

技術報告

連続铸造用ミスト冷却技術の開発

三塚 正志*・福久 陽三*²・和気 誠*³
 岡島 正樹*⁴・宮下 永*⁵・武田 安夫*⁶

Development of Air-atomizing Mist Nozzles and Mist Cooling System for Continuous Casting

Masashi MITSUTSUKA, Yozo FUKUHISA, Makoto WAKE,
 Masaki OKAJIMA, Nagao MIYASHITA, and Yasuo TAKEDA

Synopsis:

The use of air atomizing mist nozzle for the secondary cooling of continuous casting machine results in the following advantages over the conventional water spray nozzle: less longitudinal surface cracks and higher temperature of cast slabs, wide control range of cooling, and prevention of nozzle cloggings. The air injection to the water spray nozzle is also good for preventing nozzle cloggings.

The authors have developed a few types of air atomizing nozzles and their application techniques, including the air injection technique, for the secondary cooling system of the slab casters.

Discussed here are structural and fluidic features of the newly developed mist nozzles and the air injection type water spray nozzle with reference to some technical points concerning the new cooling system and the operational results.

1. 緒 言

連続铸造(以下連铸と略記)においては、鑄片の内部・表面欠陥の防止、設備・操業の安定化、鑄片保有熱の次工程への利用などが重要課題である。保有熱利用に対しては、鑄片表面割れの低減や高温出片[†]が、また操業の安定化に対しては、二次冷却帯(スプレー冷却帯)におけるノズル閉塞の防止が、必須の条件である。

鑄片表面割れの多くは、まず割れが鑄型内で発生し、次いでその割れが、二次冷却帯における鑄片表面の“強冷-復熱”の繰り返しによつて、伝播することにより形成される^{1)~3)}。二次冷却帯において、鑄片は水スプレー衝突部やガイドロール(以下ロールと略記)との接触部(溜まり水冷却, ロールとの接触冷却)で局部強冷される。これらの局部強冷の軽減には、下記の対策が有効である。

i) 冷却水を鑄片全面に均一に噴射または接触させる。

ii) 鑄片とロールとの接触部に冷却水を溜めない。

iii) 鑄片からロールへの熱伝達を防止する。

フラットスプレー冷却の場合、加圧微粒化された水滴は、鑄片の狭い範囲に集中的に衝突した後、飛散するか鑄片にそつて流下しロール上部に溜まる。これに対し、ミスト冷却の場合、空気で微粒化された水滴は、鑄片の広い範囲に衝突した後、その多くは鑄片幅方向へ流出するため、冷却水はロール上部にほとんど溜まらない。したがつて、ミスト冷却を使用すると、i) と ii) を同時に満足できる可能性がある^{4)~6)}。

二次冷却帯における鑄片の緩冷却化は、表面割れの軽減と高温出片に有効である。スプレー冷却の場合、緩冷却のため水孔の小さいノズルを用いると、ノズル閉塞が起こりやすくなる。これに対し、ミスト冷却の場合(ただし内部混合型ノズル使用)、ノズルの噴出孔は流出空気相当分だけスプレーノズルのそれより大きいため、水量を減じてノズル閉塞は増えない。

以上のように、二次冷却帯にミスト冷却を適用すると、

[†] 鑄片の保有熱を次工程の圧延に最大限利用するため、連铸機から鑄片を高温で出すこと

昭和 58 年 7 月 11 日受付 (Received July 11, 1983)

* 新日本製鉄(株)設備技術本部 (現:新日本製鉄(株)第三技術研究所) 工博 (Plant Engineering & Technology Bureau, Now R & D Laboratories-III, Nippon Steel Corp., 1-1 Edamitsu Yahatahigashi-ku Kitakyushu 805)

*² 新日本製鉄(株)設備技術本部 (Plant Engineering & Technology Bureau, Nippon Steel Corp.)

*³ 新日本製鉄(株)大分製鉄所 (Oita Works, Nippon Steel Corp.)

*⁴ 新日本製鉄(株)堺製鉄所 (Sakai Works, Nippon Steel Corp.)

*⁵ 新日本製鉄(株)君津製鉄所 (Kimitsu Works, Nippon Steel Corp.)

*⁶ 新日本製鉄(株)広畑製鉄所 (Hirohata Works, Nippon Steel Corp.)

冷却の均一化、緩冷却化、ノズル閉塞の防止などを同時に達成可能なことが期待される⁴⁾⁷⁾。

SCHREWE は、ロール上部溜水を防止するため、二次冷却帯へミスト冷却を適用することを研究した⁸⁾⁹⁾。この場合、ミスト流は、スラブ幅方向中央部に設置されたノズルから両端部の方向へ噴射される。著者らは、現状のスプレー冷却のように、ミスト流をスラブに垂直に噴射するミスト冷却法を研究した。

本報告においては、ミスト冷却技術・設備の開発経過および実用結果を報告する。なお、ミスト冷却が鋳片の品質に及ぼす効果については、別報⁶⁾を参照されたい。

2. ミストノズルおよび空気吹き込みノズルの開発

2.1 ノズル開発の考え方

緒言に記述した操業面および設備面からの要求事項のすべてを同時に満足するミストノズル、およびノズル閉塞防止を主目的とする空気吹き込みノズルを開発した。上記の要求事項をノズル面から整理すると、ミストノズルに対しては、

- i) 冷却水の微細ミスト化→鋳片の均一冷却
- ii) ミスト流の広角噴射→ノズル数の低減
- iii) ノズル孔の大形化→閉塞の低減、噴出水量範囲の拡大
- iv) ノズルの小形化→ノズルのロール間への設置であり、空気吹き込みノズルのそれは、ii)～iv)である。とくに、空気吹き込みノズルに対しては、i)を条件とせず、既設の配管とノズル(大きな口径に変更)の

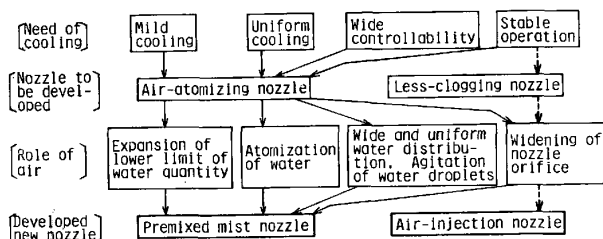
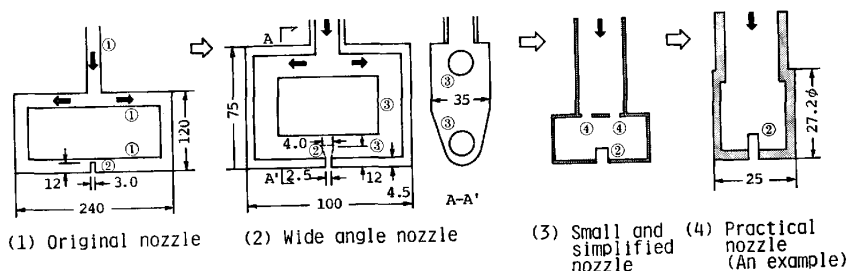


Fig. 1. The technological thoughts to develop new nozzles for the secondary cooling of continuous casting machine.



① Pipe (ID 12.7, OD 17.3), ② Tip orifice, ③ Drilled hole (15φ), ④ Drilled hole, ↓: Flow of air and water, Unit: mm
Fig. 2. Development steps of mist nozzles.

流用、および吹き込み空気量をノズル閉塞防止に必要な最小限に抑えることを条件にした。これらの条件を満足するノズルの開発に際しての技術思想を Fig. 1 に示す。ミストノズルには内部混合型ノズルを、空気吹き込みノズルには市販のフラットスプレーノズルを候補にした。

2.2 内部混合型ミストノズルの開発

2.2.1 ミストノズルの開発経過

ミストノズルの開発経過を Fig. 2 に示す。当初、1個のノズルから噴出するミスト流でスラブ全幅を冷却することを目標にしていたから、ミスト流を極力広げること考えた。そのためには、Fig. 2 (1) と (2) のノズルのように、高速気液混合流を正面衝突させる方式が適している。この衝突方式が、ミストノズル開発の出発点である。

Fig. 2 の各ノズルを連続鋳造機(以下 CCM) に設置する場合、ノズルとロールの位置関係は Fig. 3 のようになる。ノズルが大きい場合、Fig. 3 (1) のような配置になるため、ミスト流の大部分がロールに直接衝突する。この欠点を回避するには、ノズルを小形化し、Fig. 3 (2) のように、ノズルをロール間に設置できるようにしなければならない。したがって、ノズルの小形化および配管の小径化のため、加圧空気を用いる内部混合方式を採用した。最終的には、Fig. 4 に示すような小形ノズルを開発した。実用中のミストノズルの形状は、各 CCM の目的によつて若干相違しているが、基本的な部分は同じである。

2.2.2 ミスト流の水量分布および水滴径分布

実用ノズルから噴出するミスト流の水量分布と水滴径分布を Fig. 5 に示す。ミスト流の水量分布の半値幅は、角度 (Fig. 5 の 2θ) にして約 120 度であり、水滴径は大部分が 20~60 μm である。この値は、スプレーの水滴径 (200~600 μm , Fig. 5 (4) 参照) の約 1/10 である。

2.3 空気吹き込みノズルの開発

従来から二次冷却帯に多用されているフラットスプレーノズルの閉塞を防止するため、加圧空気を給水管に吹き込む技術を開発した。噴出水量が同じ場合、空気の吹

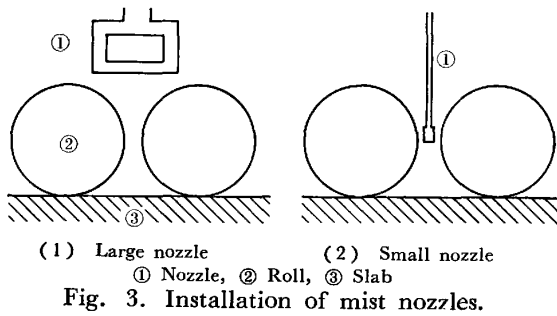


Fig. 3. Installation of mist nozzles.

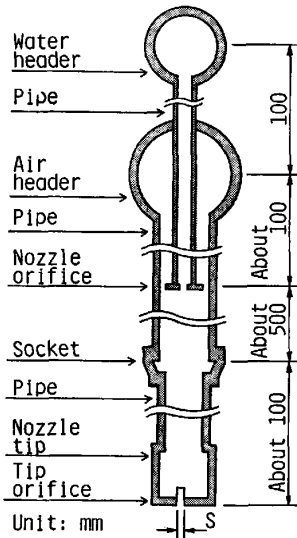


Fig. 4. Schematic diagram of a newly developed practical mist nozzle.

き込みによつて、空気相当分だけノズル孔を大きくでき、また空気は高速で噴出するため、空気流によつてノズル孔への付着物が除去される。

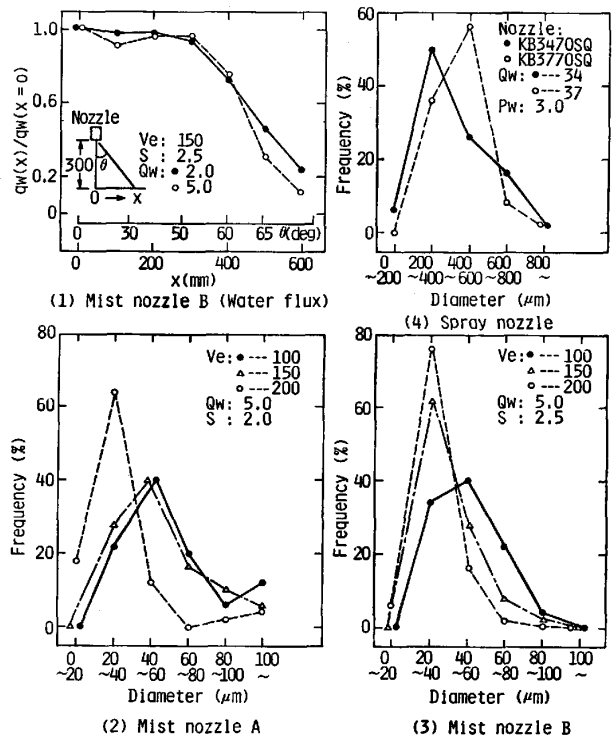
このノズルから噴出されるスプレーの水量分布をFig. 6に示す。この図から、空気を吹き込むことによつて、スプレーの水量分布は若干広がることになる。また、目視観察によると、スプレーの水滴径は、長軸方向の中央部では相対的に大きく、端部では小さい。

吹き込み空気量は、ミストノズルのそれより少なく、 A/W (質量流量比) は 0.005~0.05 程度でよい。最適な空気量は、閉塞防止の目標値、ノズル孔寸法、水質、加圧空気費などから決められる。空気の吹き込み位置は、スプレーの脈動防止のため、可能な限りノズルに近いことが望ましい。

3. ミスト冷却用水空気供給システムの開発

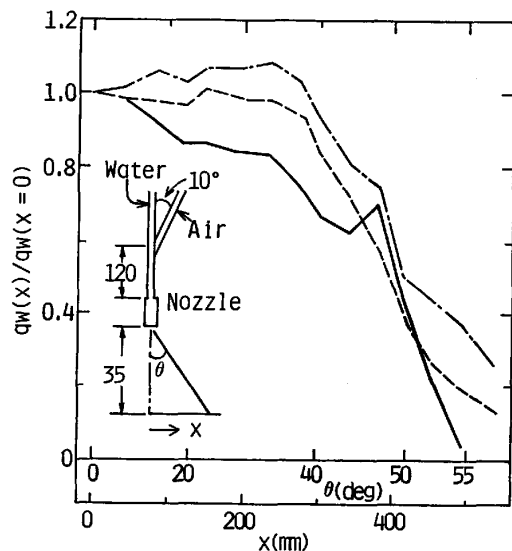
3.1 ヘッダへの冷却水供給の均一化

湾曲型 CCM の場合、湾曲部のゾーンの水ヘッダ間に水頭差が存在するため、給水本管から各ヘッダへの給水量にばらつきが生じる。これを回避するため、各ヘッダ



Q_a, Q_w : Flow rate of air and water ejected from a nozzle
 $q_w(x)$: Amount of collected water at $X=X$
 A/W : Mass flow ratio of Q_a/Q_w
 V_e : Exit speed of air (m/s), S : see Fig. 4
 P_w : Water pressure in header (kgf/cm²-G)

Fig. 5. Water flux and water droplet size distribution (Practical mist nozzles and full cone spray nozzles).

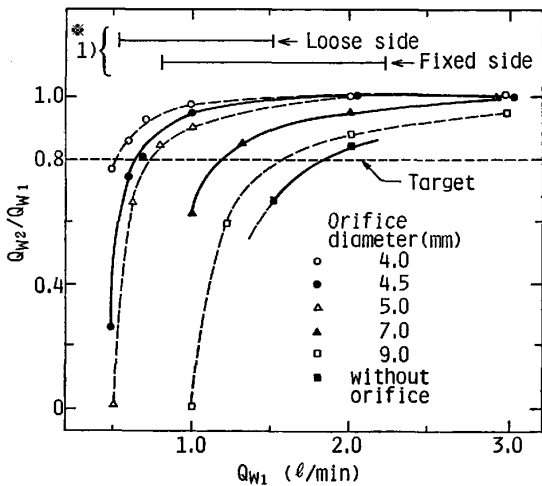


Q_a (NI/min)	Q_w (l/min)	A/W
0	40	—
250	40	0.008
250	16	0.02

Nozzle: Water 120l/min and spray angle 115°
at 3 kgf/cm²-G

Q_a, Q_w, q_w : See Fig. 5

Fig. 6. Water flux distribution in spray ejected from a practical air injection nozzle.



※1) Required water flow ranges of the nozzle in this zone.
 Q_{w2} : Water flow ejected from a nozzle at the highest level in this zone.
 Q_{w1} : Average water flow in this zone.
 Maximum header level difference in this zone: 1800mm
 Fig. 7. Effect of the header orifice on the uniformity of water flow ejected from practical nozzles at various levels of the secondary cooling zone.

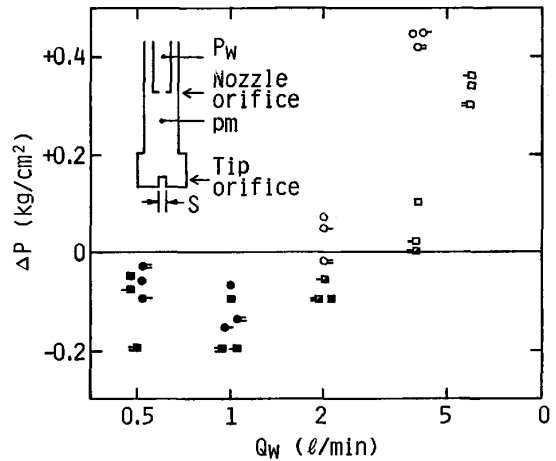
の給水側に流量調節用オリフィス（以下ヘッダオリフィスと記述）を取付けた。このオリフィスの効果の例を Fig. 7 に示す。この例では、各ノズルからの噴出水量（設定値）の下限値は、上面（以下L面）0.5, 下面（以下F面）0.8 l/min であり、最上段ヘッダと最下段ヘッダの水頭差は 1.8m である。最上段ノズルからの噴出水量 Q_{w2} とこのゾーンの設定水量 Q_{w1} の比 (Q_{w2}/Q_{w1}) を 0.8 以上にすることを設計基準にした。

Fig. 7 によると、同じ Q_{w1} に対する Q_{w2}/Q_{w1} の値は、オリフィス径の減少につれて増大する。この図から、 Q_{w1} の下限値に対して $Q_{w2}/Q_{w1} \geq 0.8$ を満足するオリフィス径は、L面 4, F面 5mm である。

3.2 ミスト流の脈動現象

ミストノズルの場合、空気噴出量 Q_a 一定のもとで水噴出量 Q_w を減じると、ミスト流が脈動現象（水の間欠噴出）を起こす。透明アクリライト製ノズルを用いて、この現象を観察した。この結果によると、 Q_w が少なく、かつ給水管内圧力 P_w' と空気・水混合部圧力 P_m (P_w' と P_m の測定位置は Fig. 8 参照) がほぼ等しい場合、配管内の小さな圧力変動などが原因となつて、両圧力のバランスが崩れ、" $P_w' - P_m$ " が周期的に正負に変動するようになる。 $P_w' > P_m$ のとき水管から水が混合部へ噴出し、この水は $P_w' < P_m$ のときノズルからミスト流となつて噴出する。これが脈動現象である。

Q_w と $P_w' - P_m$ が脈動に及ぼす影響を Fig. 8 に示す。この図によると、常時 $P_w' > P_m$ ならば、脈動はほとんど発生しない。したがって、 $P_w'(\text{Min}) = P_m(\text{Max})$



Pulsation	S (mm)		Qa (Nm³/h)	● ○ ■ □
	3.0	4.0		
Existing	●	■	20	○ ○ ○ ○
Indistinct	○	□	30	● ● ● ●
None	○	□	40	● ● ● ●

$\Delta P = P_w'(\text{Min}) - P_m(\text{Max})$
 Q_a, Q_w : See Fig. 5

Fig. 8. Influence of the pressure difference between water and air on the pulsation of mist flow.

を脈動限界とみなすことができる。また、水管の先端にオリフィス（ノズルオリフィス）を取り付けると、脈動限界は低水量側へ移動する。

なお、連続鋳造の場合、鋳片の熱容量が非常に大きいから、ミスト流が脈動を起こしても、鋳片の冷却それ自体にはほとんど悪影響を及ぼさない。

3.3 良好ミストの条件

ミスト冷却の実用化に際して重要なことは、水流を均一に微細化し、かつ安定したミスト流を作ること、およびミスト冷却費用を低減することである。前者は、両流体の質量流量比 Q_a/Q_w (以下 A/W と記述) の増大または空気の高速度化によつて容易に達成されるが、この方式では空気費が増大する。そこで、両者の適切な関係を満足する条件を把握するための実験を行つた (Fig. 9 参照)。

Fig. 9 において、微細ミスト限界②は、目視および手への衝突感触により、“水がほぼ均一に微細化されている”と判断される状態、定量的には、水滴径が約 100 μm 以下とみなせる状態である (Fig. 5 (2) と (3) 参照)。一方、脈動限界①は、3.2 節に記述した現象である。上記の両限界を満足する領域③のミスト状態を“良好ミスト”と呼ぶことにする。この図から、良好ミストは、 A/W または P_a の増大、換言すれば、ノズルへ吹き込む空気エネルギーを増大することによつて得られる。

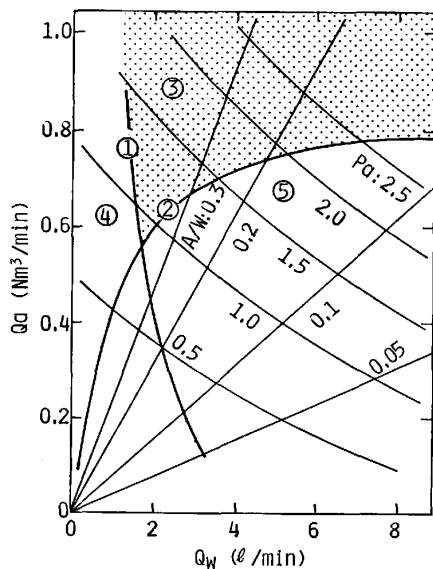
3.4 噴出水量の制御

多くの鋼種を鋳造する CCM の二次冷却には、その冷

却能力を大幅に変えられることが要求され、これは、噴出水量 Q_w の可変範囲を拡大することによつて達成される。ミスト冷却の Q_w の可変範囲は、下記の制約を受ける。

- 下限値：①水量のゾーン内均一分配→水頭差対策
 ②微粒化（ミスト流）の安定性→脈動対策
 上限値：①水と空気の供給能力→経済性の限界
 ②水滴の微細化→微細化能力限界

一般的に、ミスト流の状態は、ノズル構造（ノズルオリフィスを含む）および両流体の流量・圧力に強く影響



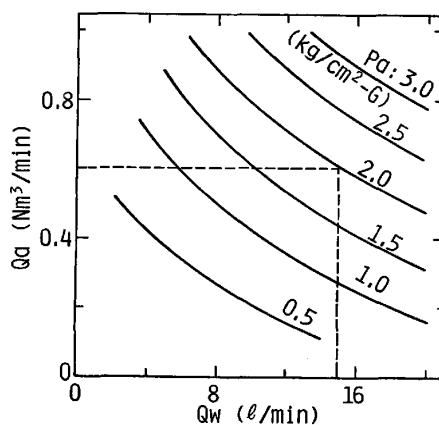
- ① Limitation of pulsation.
 - ② Limitation of fine mist (Water droplet diameter is smaller than about 100 μ m).
 - ③ Stable region of mist flow.
 - ④ Pulsation region of mist flow.
 - ⑤ Coarse mist region.
- Dia. of nozzle orifice: 4mm, S: 2.5mm (See Fig. 4)
 P_a : Air pressure in header ($\text{kgf/cm}^2\text{-G}$),
 $Q_a, Q_w, A/W$: See Fig. 5

Fig. 9. An example of atomization states of mist flow ejected from a practical mist nozzle.

される (Fig. 9 参照)。実用ノズルについて、これらの関係を実験的に求めた結果の例を Fig. 10 に示す。この図において、たとえば、空気圧 P_a を $2 \text{ kgf/cm}^2\text{-G/cm}^2$ 、空気量 Q_a を $0.6 \text{ Nm}^3/\text{min}$ にセットすれば、 Q_w : $1.4 \sim 15 \text{ l/min}$ の範囲が制御可能であり、さらにミスト状態を若干犠牲にすれば (Q_a が減少)、 Q_w : 18 程度まで使用できる。 Q_w の $1.4:18$ は、水量比 $1:13$ 、熱伝達係数 h 比 $1:8$ である ($h \propto Q_w^{0.8}$ と仮定)。

4. 新ノズルの実用結果

本報告に記述した新ノズルは、スラブ CCM に実用されている。各 CCM における新ノズルの採用目的、適用ゾーン、冷却関連設備の仕様などを Table 1 に示す。採用目的は、各 CCM で相違するけれども、すべての CCM に共通している項目は、ノズル閉塞の防止である。鋳片の品質向上を主目的、冷却制御範囲の拡大やノズル閉塞の防止を副目的とする CCM にはミストノズルを、ノズル閉塞防止を主目的とする CCM には空気吹き込



Q_a, Q_w : See Fig. 5, P_a : See Fig. 9

Fig. 10. Controll range of the water flow of a practical mist nozzle with wide controllability (This nozzle is different from one in Fig. 9).

Table 1. Demands for mist cooling and the main specifications of cooling devices for the secondary cooling zone.

Name of CCM		Oita, No. 4, 5	Sakai, No. 1	Kimitsu, No. 3	Hirohata, No. 1
Demand (◎: Main)	Mild cooling	◎	◎	—	—
	Uniform cooling	◎	◎	◎	◎
	Prevention of clogging	◎	◎	◎	◎
	Wide controllability of cooling	—	—	◎	◎
Mist cooling zone		No. 4 to 6	No. 4 to 7	No. 4 to 7	No. 6
Nozzle type		Mist	Mist	Mist	Air-injection
Diameter of header orifice (mm)		6	4	4	—
Nozzle arrangement	Nozzle spacing (mm)	400 to 540	325	200 to 500	one nozzle/header
	Nozzle distance (mm)	200 to 260	120	150 to 300	350
Water flow range (l/min-nozzle)	Loose side	1 to 9	0.9 to 11	1.3 to 17	7 to 21
	Fixed side	1 to 12	1.3 to 11	1.3 to 17	10 to 33
Start of mist cooling operation		No. 4: Aug., 1980 No. 5: April, 1981	Jan., 1981	Jan., 1982	July, 1979

みノズルを使用する。

4.1 ノズル閉塞の低減効果

新ノズル採用前のスプレーノズルの閉塞状況の例を Fig. 11 に示す。この図から、ノズル閉塞は、ノズル孔径の減少につれて急増することがわかる。一般的に、二次冷却帯の噴射水量は、モールドから遠ざかるにつれて減少するから、IVまたはVゾーン以降に噴出水量の少ないノズル、すなわち噴水孔の小さいノズルが使用される。この結果、多くのCCMでは、これらのゾーンのノズルが閉塞しやすい (Table 2 の広畑 CCM 参照)。したがって、閉塞防止を目的とする CCM では、IVゾーン以降のゾーンに新ノズルを使用することが多い。

新ノズル採用後のノズル閉塞の発生状況を Table 2 に示す。この表から、新ノズルを使用しているゾーンのノズル閉塞割合は、スプレーノズルのそれより非常に小さいこと、および新ノズルの採用によつて、ノズル整備作業が減少していることがわかる。

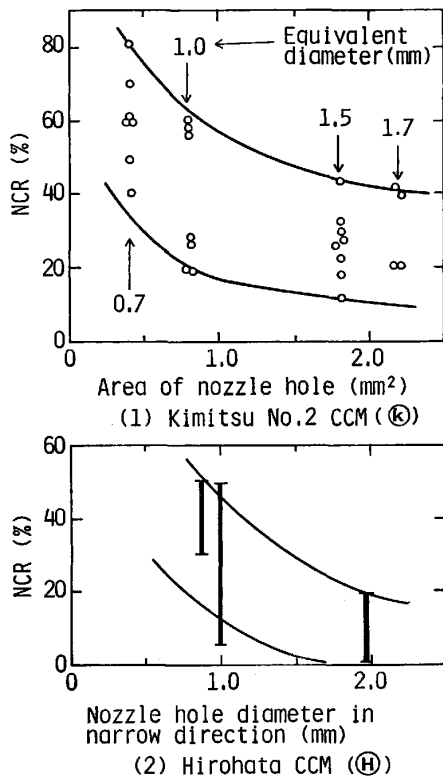
4.2 ミスト冷却の冷却特性

ミスト冷却またはフラットスプレー冷却されているスラブの表面温度を同じ場所で測定した例を Fig. 12 に

Table 2. Comparison of clogging and maintenance of mist nozzles with those of spray nozzles.

	Works	Mist cooling zone	Spray cooling zone
Clogging	Oita Sakai Kimitsu	Little Little Little	Use of walking bar About 20%/4 months About 20%/5 months
	Hirohata*	0.89%/Half-month	I : 1.5, II : 2.5, III : 14.2, IV : 17.4 and V : 19.8%/Half-month
Maintenance	Oita Sakai Kimitsu	Exchange of 15 nozzles/2 months (About 500 nozzles/CCM) Check/Half-month No clogging observed so far	Use of walking bar Check/Cast Exchange of clogged nozzles/3 to 12 months
	Hirohata*	Cleaning of clogged nozzles/Half-month	Cleaning of clogged nozzles/Half-month

* Air-injection nozzle



- ① Nozzle : ㊤ Flat and full[cone spray
 ㊦ Flat spray
- ② NCR : Ratio of clogged nozzles in each segment
- ③ Working time : ㊢ About 5 months
 ㊣ About 10 days

Fig. 11. Examples of clogging of spray nozzles used in the secondary cooling zone.

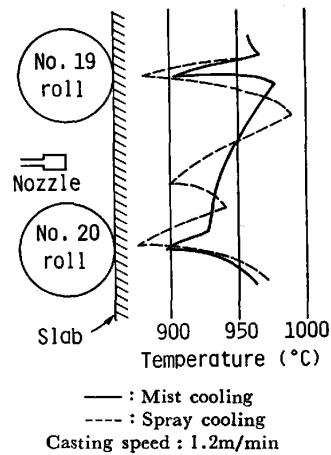


Fig. 12. Examples of the slab surface temperature change measured by stud-welded sheathed thermocouples (Oita No. 5 CCM).

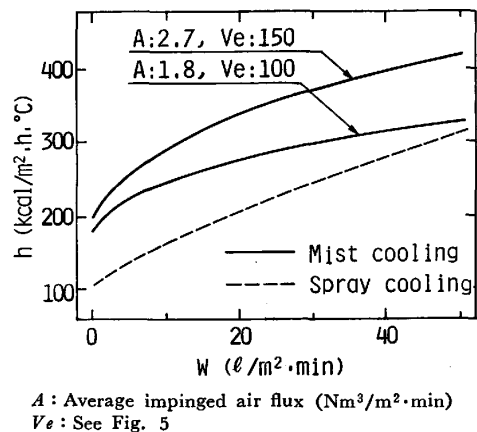


Fig. 13. Relationship between average heat transfer coefficient, h and average impinged water flux, W in the secondary cooling zone (V zone of Oita No. 5 CCM).

示す (改造前と後で測定)。この図の温度パターンは、両冷却法の冷却機構の違いを示している。もちろん、この図は、代表的なパターンであり、他にも種々のパターンが存在する (別報⁶⁾Fig. 7 参照)。また、この図から、ミ

スト冷却の場合にも、スラブはロールとの接触によつて強冷されることがわかる。

次に、同じゾーンで測定したミスト冷却とスプレー冷却（改造前の測定）のゾーン内平均熱伝達係数 h （すべての冷却を含む）を Fig. 13 に示す。この図から、

- i) 噴射水量 W が同じ場合、ミスト冷却の h (h_{mist}) は、スプレー冷却の h (h_{spray}) より大きい。
- ii) W が同じ場合、 h_{mist} は空気の噴出速度に比例して増大する。

ことがわかる。i) の現象は、空気単独の冷却効果およびミスト流による熱伝達面積の増大に起因するものと考えられる。スプレー冷却の場合、ロール上部に溜つた水がスラブ端部から落下するため、端部が強冷される。これに対し、ミスト冷却の場合、空気によつて水滴が吹き飛ばされるため、溜り水がほとんど存在せず、この結果、端部過冷が軽減される（別報⁶⁾ Fig. 9 参照）。

4.3 ミスト冷却の課題

(1) ミスト冷却費用の低減

今回開発したミスト冷却には、2~3 kgf/cm²-G（ヘッド内圧力）の加圧空気を使用するため、空気系の設備費および運転費（3~10 kWh/t-slab）が高い。したがって、これらの低減が課題である（例：外部混合型ノズル）。

(2) ロールによる強冷の防止

ミスト冷却を採用しても、鋳片は、ロールとの接触によつて強冷される（Fig. 12 参照）。したがって、鋳片からロールへの熱伝達を低減することが必要である（例：ロールの高温化、ロール表面への断熱材取付け）。

(3) スラブ端部の弱冷化

ミスト冷却を採用しても、スラブ端部の温度は低い。したがって、スラブ幅に応じて水量分布を容易に変更できる技術が必要である（例：水量分布可変ノズルまたはノズル配置、ミスト流遮断装置）。

5. 結 言

連鋳鋳片の均一冷却、緩冷却、ノズル閉塞防止などを

行うため、二次冷却用ミスト冷却技術・設備を開発し、新日本製鉄(株)大分、堺、君津および広畑の各製鉄所のスラブ連鋳機に実用している。主な結果は、次のとおりである。

(1) ミストノズルには内部混合型ノズルを、空気吹き込みノズルには市販のフラットスプレーノズルに加圧空気を吹き込む方式を開発した。

(2) 新ノズルを使用しているゾーンでは、ノズル閉塞の発生は非常に少ない。

(3) ミスト冷却の場合、鋳片表面温度の変化は、スプレー冷却のそれより小さく、また、噴射水量が同じ場合、ミスト冷却の冷却能力は、スプレー冷却より大きい。

最後に、本開発に際し有意義な助言・協力をいただいた新日本製鉄(株)の連鋳・熱技術の関係者、実験を担当していただいた熱技術の関係者に深く感謝致します。

記 号

Q_w, Q_a : 水と空気の噴出流量 (l/min, Nm³/min)

P_w, P_a : 水と空気のヘッド内圧力 (kgf/cm²-G)

q_w : 受水量 (l/min-area)

A/W : 空気と水の質量流量比 (Q_a/Q_w) (-)

Ve : 空気(ミスト)の噴出速度 (Nm/s)

S : ミストノズルの噴出孔の幅 (mm)

文 献

- 1) 松宮 徹, 佐伯 毅, 田中 純, 有吉敏彦: 鉄と鋼, 68 (1982), p. 1782
- 2) 河野拓夫, 島 孝次, 桑原達朗, 溝口庄三, 山本利樹, 三隅秀幸, 常岡 聡: 同上, 68 (1982), p. 1764
- 3) 佐伯 毅, 大口 滋, 溝口庄三, 山本利樹, 三隅秀幸, 常岡 聡: 同上, 68 (1982), p. 1773
- 4) P. BENOIT and Ph. PITHOIS: The Met. Soc., Book No. 184 (1977), p. 89
- 5) G. KAESTLE, H. JACOBI, and K. WÜNNENBERG: Steelmaking Proc., 65 (1982), p. 251
- 6) 河野拓夫, 島 孝次, 桑原達朗, 山本利樹, 和気誠, 常岡 聡: 鉄と鋼, 68 (1982), p. 1792
- 7) 三塚正志, 福田敬爾: 同上, 65 (1979), p. 674
- 8) H. SCHREWE: Ironmaking Steelmaking, (1981) 2, p. 85
- 9) ドイツ特許 2816441 公報 (特開昭 54-138824 公報)