

## 転炉における無倒炉操業法について\*

成田 進\*\*・海保信恵\*\*\*・古崎 宣\*\*\*・増尾 久\*\*\*

### Quick Tapping BOF Operation

Susumu NARITA, Shine KAIHO, Toru FURUSAKI, and Hisashi MASUO

#### Synopsis:

No. 2 Steel-making Plant of Muroran Works, Nippon Steel Corporation has developed a new technique of L.D. converter operation, that is, sampling and temperature measurement has come to be executed by sub-lance with a unique senser without tilting the vessel, which is named "Quick Tapping". Effects of Q. T. operation are as follows. (1) By the elimination of temperature measuring and sampling operation, considerable labor can be saved. (2) By the reduction in temperature measuring and sampling time, increase in production can be expected. (3) As no molten steel flows out when temperature measuring and sampling are executed, reduction in yield can be prevented. (4) Since the molten steel stays in the furnace for a shorter time, the life of the furnace can be prolonged. (5) As the temperature of the refractories does not drop the target tapping temperature can be lowered. (6) There is no disastrous accident which is related to safety and tilting operation. Q. T. operation was put into practice in November of 1972 and completed for all heats in September of 1973. Q. T. operation has largely contributed to high productivity. No. 2 Steel-making plant made a new record of 111 heats per day in October 16th in 1973.

#### 1. 緒 言

転炉操業法にサブランス、コンピューターが導入されて以来、測温、サンプリング、湯面測定などに見られるようにサブランス技術<sup>1)~4)</sup>は溶鋼成分、温度適中率の向上に大きな成果をもたらしたが、予備情報としての段階にとどまり、出鋼前の最終決定の測温、サンプリング作業は依然として転炉を倒し人力によるイメージセンサーモカップルの浸漬及びスプーンによる湯汲みが行なわれていた。測温、サンプリング時間は高能率化が進むにつれ製鋼時間に大きな比率を占めるようになり、又この作業は多くの人手を要する高熱重筋作業でもあり、災害や事故も数多く発生しており製鋼作業のうちでも省力化すべき大きな課題であつた。新日本製鉄室蘭製鉄所第二製鋼工場(100t 転炉×2, 110t 転炉×1, 2/3 基操業)ではそれらの諸要求に答えるために炉内の溶鋼成分、温度管理を全面的にサブランスに委ね、従来の人手による測温、サンプリング作業を省略した全く新しい無倒炉操業技術(Quick Tapping Operation)を確立した。

その効果は

- (1) 人力による測温、サンプリング作業が省略される。
- (2) 測温、サンプリング時間が短縮され、増産が期待できる。
- (3) 測温、サンプリング時に溶鋼流出がなく、歩留低下の防止ができる。
- (4) 溶鋼の在炉時間が短くなり、炉寿命が延長される。
- (5) 倒炉による溶鋼の温度低下が無く、出鋼目標温度を下げる事ができる。
- (6) 測温、サンプリング時の災害、傾動事故は皆無となる。

などが挙げられる。

今日では作業の標準化と定着化が進められ適用率 100%の完全なQ.T.操業法を実施し、高能率化操業技術として確実な進歩と向上が図られ多大な成果をもたらしている。

\* 昭和 49 年 11 月本会講演大会にて発表 昭和 50 年 5 月 16 日受付 (Received May 16, 1975)

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

\*\*\* 新日本製鉄(株)室蘭製鉄所 (Muroran Woks, Nippon Steel Corp., 12 Nakamachi Muroran 16, 050)

## 2. Q.T. 操業法の開発経過

### 2.1 Q.T.-1 型サンプラーの完成 (昭和47年9月)

無倒炉操業法を目的としたカーボンデタミネーターの試験を進めてきたが成分判定は [C] 値だけではなく、[Mn], [P], [S] 値をも必要とするため、サブランスによる同時测温、サンプリングができ、しかもすばやく発光分光分析ができるサンプラーが当工場に最適であるとの判断により昭和47年4月にその開発に着手した。そして温度、成分などに関する各種データの集積を進め、極めて成功率の高い Q.T.-1 型サンプラーが完成した。

### 2.2 ダブルキャッチカーボン法への応用 (昭和47年10月)

高炭素低磷鋼の精錬の場合炭素の吹き下げを防止するために、目標 [C] 値以上の点でいつたん吹止めし、サンプルの採取を行ない適切なアクションを取りながら再吹錬をするダブルキャッチカーボン法は2回の测温、サンプリング時間の合計は通常よりも2.5倍も延長させるため测温、サンプリング時間の短縮を目的に Q.T. 操業法を応用し、1.1 min 短縮された。

・ダブルキャッチカーボン法の実績测温、サンプリング時間の比較

従来法  $\bar{X} = 15.6 \text{ min}$

Q.T. 操業法応用後  $\bar{X} = 14.5 \text{ min}$

### 2.3 低炭素リムド鋼の Q.T. 操業法開始 (昭和47年11月)

増産対策のひとつとして低炭素リムド鋼に Q.T. 操業法を実操業に採用することになり、吹止サブランス温度のコンピューター読み込み、光字管表示、炉頂からのサンプル輸送管、水槽などの設備の設置、改造を行なった。そして Q.T. 操業法開始後はトラブルもなく、現場の協力により生産は著しく向上し、104 heats/day の当工場の日産新記録が達成され、Q.T. 操業による転炉製鋼の高能率化時代へ第一歩を踏み出した。

・低炭素リムド鋼の実績测温、サンプリング時間の比較

従来法  $\bar{X} = 3.8 \text{ min}$

Q.T. 操業法  $\bar{X} = 1.6 \text{ min}$

・生産状況

103 heats/day 日産タイ記録 (昭和47年11月23日)

104 heats/day 日産新記録 (昭和47年12月31日)

### 2.4 全 Q.T. 操業開始 (昭和48年9月19日) と 111 heats/day 日産新記録 (昭和48年10月16日)

全 Q.T. 操業開始後幾つかのトラブルがあつたが10月

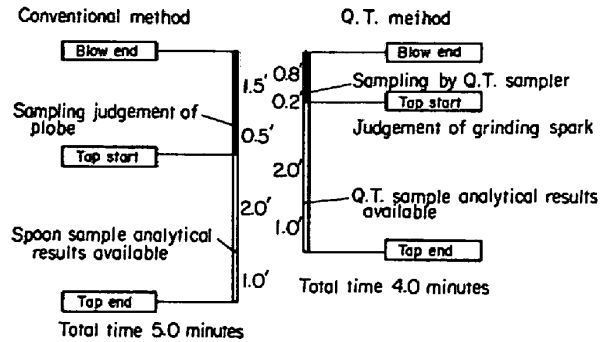


Fig. 1. Q.T. method of low carbon steel tapping.

初旬には安定した操業ができるようになり、さらに第1高炉の改修後の出銑増加に伴い平均 95 ch/day というかつてない高能率で生産が続けられた。そして10月16日には 111 heats/day という驚異的な当工場の日産新記録が樹立された。又全 Q.T. 操業後の全鋼種の测温、サンプリング時間は Q.T. 操業実施以前の 6.3 min から 4.4 min に短縮された。

## 3. Q.T. 操業法

### 3.1 操業手順

吹止 50 sec 後サブランスを炉内に下降させる。サブランスは鋼浴中で静止時間 2~3 sec、浸漬深さ 500~600 mm を保持し上昇する。上昇したサンプルは回収し作業床カッター室に送られる。サンプルは赤熱のままただちにカッターで切断し分析室に気送する。分析室ではサンプルの分析面研磨-Q.V. 分析-成分判定が行なわれる。さらに分析待ち中にサンプル残片のグラインダーによるスパーク判定を行なう (Fig. 1)

### 3.2 Q.T. 出鋼法

Q.T. 出鋼に際しては溶鋼の成分及び温度を正しく、しかも速く決定し、適確に出鋼のアクションを取らなければならない。そのため今まで蓄積したあらゆる方法を駆使し数 min 間の出鋼に対処する。現在成分適中に対し

(吹止時)

- (1) フレームの判定
- (2) コンピューターの活用
- (3) 排熱ボイラーの蒸気発生量

(出鋼時)

- (4) Q.T. サンプル残片のパーク判定
- (5) Q.V. 分析値判明により [Mn], [Al] の微調整の方法が適用されている。低炭素鋼の Q.T. 出鋼を例に

取れば、低炭素鋼の場合吹錬者はフレーム判定に非常に高い精度を持っているため、フレーム判定で [C] 値を決定し吹止める。吹止 50 sec 後 Q.T. サンプラーで测温

サンプリングを行ないただちに出鋼を開始する。出鋼初期回収したサンプルを切断、気送後サンプル残片のグラインダースパークで [C] 値を判定し [Mn], [Al] の投入量を設定し、出鋼開始後 2 min で分析値が判明し [Mn], [Al] の微調整を行なう。この他に中、高炭素鋼それぞれのパターンにしたがって出鋼されている。

#### 4. 溶鋼成分管理

吹止後の溶鋼成分管理は成品の品質を保障する上で最も重要なプロセスのひとつである。吹止後の炉内溶鋼成分は決して一様ではなく、転炉の形状や吹錬条件および吹止後の静止時間によつてその均一化は著しく影響されるため、吹止溶鋼成分管理に当たっては吹止後の炉内溶鋼成分の変化を明らかにし、その溶鋼成分を代表するサンプルをより速く採取することにまず留意しなければならない。

##### 4.1 Q. T. サンプルの偏析

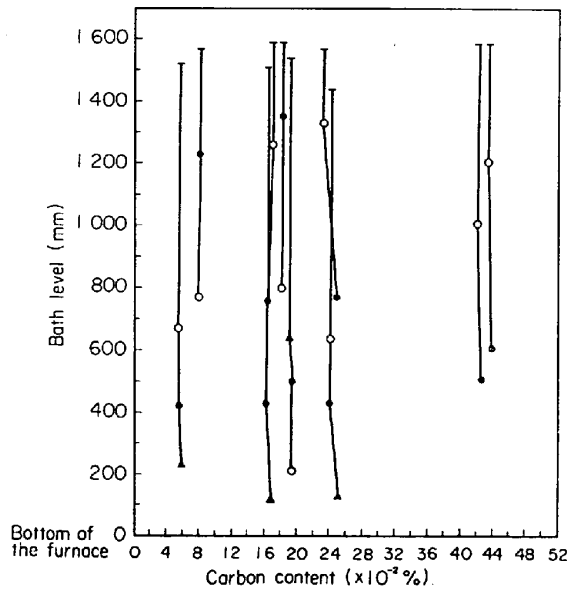
Table 1 は Q. T. サンプラーを使用して採取したサンプルを二つ割にしてサンプル底部から 10 min 間隔で Q. V 分析を行なった結果を示す。サンプル上の数字は分析位置を示す。低炭素鋼、中炭素鋼の場合各成分とも偏析はあまり認められないが高炭素鋼の場合 Table 1 に見られるように [C], [Al] は分析位置に影響され、サンプル上面に近くなる程低値を示す。その原因は明らかではないが [Al] の場合、高炭素鋼中の酸素に対し使用する脱酸アルミニウム量が多く、しかもサンプラー容器にはいる溶鋼はすばやく凝固するため、 $Al_2O_3$  の浮上はあまり期待できず、サンプル底部に [Al] 偏析が著しく現われると考えられる。しかし [Mn], [P], [S] の成分値の規格範囲が比較的幅広いので特に問題はないが [C] は  $\pm 2 \times 10^{-2} \%$  以内の分析精度を必要とするため成分値を決定する際偏析は大きな障害となる。そこで溶鋼成分を決定するに相応しいサンプルの分析位置を設定するため、多くのサンプルの偏析状況を調査した結果サ

ンプルの底部から 30 mm 以内では [C] の差は  $2 \times 10^{-2} \%$  以内で [C], [Al] とも安定した成分値が得られるがその範囲を越えると著しいバラツキが発生することが判明した。したがって溶鋼成分は Q. T. サンプルの底部から 30 mm 以内で決定することが望ましい。

##### 4.2 鋼浴深さによる成分偏差

吹錬中、溶鋼の反応は酸素ジェットの火点、スラグ界面及びスラグと溶鋼がエマルジョンを作る鋼浴上部、そしてスラグ中の粒鉄で進行すると考えられるため、吹止直後では、反応の進行している鋼浴上部と攪拌によつてのみ成分の均一化が進む鋼浴下部では当然成分偏差は生じていると推定される。

Fig. 2 は吹止後サブランスにそれぞれ鋼浴深さを変えてサンプリングを行ない鋼浴中の成分偏差を調査した結



Note  
 ○ : First sampling about 1 min after the blow end  
 ● : Second sampling about 2 min after the blow end  
 ▲ : Third sampling about 3 min after the blow end  
 — : Bath level

Fig. 2. Change of carbon content of molten steel in the furnace according to bath depth.

Table 1. Segregation of Q. T. sample (high-carbon steel).

Sample - I	Chemical composition	C $\times 10^{-2} \%$	Si $\times 10^{-2} \%$	Mn $\times 10^{-2} \%$	P $\times 10^{-3} \%$	S $\times 10^{-3} \%$	Al $\times 10^{-3} \%$
① ② ③ ④ Bottom	Analysing position 1	76.6	1	31	22	14	31
	Analysing position 2	77.2	1	30	20	13	82
	Analysing position 3	77.4	1	30	22	15	172
	Analysing position 4	78.5	1	30	23	15	252

果を示す。調査結果では鋼浴深さによる成分偏差はサンプルの偏析、及び分析精度を考え合わせると明確ではないが炉底部に近い溶鋼の[C]値がわずかながら高値を示している。また、スラグ界面付近では吹止後スラグ中の粒鉄の鋼浴への還元などから鋼浴中心の成分とは異なると考えられ、しかもそれは後述するがスラグ界面付近でサンプリングするスプーンサンプルとサブランスによるQ.Tサンプルとの成分差にも影響を与えていると推測されるが、調査結果から明らかにすることはできなかった。しかし結果から吹止後1 min以上の静止時間が保持されるとスラグ界面及び炉底付近を除けば成分は鋼浴深さによつて大きな影響を受けないと考えられる。

#### 4.3 吹止後の炉内溶鋼成分変化

吹止直後の鋼浴の成分偏差は吹錬条件に影響を受け、またその均一化の進行は当然静止時間に影響される。したがって鋼浴の静止時間と成分の均一化の関係をj知することは成分の適中率向上およびサンプリング時間の短縮に大きく貢献する。

Fig. 3は吹止直後からサブランスを降下させてQ.Tサンプラーで1 min間隔で炉内溶鋼をサンプリング(サンプリング位置は鋼浴面下500~600 mmでほぼ鋼浴の中心)し、Q.V分析を行ない吹止後の成分の経時変化を示したものである。吹止後の炉内溶鋼成分は吹止直後高値を示し、特に[C]、[P]は著しいが[C]は0.5 min、[P]は2 minの経過時間でほぼ安定する。その他の成分は特に大きな経時変化は見られない。しかし経過時間とともに成分値は上昇するケースがある。この現象は中、高炭素鋼で稀に見られるが特にソフトブローを行なう鋼種に多い。この成分変化は各成分共同傾向を示すことから推定すると、ソフトブローによつて鋼浴下部にデッドスペースができ、吹止後溶鋼の流動によつて均一化が進行する過程で発生すると考えられる。したが

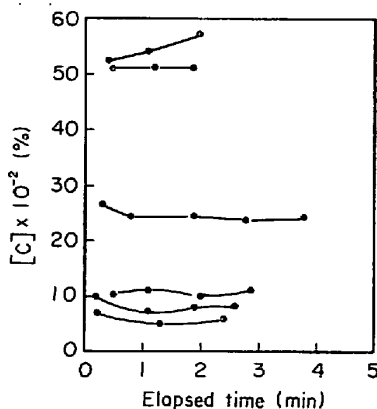


Fig. 3. Chronological change in chemical composition of molten steel in furnace.

ってソフトブローによつて吹錬を行なつた場合、吹錬末期には鋼浴を十分攪拌を行なう工夫を講じなければならないし、特に大型の転炉ではデッドスペースが生じない炉形状を考える必要がある。以上の調査結果から[C]は30 secの鋼浴静止時間で十分安定した成分値が得られ、また他の成分については規格成分範囲が広いため成分決定に特に支障はない。しかしスラグのボイリングがあれば大きな経時変化を示すのでスラグボイリングの静まる時間も考慮して50 secを標準作業と設定した。温度については後述する。

#### 4.4 鑄型キルサンプルとQ.Tサンプル

サンプリング方法にはスプーン内で脱酸して鑄型に注ぐ方法と鑄型内で脱酸する方法及び直接サンプリング法がある。スプーンキル法では脱酸の際スラグからの還元により[Mn]、[P]に正誤差を、鑄型キル法では鑄型内に溶鋼を注ぐとき空気酸化により[C]、[Mn]、[P]に負誤差を与えられているが、直接サンプリング法はこれらの危険性がないと考えられる。そこでサンプリング方法によつて定量的にどの様な差が生じるかを通常の炉前作業で行なわれている鑄型キルサンプリングとQ.Tサンプラーによる直接サンプリングで採取したサンプルを比較し、Fig. 4に示す。手順は、

- (1) 吹止後0.5~1.0 minでQ.Tサンプラーで直接サンプリング
- (2) さらに1.0 min後倒炉レスプーンで鑄型キルサンプリング

Fig. 4から[C]は0.00~0.02%、[Mn]は0.02~0.03%、[P]は0.003~0.005%、[S]は0.001~0.002%いずれも直接サンプリングが高値を示している。また[S]は直ちに水冷したものと5 min後に水冷したもので

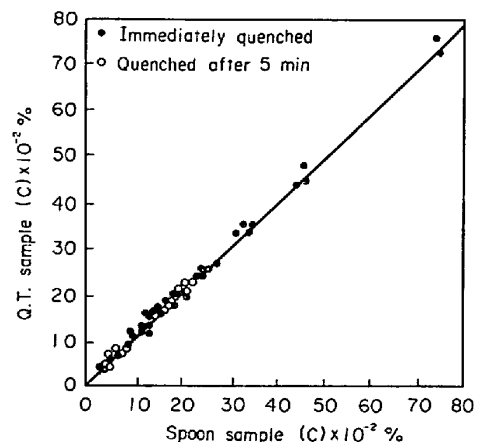


Fig. 4. Comparison of chemical composition of samples taken by mold killing sampling method and direct sampling method using the Q.T. sampler.

は後者が高値を示す。したがってサンプルはサンプリング後直ちに急冷凝固しなければならない。

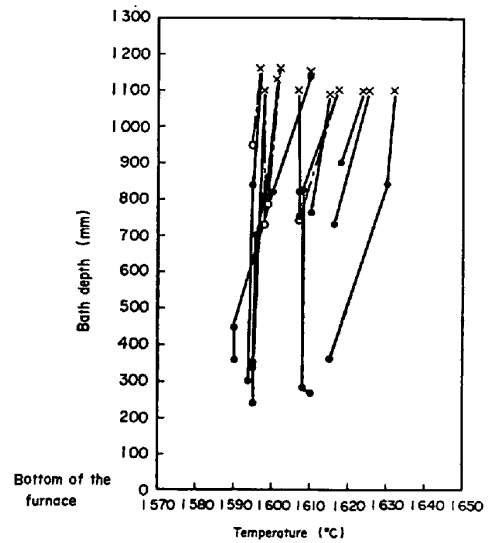
### 5. 溶鋼温度管理

溶鋼の温度管理は正しい鑄込温度と最少の熱放散を管理することにまず基礎を置かなければならない。鑄込温度はキズの発生など品質に著しく影響を及ぼすばかりでなく、鑄型、定盤原単位や能率にも大きく影響し、また熱放散を最少にすることは吹止温度を引き下げることができ、炉体煉瓦原単位の引き下げや溶鋼歩留向上に貢献するからである。温度管理の中でも吹止温度は鑄込み温度に直接影響をおよぼすため十分な管理が必要であるが、現在でも炉中の溶鋼温度の実態は明らかにされていない。というのは従来は倒炉し、イマージョンサーモカップルをホルダーに装着し人力で浸漬する方法であつたため鋼浴の極表面のみを測温するにすぎなかつたからである。しかしサブランスによる測温は深さ方向に測温位置を自由に選択することができ、鋼浴の代表温度を決定する上ではるかに優れているといえる。Q.T.操業法はこの優れたサブランスの特性を活用し、より一層正しい温度管理をするものである。また従来の温度管理を覆すのではなく、従来法とサブランス法とを比較検討し、訂正及び補正することに主眼を置き調査、研究を進めている。

#### 5.1 鋼浴深さによる温度偏差

吹止直後の鋼浴温度は決して均一ではなく酸素ジェットの火点である上部と攪拌力の弱い炉底付近、さらにハードブローやソフトブローなどの吹錬条件の違いによつても炉内溶鋼の温度偏差は当然発生する。また吹止時のスラグ温度は鋼浴温度と比べて 30~50°C 高いという報告<sup>5)</sup>がある。これは酸素ジェットが溶鋼に当たつて高温となつている火点で FeO が生成し、それがスラグ中に移行することによると考えられる。そのため吹止時は当然スラグから鋼浴へと熱は移動し、スラグ界面における鋼浴が最も高温を示すことが予想される。

Fig. 5 は測定位置（深さ方向）による温度偏差を示したものである。Fig. 5 からスラグ界面における鋼浴温度はバラツキがあるがいずれも高くその影響は湯面下 300~400 mm まで及んでいると推定され、それ以下の鋼浴深さでは温度偏差は非常に小さくなつている。またその温度差は吹止温度の高い連鑄材が大きく、これは明らかに吹錬条件によるものと考えられる。以上の結果から鋼浴温度を代表する測定位置はスラグ界面ではなく、ほぼ鋼浴の中心である湯面下 500~600 mm が最も適正であると思われる。



Note

- × : Measured by a hand immersion thermocouple from mouth of tilted furnace about 2 min after the blow end
- : Measured by a sub-lance about 30 second after the blow end (before the tilting furnace)
- : Measured by a sub-lance about 20 second after the measuring from mouth of tilted furnace

Fig. 5. Temperature change according to bath depth.

#### 5.2 鋼浴静止時間と Q.T. 出鋼温度補正

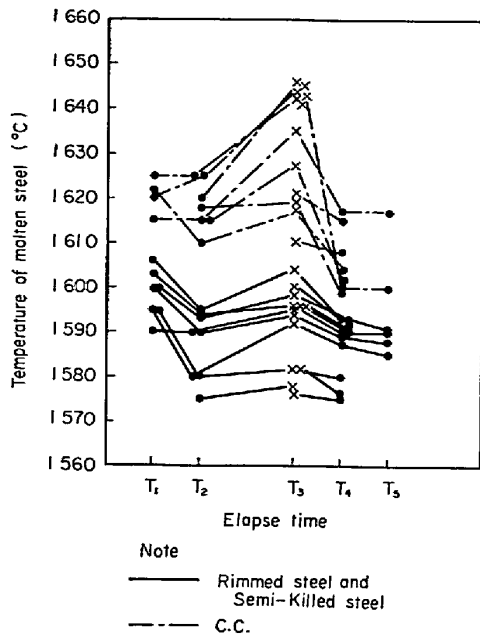
吹止直後の鋼浴は運動しており、スラグはまだ反応を継続しているため、成分、温度の代表値を得るためにはその静止時間を設定する必要がある。またそれは測定時間の短縮と温度適中率向上に直接影響を及ぼすため適正な設定をしなければならないことは言うまでもない。

Fig. 6 は吹止後、昇熱や冷却のアクションを取らないヒートの経過時間と温度変化及び従来法とサブランス法による温度を示したものである。Fig. 6 より次の事が判明した。

- (1) 吹止直後の  $T_1$  より約 1 min 後の  $T_2$  は 10°C 低下している。
- (2)  $T_2$  に比べ従来法測温による温度  $T_3$  は造塊材で 5~10°C、連鑄材で 10~20°C 高い。
- (3) 倒炉測温後の  $T_4$  は  $T_2$  に比べ造塊材で 0~5°C、連鑄材で 10~15°C 低下する。
- (4)  $T_4$  とさらに約 1 min 後の  $T_5$  では約 0~2°C 低下が見られるがほぼ変化はない。

以上の事実から(1)は溶鋼の流動により鋼浴温度がほぼ均一化されたと考えられるため先の成分安定をも考慮し鋼浴の静止時間を 50 sec と設定した。また Q.T. 出鋼基準温度  $T$  は

$$T = \text{従来の基準目標温度} - (\text{測定位置による補正} + \text{倒炉による温度降下の補正})$$



Note

- T<sub>1</sub>: Temperature measured by a sub-lance immediately after the blow end
- T<sub>2</sub>: Temperature measured by a sub-lance about 1 min after the blow end
- T<sub>3</sub>: Temperature measured by a hand immersion thermocouple from the mouth of tilted furnace about 25 min after the blow end
- T<sub>4</sub>: Temperature measured by a sub-lance about 3 min after the blow end
- T<sub>5</sub>: Temperature measured by a sub-lance about 4 min after the blow end

Fig. 6. Chronological change of molten steel temperature in the furnace. (in case of no action after the blow end)

=従来の基準目標温度 - (10°C + 5°C)

と定めた。また連鑄材では操業の改善により上記基準を適用した。

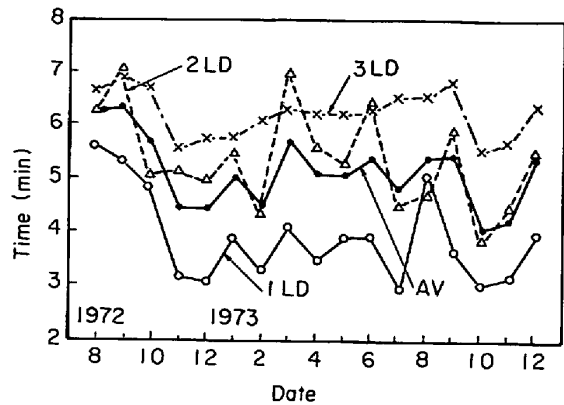
## 6. Q.T. 操業の成果

### 6.1 高能率操業の確立

昭和 47 年 11 月 1 日から増産の期待を担って低炭素リムド鋼に Q.T. 操業法が導入されて以来低炭素リムド鋼の测温, サンプルング時間は 3.8 min から 1.5 min に短縮され 103 ch/day, 104 ch/day をピークとする高能率生産が続けられるに至った。その後多くの問題を克服し昭和 48 年 9 月に全 Q.T. 操業が開始され, 平均 95 ch/day のハイペースで生産が続けられた。そして昭和 48 年 10 月 16 日に 111 heats/day の驚異的な日産新記録が達成され, 测温, サンプルング時間は従来の全鋼種月平均 6.3 min から 4.4 min に短縮された (Fig. 7)。

### 6.2 成分, 温度適中率の向上

全 Q.T. 操業を開始した 9 月には未熟さなどから成分



- Oct. 16 111 heats/day new record
- Sep. 18 start up all Q.T. operation
- Mar. 1 high cold pig ratio
- Dec. 31 104 heats/day
- Nov. 28 103 heats/day
- Nov. 1 start up Q.T. operation
- Sep. 10 completion of Q.T.-1 sampler

Fig. 7. Change of operating time for the steels making.

適中率は一時的に低下したが, その後安定した Q.T. 操業が続けられ, 今日では従来の水準を上回っている。

また, Q.T. 操業開始後は溶鋼温度管理に細心の注意を払い, 改善を進め, さらに品質管理の強化の一環として造塊注入流温度管理が行なわれるようになり, Q.T. 温度監視態勢ができた。さらに昭和 49 年 2 月に Q.T. 温度補正を見直した結果注入流温度適中率は 10% も向上し, リミシングアクションも著しく改善された。

### 6.3 品質

Q.T. 操業は吹止から出鋼までの鋼浴静止時間は極めて短かいため, 品質管理に疑問視する向きもあつたが, 成分, 温度管理と合せ品質管理強化をも進めた結果 Q.T. 操業開始後気泡性欠陥, ヘゲ及び手入れ面積率が著しく低下した。このことから Q.T. 操業法は従来よりも正しい成分, 温度管理によつて品質向上に十分寄与している。

### 6.4 测温, サンプルング作業の省略

従来の高熱重筋作業であつた测温, サンプルング作業が省略され作業の軽減のみならず测温, サンプルング時の事故や災害は皆無となつた。またこの作業の省略により省力化が可能となつた。

## 7. 結 言

Q.T. 操業法は昭和 48 年 9 月より全鋼種に実用化されて以来, 111 heats/day の日産新記録が樹立されるなど高能率操業の要として十分な成果を挙げることができた。また従来の湯面という平面的な溶鋼管理から鋼浴深さをも含めた立体的な管理への移行は品質向上にも十分

な効果が認められ、さらには付随的ではあるが、今日まで十分明らかにされなかつた炉内の溶鋼の状態についても微力ではあるがサブランスにより解明について容与することができた。今後サブランス技術を活用したこの無倒炉操業法はいつそう改善され、ますます発展していくものと確信致します。

文 献

1) 都築誠毅, 湖海克明, 古崎宣, 高橋紀夫: 鉄と鋼 58(1972), p. 151

2) S. TSUZUKI, T. KUWABARA, T. FURUSAKI: Proceedings ICSTIS Suppl. Trans. Vol. 11 (1971), p. 357  
 3) N. NAGAOKA, G. USUI, M. ISHIGURO: Proceedings ICSTIS Suppl. Trans, Vol. 11(1971), p. 351  
 4) D. W. KERN, P. D. STELTS, and R. J. FRA-DENECK: J. Metals, (1971) August, p. 9  
 5) 津田信二, 池田隆果, 丸山雄浄: 鉄と鋼, 56 (1970), p. 186