録

連続 casting において、タンディッシュ内溶鋼の温度変動は、非金属介在物、偏析といった铸件品質や、浸漬ノズル詰まり、ブレイクアウトといった安定操業に大きな影響を与える。このような問題に応える技術の一つとして、タンディッシュ内溶鋼プラズマ加熱がある。新日本製鐵は、長年培ったプラズマ加熱装置全般にわたる技術をもとに、コンパクトタイプのプラズマ加熱装置“NS-Plasma I”を開発した。この設備の特長と効果を紹介した。

Abstract

In continuous casting, the fluctuation of the molten steel temperature gives adverse effects on the cast strand quality by forming non-metallic inclusions or causing segregation, and on stable operation by causing nozzle clogging or break-out. One of the techniques to solve such problems is tundish plasma heating system. Nippon steel developed the compact type tundish plasma heating system "NS-Plasma I" based on total technologies raised for a long time. In this paper, the features and effects of this system are outlined.

1. 緒 言

連続 casting プロセスにおける、鋼の製造コスト低減、高級鋼製造、及び他品種小ロット生産のニーズは、益々高まっており、これらのニーズを満たす技術の一つとして、タンディッシュ内溶鋼温度の制御がある。これはタンディッシュ内溶鋼表面上にプラズマアークを発生させることで溶鋼を加熱し、溶鋼温度を制御するシステムである。溶鋼温度の最適化によって、連続 casting 設備に至るまでの大幅な耐火物コスト、エネルギーコストの低減が図れ、铸件品質の安定、操業の安定といった効果を得ることができる。

新日本製鐵は自社開発のプラズマトーチ、最適設備エンジニアリング、長年培った操業ノウハウといった、タンディッシュプラズマ加熱システム全般にわたる技術により、タンディッシュプラズマ加熱システム“NS-Plasma I”を開発した。本報ではその特長について

述べる。

2. タンディッシュプラズマ加熱システムの特長

NS-Plasma Iは、タンディッシュ溶鋼上に設置したプラズマトーチを陰極(カソード)とし、タンディッシュ内壁に設置した鋼製の板を陽極(アノード)として通電することによりプラズマトーチと溶鋼間にプラズマアークを発生させ、タンディッシュ内の溶鋼温度制御を行うシステムである。システム構成を図1に示す。

プラズマ加熱は以下に示すような特長を有している¹⁾。

1) 高温熱源が得られる

作動ガスの電離の際の放熱エネルギーにより非常に高温となり、燃焼ガス等に比べ遙かに高温のガスを得ることができる。NS-Plasma Iは、作動ガスとしてアルゴンを使用しており、このアルゴンプラズマの中心部の推定温度は10 000K以上に達する。

^{*(1)} プラント事業部 製鉄プラントエンジニアリング第二部 連続 casting
グループ グループリーダー
北九州市戸畑区中原46-59 ☎804-8505 ☎093-872-6986

^{*(2)} プラント事業部 製鉄プラントエンジニアリング第二部 連続 casting

グループ マネージャー

^{*(3)} 日鉄プラント設計 電気計装グループ マネージャー

^{*(4)} プラント事業部 製鉄プラントエンジニアリング第二部 連続 casting
グループ

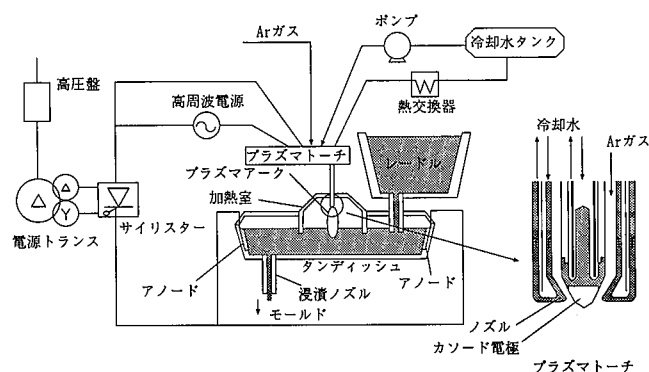


図1 プラズマ加熱システムの構成

2) クリーンな熱源である

不活性ガスであるアルゴンを用いたクリーンな雰囲気での加熱となるため、燃焼ガスによる加熱、あるいはカーボン電極を用いたアーク加熱と比べ、溶鋼の酸化、窒化、炭化等を抑制することができる。そのため、鋳片の清浄度に影響を与えることがない。

3) 制御が容易である

電力制御により必要な出力を広範囲で自由に設定できる。また、電力投入後、直ちに加熱開始が可能のため、応答性に優れており、鍋交換時等の非定常時にも集中的な溶鋼加熱を行うことができる。

3. プラズマ加熱の適用効果

3.1 タンディッシュ内溶鋼温度補償

図2に示すように、タンディッシュ内溶鋼温度は耐火物への吸熱や表面からの放熱の影響を受け、鋳造初期や末期、鍋交換時には低下が避けられない。このような温度低下は鋼中の非金属介在物の浮上分離能を低減させ、更に浸漬ノズル詰まりなどの問題の原因となるため、タンディッシュにて溶鋼加熱機能を持たない連続鋳造機においては、その温度低下分を補うため、転炉等での出鋼温度を高くする必要があった。

プラズマ加熱によって、タンディッシュでの溶鋼温度の補償が可能となるため、転炉等での出鋼温度を低減することができ、炉や鍋における耐火物コスト、出鋼の際の投入エネルギーを削減することが

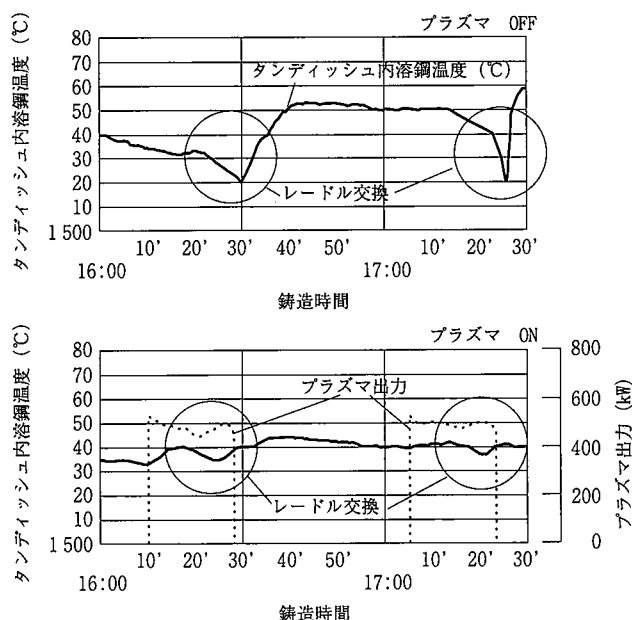


図2 溶鋼温度制御例

できる²⁾。

3.2 タンディッシュ内溶鋼温度の制御

3.2.1 鋳片品質の改善

鋳片の内部品質確保のためには、非金属介在物と中心偏析を同時に満足させることが必要となる。図3に示すようにタンディッシュ内溶鋼温度は、鋳片品質に対し大きな影響を及ぼす。タンディッシュ内溶鋼温度が低すぎる場合、非金属介在物が増加し、また高すぎる場合には偏析が発生する³⁾。

タンディッシュプラズマ加熱により、鋳造温度の変動を防止し、最適温度に制御することが可能であり、鋳片の品質低下を防止することができる。

3.2.2 操業の安定化

鋳造温度の変動は操業にも影響を与える。タンディッシュ内溶鋼温度が低すぎる場合、浸漬ノズルへの非金属介在物、地金等の付着が増大するため、浸漬ノズル詰まりが発生する。浸漬ノズル詰まりは安定操業の障害になるのみならず、モールドへの溶鋼流量を変動させるため、モールド内湯面変動から起こるパウダー流入不均一に伴う鋳片表面性状悪化や、モールド内溶鋼の偏流による鋳片への介在物巻き込みといった品質悪化の原因となる。また、鋳造温度が

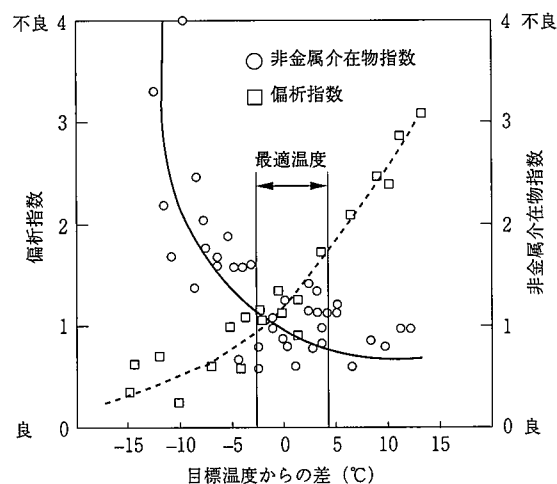


図3 タンディッシュ内溶鋼目標温度と品質の関係

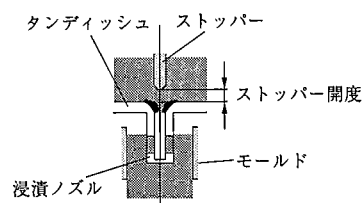
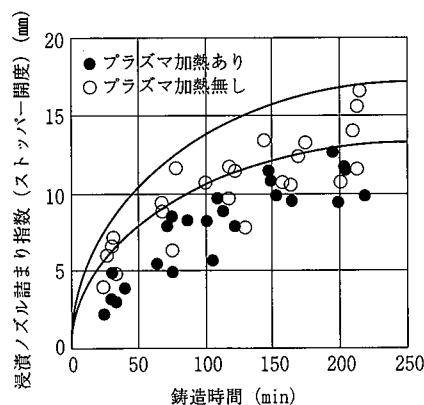


図4 プラズマ加熱によるノズル詰まり低減効果

高すぎる場合には、モールド内の凝固シェル厚の形成不良によるブレイクアウトといった問題が発生する。本システムによる最適温度制御により、これらトラブルが低減され、より一層の生産性向上が可能となる。

図4はプラズマ加熱適用による浸漬ノズル詰まり低減効果を示している。ここでは、タンディッシュストッパー開度を浸漬ノズル詰まりの指数としている。一般に、ストッパー方式のタンディッシュにおいては、浸漬ノズル詰まりとともにストッパー開度が上昇するので、ストッパー開度によりその程度を把握することが可能である²⁾。ここでは、プラズマ加熱を適用した場合、浸漬ノズル詰まりは約20%低減している。

4. プラズマトーチ

タンディッシュプラズマ加熱システムの一般的なプラズマトーチ形式を表1に示す。プラズマトーチは、その本数により、大きくシングルタイプとツインタイプに分類される。

シングルタイプは、トーチとタンディッシュ内に設置した鋼製の板をそれぞれ電極としたもので、プラズマアークの発生方法の違いにより、更に熱電極型と冷電極型に分けられる。熱電極型は、プラズマ放電のための電子放出を熱電子放出に依存したもので、プラズマトーチ先端は数千度に達する⁴⁾。トーチ構造はシンプルかつ小サイズであるため、トーチに付随した昇降装置や配管、配線をコンパクトにすることが可能である。そのため、レードルとタンディッシュ間のプラズマトーチ挿入スペースが小さい中小規模の連続鋳造機にも設置可能である。一方冷電極型は電極表面の温度が数百度と比較的低温で使用されるもので、電子は電界放出によって供給される。電極表面の温度が比較的低温であるため、大きな出力が得られる反面、トーチ内部から発生させたプラズマアークを安定制御する

ために大量の作動ガスを必要とし、トーチ構造が複雑なためトーチが比較的大きなものとなる。

本プラズマシステムNS-Plasma IIは、以上述べたように中小規模の連続鋳造機に設置可能なシステムとして、自社開発の熱電極シングルタイプ直流型プラズマトーチを採用している。また、図5に加熱溶鋼スリーブットに対する新日本製鐵開発トーチの必要本数を示すが、この図からも、溶鋼スリーブット3 t/min以下のピレット・ブルーム規模の連続鋳造機においては、プラズマトーチ1本で十分な加熱効果を得ることができることが分かる(3 t/min以上では、NS-Plasma Iが2セットで対応可能である)。ここでは、溶鋼昇温量 $\Delta T=10\text{K}$ を前提としている。

また、ツインタイプは、電源方式の違いにより直流タイプと交流タイプに分類され、2本のトーチそれぞれをカソードとアノードとしている。ツインタイプは、シングルタイプと比較して高い電圧を確保でき、高出力を得ることができるが、タンディッシュ上に2本

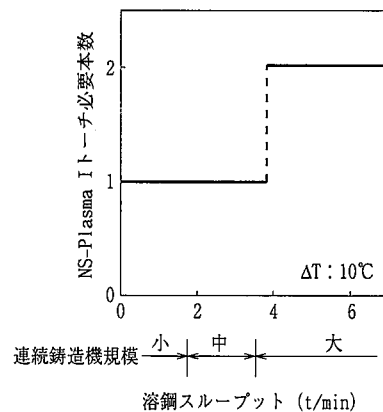


図5 溶鋼スリーブットに対する必要NS-Plasma Iユニット数

表1 プラズマ加熱方式比較

	NS-Plasma I	その他		
プラズマトーチタイプ	シングルタイプ		ツインタイプ	
	直流電源方式		交流電源方式	
	熱電極型	冷電極型	熱電極型	
構成				
出力	小～中	中～大	大	大
設備レイアウト性	○ トーチが1本で軽量。付帯設備がコンパクト。	△ トーチ構造が複雑で大きいため、付帯設備も大規模。	△ トーチが2本で、付帯設備も大規模。	△ トーチが2本で、付帯設備も大規模。
メンテナンス性	トーチ：○ アノード：○ タンディッシュ内にアノード鉄板を設置。	トーチ：△ カソード：○ トーチが大きく構造が複雑となる。タンディッシュ内にカソード鉄板を設置。	トーチ：○	トーチ：○
プラズマアーク安定性	○	△ 作動ガスによるプラズマアークの制御が複雑となる。	○	△ 交流プラズマ特有の周期的な消弧に対する安定制御が必要となる。
加熱効率	○	△ トーチ冷却による損失が大きい。	○	○

のトーチを設置する必要があるため、設備上広いスペースを必要とする。従って、ツインタイプは溶鋼スループットの大きいスラブ規模の連続製造機向けといえる。

5. NS-Plasma Iの特長

新日本製鐵のタンディッシュプラズマ加熱装置NS-Plasma Iの特長を以下に述べる。

5.1 コンパクト設計

NS-Plasma Iは、設置スペースの限られたあらゆる連続製造機にも設置可能にするため、設備のコンパクト化を実現している。プラズマトーチは、前述のように、1本のみのためトーチ駆動装置を小型化することができる。またレードル等既設設備との干渉が問題となる場合には、斜め挿入やショートタイプのプラズマトーチ(プラズマトーチ長さ約0.5m)の採用により、ほとんどの連続製造機に設置可能としている。また、プラズマトーチ内の冷却水は、ノズル部と電極部で1系統に集約しているため、冷却水配管を簡素化している。更に常温水が使用可能のため、チラーユニットが不要でトーチ及び配管等に結露の発生がなく、水蒸気爆発の危険性がない。

5.2 高い信頼性

5.2.1 プラズマアーク安定化技術

プラズマアークは高電流により発生した磁界によるローレンツカの影響を受けるため大きく偏向し、ノズル部の異常溶損によるトーチ寿命の低下を招く。NS-Plasma Iは、図6(b)に示すようにタンディッシュ内に設置するアノードの数量、配置を最適にすることで、アーク偏向を抑えた最適なシステムを確立している。

5.2.2 加熱室設計

プラズマ加熱における加熱室は、プラズマトーチを囲むように設けた耐火物を内張りした炉壁で構成されている。加熱室内炉壁はプラズマアークの輻射熱により高温となるため、耐火物の損耗が問題となる。そのため耐火性向上のためのハイアルミナ製耐火物の採用や、プラズマアークと耐火物内壁間の距離を確保することで、耐火物の上限温度以下になるように加熱室を設計している。

また、加熱室はアルゴンガスが充填されるが、外部から酸素、窒素が混入すると、トーチ電極、ノズルの寿命の低下や、プラズマ着火不良やアークの不安定等を引き起こす。NS-Plasma Iは、図7に示すように加熱室内に堰を設置することで、高いアルゴン濃度を実現している。

更に、加熱室内は電離したプラズマガスの雰囲気であり、このなかに導電性の物体があると、トーチからのプラズマアークが溶鋼だけでなくその導電体にも着弾する。これを二次アークと呼ぶが、プ

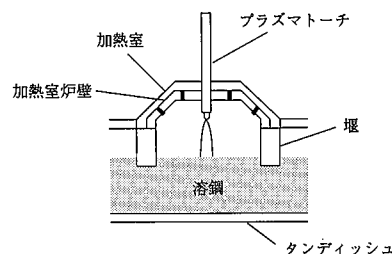


図7 加熱室設計技術

ラズマ加熱で従来生じていたトラブルの多くは、この二次アークに関連したものである。その防止のため、加熱室内炉壁の固定は絶縁体のスタッドを用いている。

5.3 フルオートメーション

5.3.1 温度制御

トーチと溶鋼間の電圧は、トーチと溶鋼間の距離により変動する。特に、 casting開始時、鍋交換時、 casting終了時等の非定常時には、タンディッシュ内の湯面が大きく変動するため、安定した溶鋼加熱を保つためにはトーチと溶鋼との距離を一定に維持しなくてはならない。NS-Plasma Iは、トーチ昇降装置に溶鋼湯面の変動に追従して自動昇降する機能を有し、トーチと溶鋼間の距離を一定に維持することができるため、常に安定した溶鋼加熱を行うことができる。更に、溶鋼温度は熱電対により測定しており、コントロールパネルの設定により温度制御が可能である。

5.3.2 自動着火／消火機能

NS-Plasma Iは、確実なプラズマアークの着火と、安定的な消火を完全自動化するため、以下の一連の運転方案を行っている。

- 1) 着火可能距離まで、トーチを湯面に接近させる。
 - 2) カソード電極とノズルの間に高周波火花を発生させる。
 - 3) カソード電極とノズルの間にパイロットアークを発生させる。
 - 4) アルゴン流量、電流値を制御し、このパイロットアークを溶鋼に移行させ、カソード電極と溶鋼の間にメインアークを発生させる。
 - 5) 電流値、トーチ高さ、アルゴンガス流量を制御し、設定値に達するまで出力を上げる。
 - 6) 消火時にも急激に電流値を落とすことなく、電流値、トーチ高さ、アルゴンガス流量を制御し、徐々に消火する。
- 更に非常時にはプラズマの自動消火及びトーチの緊急退避等の対策を施している。

5.4 高メンテナンス性

5.4.1 トーチメンテナンス

トーチ先端部の電極及びノズルは、プラズマアークにより損耗するため寿命に達した時点で交換を行う必要がある。NS-Plasma Iのプラズマトーチは、消耗品(カソード電極、ノズル)がトーチ先端部のみで軽量であるため、操業位置にて、短時間で容易に交換すること可能である。プラズマトーチ先端部を写真1に示す。

5.4.2 アノード自動着脱装置

図8に示すように、タンディッシュ内に設置したアノードには、配線への自動着脱装置を設置している。これは、タンディッシュ排さい作業時やタンディッシュの交換時などにおける、アノードから主電源への配線の着脱を自動化したものである。これにより、タンディッシュ周りの配線が簡素化され、着脱に要する時間を短縮している。

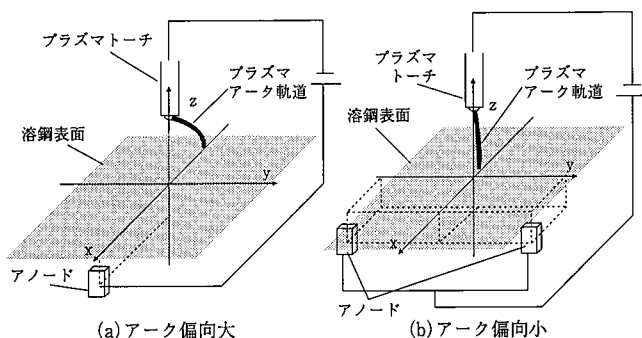


図6 プラズマアークの偏向

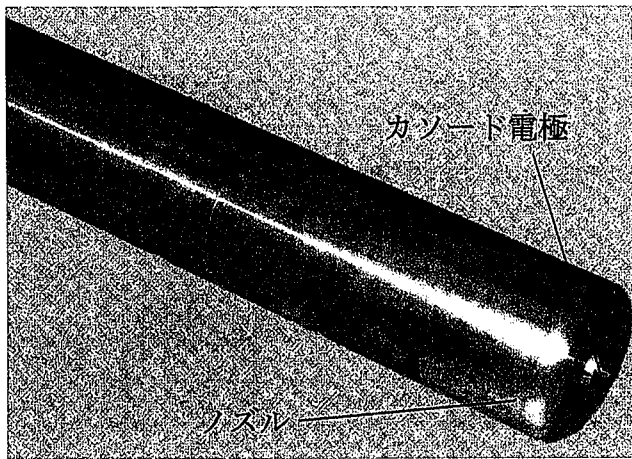


写真1 プラズマトーチ先端

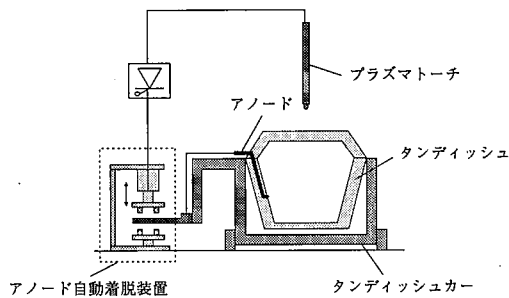


図8 アノード自動着脱装置

6. 設備仕様

図9にプラズマ加熱システムの適用例を示す。また、表2にNS-Plasma Iの主仕様を示す。

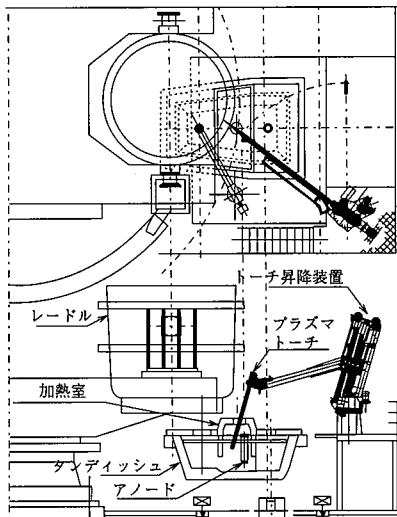


図9 プラズマ加熱システムの適用例

表2 プラズマ加熱システムの主仕様

プラズマトーチ	タイプ	DCプラズマトーチ
	電極	タングステン熱電極型
電源		DC 7 000A (max)
電圧		100-120V (加熱室内雰囲気により変動)
作動ガス		アルゴン
	流量	8-20 Nm ³ /h
加熱室内シールガス		アルゴン
	流量	50 Nm ³ /h
トーチ冷却		飲料水レベル
	流量	120 l/min
	水質	電気伝導度<250μS/cm
	温度	<40℃
プラズマアーク長		400 mm

7. 結言

新日本製鐵の操業、エンジニアリング技術をベースに開発実用化したコンパクトなタンディッシュプラズマ加熱装置“NS-Plasma I”について述べた。

NS-Plasma Iは次の特長を有する。

- ・コンパクトで既設連铸機への設置が容易
- ・最適設計により操業の高い信頼性を有する
- ・フルオートメーションにより操業が容易
- ・トーチの交換、タンディッシュの交換が容易でメンテナンス性に優れている

NS-Plasma Iは、投資コストを抑えつつ、ランニングコスト低減、铸片改善効果が非常に高いため、今後、中規模、小規模連铸機にも急速に導入されていくものと考えられる。

参考文献

- 1) 篠田強志 ほか:省エネルギー, 36 (10), 33(1987)
- 2) Matsumoto, K. et al.: Proceedings of the Sixth International Iron and Steel Congress, Nagoya, 1990, ISIJ
- 3) 菅原健 ほか:材料とプロセス, 1(1), S299(1988)
- 4) 脇田修至 ほか:新日鉄技報, (345), 23(1992)