

解説

Review

熱間鋼片マーキング技術の開発

山田龍三*

Development of Marking Technology for Hot Steel Billet

Ryuzo Yamada

Synopsis

Recently, remarkable progress of distribution technology such as Radio Frequency Identification (RFID), has been made in addition to conventional barcode, two-dimensional array code and electromagnetic card. These technologies play an important role to recognize individually and to improve the trace-ability. In the steel manufacturing process, those technologies are also extremely important. Numerous attempts have been made in the industry to improve the accuracy and make the system automated in the last several decades. Some types of automatic marking presses and paint markers were examined together with character recognize technology at Daido Steel. The purpose of this report is to give an outline of the developments of the system, before 1999, and arrange the technical tasks.

1. 緒 言

製品の識別技術は各産業分野で開発が進められており、既に広く用いられているバーコードや2次元コード、磁気カードに加え、情報の書換えが可能なRFID(Radio Frequency Identification)の導入がすすめられようとしている。これらの技術は、個体識別やトレーサビリティなど、製品の物流分野で重要な役割を担っている。これら識別管理技術は、特殊鋼の製造プロセスにおいても開発が進められてきた。大同特殊鋼(株)(以下、当社という)知多工場は月に約15万トンの特殊鋼を生産しているが、その鋼種は構造用鋼、快削鋼、軸受鋼、ばね鋼、ステンレス鋼など多岐に渡り、識別管理上は数千におよぶロットの管理が必要である。特殊鋼は、自動車、航空機をはじめ各種産業での重要部品として使用されるため、その識別管理は極めて重要である。これら工場内で管理される特殊鋼は、一見するとほとんどが同じ色や形をしており、その違いを外観から見分けることは不可能である。そこで工場内の鋼片には、識別記号が刻印されたり、バーコードが貼り付けられたりしている。

鉄片や鋼片への刻印は、丁金と呼ばれる記号を彫刻した

ハンマーを熱間で打ちつけることにより実施される。特に鋼片への丁金打刻作業は、重筋・危険で、技能が必要な作業である。さらに、月間5万本におよぶ鋼片全てに刻印する必要がある、労働負荷が非常に大きい。そのため、鋼片への丁金打刻作業の自動化、あるいは、丁金に代わるさまざまな熱間マーキング技術の開発がなされてきた。そこで、当社における自動刻印およびペイント技術の開発経緯を概説する。

2. 製鋼プロセスと識別管理

特殊鋼製品の製造プロセスと識別管理方法をFig.1に示す。特殊鋼原料は溶解・精錬・脱ガス後に連続鋳造あるいはインゴット鋳造され、重さ3～6トンの鋼塊が製造される。続いて分塊圧延され、長さ十数m、重さ約2トンの角鋼片に加工される。鋼片は冷却後に非破壊検査が実施され、きず除去後に再加熱され、小棒や線材に圧延される。鋼塊からはインラインでのトラッキングにより識別管理されるが、大型圧延後は冷却床で段積みされ冷却されるためオフラインとなり、トラッキング管理から外れる。そのため、鋼片へは大型圧延後の熱間で丁金打刻により識別記号が刻印され、端面に打刻された識別記号のみが再加熱さ

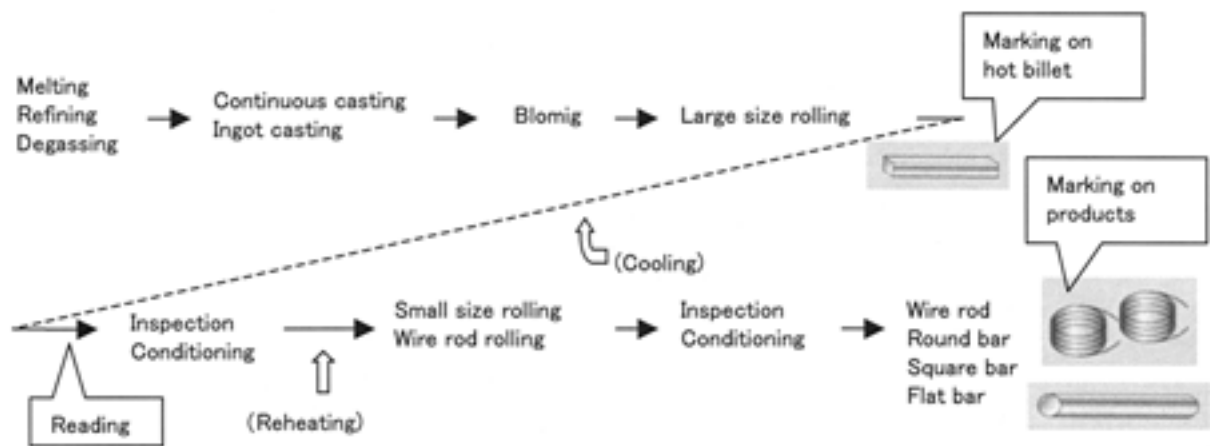


Fig.1. Steel manufacturing process and products discrimination method.

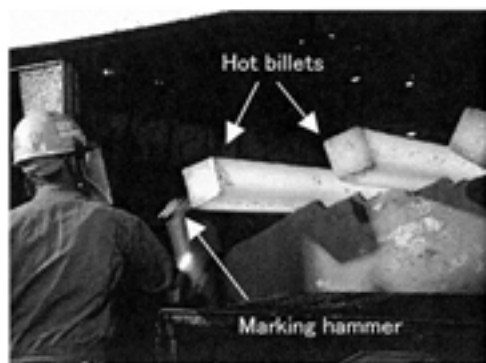


Fig.2. ID number stamping operation.

れ再びインラインするまでの唯一の識別手段となる。小棒や線材圧延後の製品は、バーコードを有するシールなどが貼られ識別される。Fig.2 に熱間鋼片への丁金打刻作業を示す。

3. 鉄鋼各社における鋼片識別管理方法の概要

鉄鋼各社では、1970 年から 2000 年にかけて鋼片の識別管理技術の開発が盛んに行われ、自動刻印装置¹⁾、耐熱塗料を用いたペイント技術²⁾が実用された。一方、マーキングと合わせて識別記号の読み取り技術の開発もすすめられた^{3),4)}。さらには、冷間でのバーコードシステムを導入した物流管理システムへの移行がはかられてきた⁵⁾。

鋼片の識別管理方法を Fig.3 に分類するが、熱間鋼片に識別記号を丁金打刻し、冷却後に視認性を高めるため識別記号をペンキ書きし、さらに目視による引き当てにより下

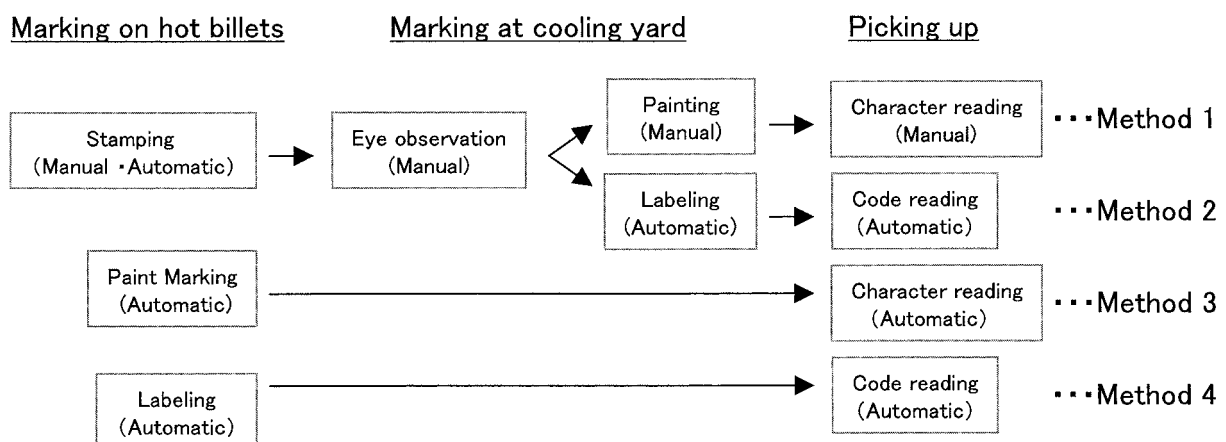


Fig.3. Billets discrimination methods.

工程へインライン化する方法（方式 1）、冷却後にバーコードを印刷したシールを貼り付け、バーコードを自動で読み取り下工程へインライン化する方法（方式 2）、熱間で耐熱ペイントを用いて視認性の高い識別記号を描画し、描画文字を自動認識して下工程へインライン化する方法（方式 3）、熱間でバーコードを印刷した耐熱ラベルを貼り付け、バーコードを自動で読み取り下工程へインライン化する方法（方式 4）、などが用いられている。方式 1 は工数が必要で、かつ、ヒューマンエラーの防止が重要となるがライントラブルに柔軟に対応可能である。一方、ラベルを貼り付ける方式 2 と方式 4 はヒューマンエラーを大きく低減可能であるが、ラベルが剥がれる可能性も内在する。一方、方式 3 はラベルを介さず引き当て可能であるが、描画文字の自動認識率を 100 % にすることは困難である。

4. 当社におけるマーキング技術の開発経緯

4. 1 自動マーキング

当社においては、合番とよばれる識別記号を彫刻した丁金を用いて鋼片に刻印し管理している。合番とは鋼片の振り分け先を示す記号であり英字・数字・カナの中で誤読の少ない数十文字を選び、1 文字から 3 文字を組み合わせて作られる。合番数は、10000 個以上にのぼる。この丁金打刻作業の自動化技術の開発は、1970 年代以前より実施されている。

自動マーキング装置への要求性能を Table 1 に示す。マーキングは、大型圧延後のインラインで実施され、ライン速度から許容されるマーキング時間は 3 秒であり、この間に 3 文字の合番をマーキングする必要がある。対象材は 1 辺が約 150 mm の角鋼片が大半を占め、その端面にマーキングする。鋼片の温度は、おおむね 1073 K から 1223 K である。また、端面肌はシャー切断面とソー切断面があり、凹凸は最大で 10 mm 程度である。さらには、ライン上の端面位置は、鋼片切断時の端曲がりなどにより、前

後・左右・上下で ± 50 mm 程度のずれが生じる。これらの要求仕様は、自動化を考慮した場合には非常に高いハードルである。

4. 2 自動刻印（～ 1990 年）

自動刻印方式は、まさに丁金打刻作業の機械化である。1969 年にはマグネット式ハンマー打刻機を、1972 年にはエアースリンダー式刻印機を開発したが、打刻機構の強度不足や、文字不鮮明、ヘッド交換に時間がかかる、などの課題を残した。また、1978 年には打刻強度の強いインパクトシリンダー衝撃打刻機を開発したが、ヘッド交換に時間がかかることや端面位置不ぞろいによる印字品質のばらつきが生じ実用化に至らなかった。

1984 年には印字速度を向上した 5 文字同時刻印インパクトシリンダー衝撃打刻機を開発した。Fig.4(a) に装置構成を、Fig.4(b) に外観写真を、Table 2 に装置の仕様を示す。本装置は、48 文字の文字彫刻を施した直径 400 mm の文字リングを回転することにより高速に文字を選択し、さらに 5 枚のリングを同時に鋼片に押し付けることにより刻印動作の高速化を図っている。本装置によりマーキング時間を最大 2.8 秒まで短縮することができ、実用レベルのマーキング速度を得ることができた。しかし、装置のメンテナンスが複雑であり、その簡便化が課題となった。

4. 3 テンプレート式ペイント（1994 年）

1994 年には、テンプレート方式のペイント装置を開発した。テンプレート方式は別名ステンシル方式とも呼ばれ、Fig.5 に示すように文字部を切り抜いたテンプレートに耐熱塗料を吹き付けることにより、鋼片端面に文字を描画する方式である。本方式はテンプレート形状しだいで任意の文字や記号を描画することができる。

本装置の開発においては、まず耐熱塗料の選定を実施した。熱間材へ吹き付けられた塗料は、一瞬のうちに水分が蒸発し顔料が鋼材に固着する。例えば燐酸系耐熱塗料の場合、成分 $(2\text{Al}+6\text{H}_2\text{PO}_4+\text{SiO}_2)$ 中の燐酸は鋼材表面の酸化膜を還元し塗料が付着しやすい下地を作りその状態で

Table 1. Required specification of the automatic marker.

Condition		Value
Number of characters		3 (Alphabet, numeral, Japanese character)
Marking time		< 3 s
Targets	Materials	All kinds of steel (stainless, bearing, etc.)
	Size	145 mm ~ 155 mm (square), 12 m long
	Temperature	1073 K - 1323 K
	Surface condition	Convexo-concave < 10 mm
Change of the target position	Back / Forward	± 50 mm
	Right / Left	± 50 mm
	Up / Down	± 50 mm

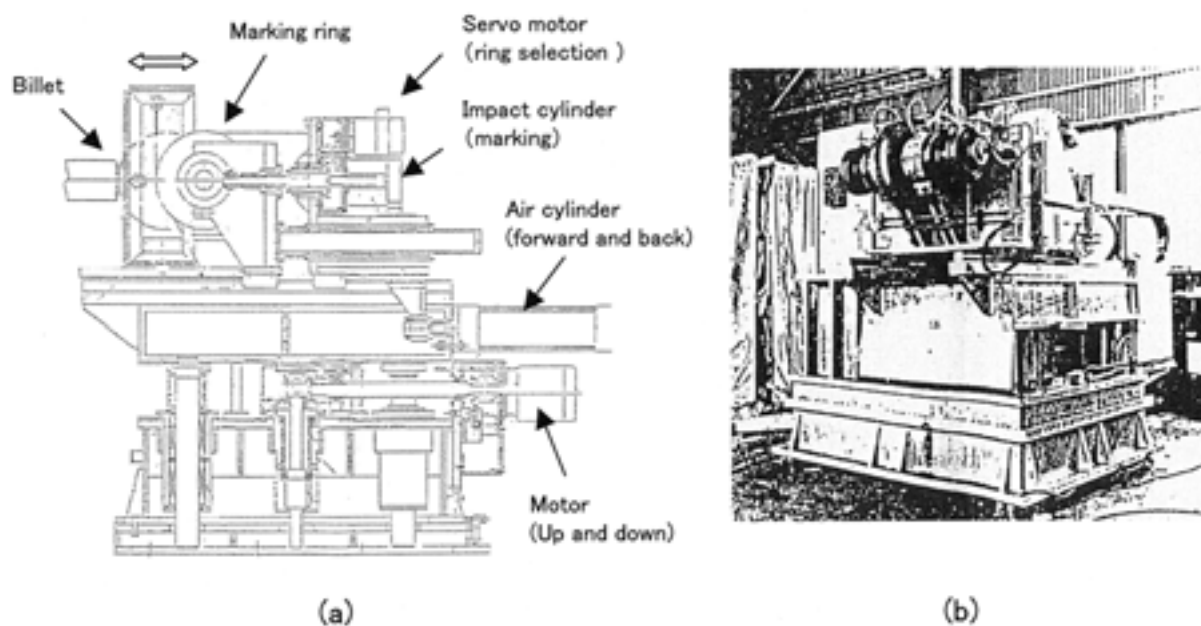


Fig.4. Schematic diagram and appearance of the ID number stamping machine: (a) diagram; (b) appearance.

Table 2. Specification of the ID number stamping machine.

Condition		Value
Method		ID stamping machine (5 characters / one operation)
Character	Size	12 mm X 6 mm
	Variety	Alphabet, numeral, Japanese character, symbol
Time	Marking	1.8 s
	Character selection	1.0 s
Hardware	Cylinder	Φ 160 mm, stroke 180 mm
	Diameter of the marker ring	Φ 400 mm
	Number of characters per ring	48

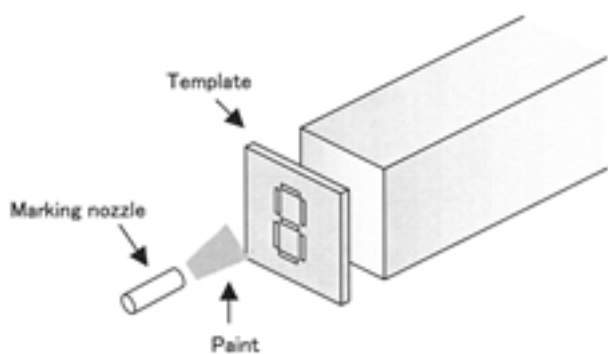


Fig.5. Principle of ID number painting with template.

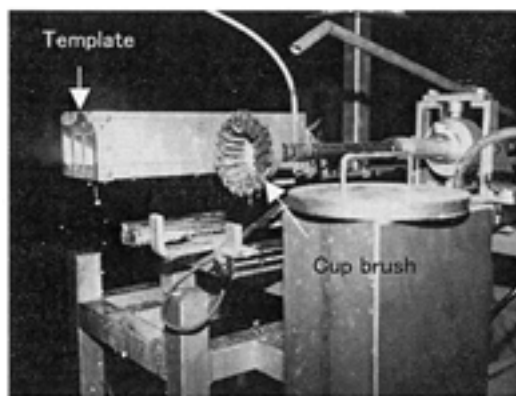
顔料である Si が固着する。試験の結果，発色性と耐候性に優れた塗料（タイネット製 SEP67）を選定した。なお，

吹き付け時間や吹き付け距離により塗膜の厚さが変化し，膜が厚くなると剥がれやすくなる。

これらの結果をもとに，Fig.6(a) に示す実験装置を作成しインラインにてペイント試験を実施した。なお，スケールを除去するために，図に示すカップブラシを回転させ直接鋼片端面に押し付けた。Fig.6(b) にインライン試験後の鋼片を示すが，良好な文字を描画することができた。ただし，本方式は，塗料の消費量が非常に大きく，ランニングコストの低減が課題となった。また，ペイントに時間がかかることも改善課題となった。Table 3 に本装置の仕様を示す。

4. 4 ドットマーク式ペイント（1996 年）

テンプレート方式と比較してランニングコスト（塗料消費量）を下げ，ペイント時間の高速化をはかるため，1 軸



(a)



(b)

Fig.6. Appearance of the ID number painting machine and examples of marked character: (a) appearance; (b) examples.

Table 3. Specification of the ID number painting machine with template.

Condition		Value
Method		Painting machine with template
Size of a character		40 mm(H) × 25 mm(W)
Marking time		0.8 - 1.2 s
Hardware	Nozzle	Spray nozzle
	Air pressure	2 kgf/cm ²
	Working distance	140 mm
	Descale	Cup brush

走査を伴うドット方式を検討した。複数のノズルから断続的に塗料を塗出し対象材表面にドットから形成される文字を描画する。Fig.7に原理を示す。

Fig.8(a)に装置の外観写真を、Fig.8(b)に開発したノズルの構成を、Fig.8(c)にペイント例を、さらにTable 4に装置仕様を示す。30 kgf/cm²の液圧の塗料を、φ0.5mmのノズルより塗出させる。なお、コンピュータにより電磁弁を開閉し塗料の塗出を制御した。改善の結果、24時間ノズル詰まりが無く、連続稼動することができた。また、

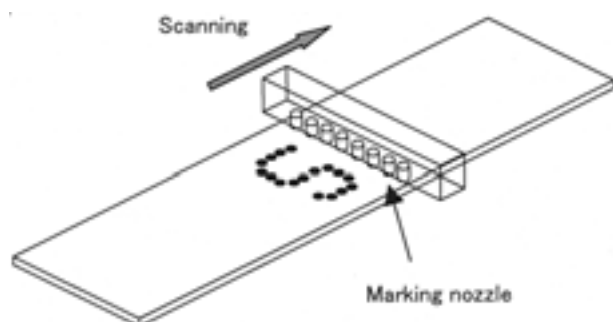


Fig.7. Principle of ID number painting with dotted pattern.

Fig.8(c)に示すように、塗料の噴射ノズル数により文字の太さを変えることが可能であり、16ドットの例では良好な視認性が得られた。しかし、ノズルのメンテナンスが課題であった。

4. 5 一筆書き式ペイント（1999年）

メンテナンス性を考慮し、ノズル数を1個に低減可能な一筆書き方式を検討した。塗料拭きつけにはエアートマイズ方式を採用し、塗膜厚を小さくすることにより剥がれ防止をはかった。Fig.9(a)に装置の構成、Fig.9(b)外観写真およびFig.9(c)ペイント例を、また、Table 5に装置の仕様を示す。ノズルは高速のX-Yステージにより走査し、3秒間に合番3文字と文字認識用の棒線を描画した。

高速でアトマイズノズルを走査するため、ノズル重量が大きいとFig.10に示すようにノズル先端がイナーシャで振動し文字線が振れてしまう。一方、燐酸系の塗料を用いるためノズルは耐食性に優れた素材が必要である。そこで、当社製耐熱チタン合金（DAT54）を用いてノズルを作製した結果、Fig.9(c)に示す良好な文字を描画することができた。

良好な文字品質（文字線幅）を得るためには、印字距離

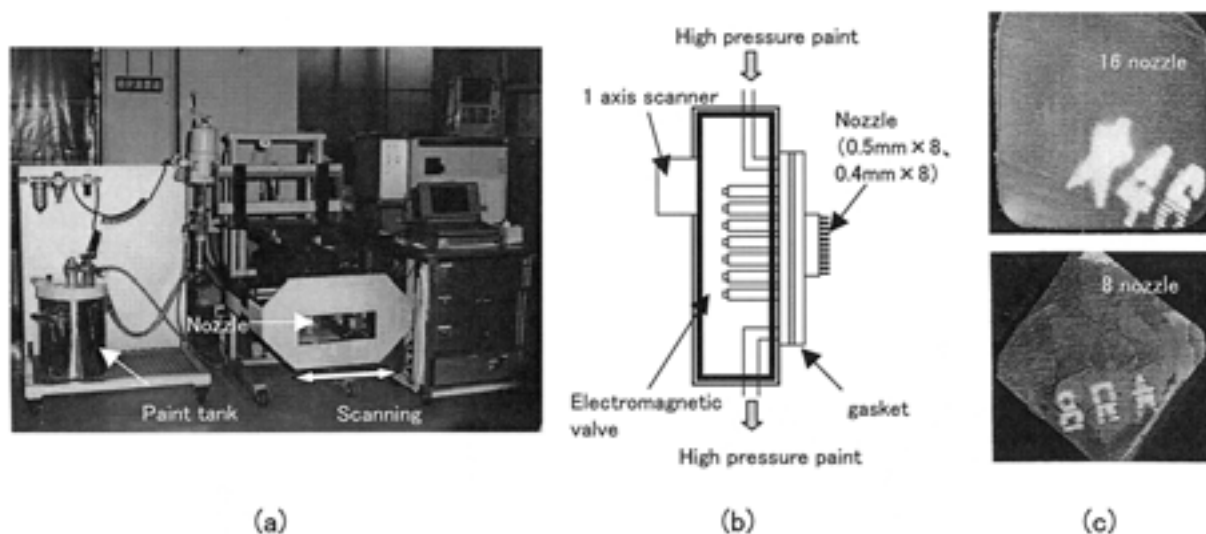


Fig.8. Appearance and schematic diagrams of the ID number painting machine with dotted pattern and examples of marked character: (a) appearance; (b) diagram; (c) examples.

Table 4. Specification of the ID number painting machine with dotted pattern.

Condition		Value
Method		Painting machine with dotted pattern
Size of a character		24.5 mm(W) × 31.5 mm(H)
Marking time		3 character/s
Hardware	Size of Nozzle	1.6 mm(Dia.) × 50 mm (Length)
	Number of nozzle	16
	Paint pressure	30 kgf/cm ² (Max.)
	Working distance	85 mm
	Head traveling speed	200 mm/s
	Nozzle opening duration	4.7 ms
	Descale	Wheel brush

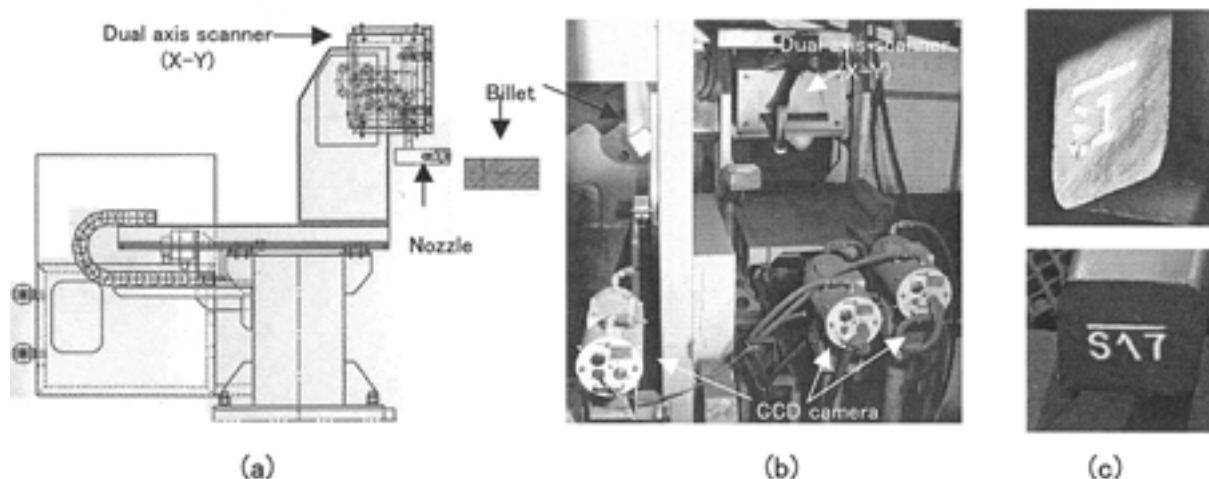


Fig.9. Schematic diagram and appearance of the ID number painting machine with a picture drawn with a single stroke of the brush and examples of marked character: (a) diagram; (b) appearance; (c) examples.

Table 5. Specification of the ID number painting machine with a picture drawn with a single stroke of the brush.

Condition		Value
Method		Painting machine with a picture drawn with a single stroke of the brush
Size of a character		18 mm(W) × 33 mm (H), Line width 4 mm
Marking time		1.0 s/character
Hardware	Nozzle	Titanium alloy nozzle
	Atomize pressure	3 kgf/cm ²
	Working distance	15 mm
	Nozzle traveling speed	200 mm/s (max.)
	Marking area	285 mm(W) × 275 mm(H)
	Descale	40 kgf/cm ² (High pressure water)

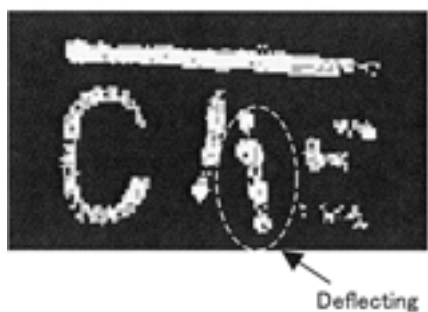


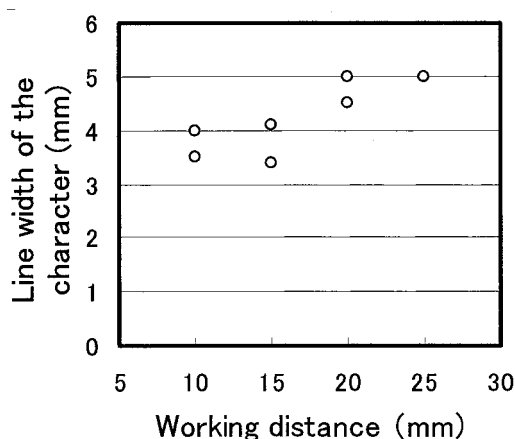
Fig.10. An example of marked character with conventional stainless nozzle.

およびアトマイズ圧の制御が重要である。Fig.11 にペイント条件と線幅の関係を示すが、良好な視認性が得られる文字線幅 4 mm を得るための印字条件は、印字距離 15 mm、アトマイズ圧 3 kgf/cm² であった。なお、印字距離は、タッチセンサーを用いて鋼片端面と装置との距離を測定し、制

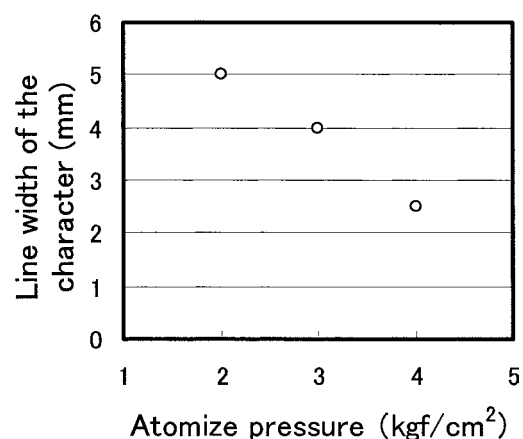
御した。

ペイント中は鋼片とノズルの距離が 15 mm と短く、輻射熱によるノズルへの影響が懸念されたため、ペイント中のノズル先端部の温度を測定した。測定は、Fig.12 に示すように、ノズル先端部、および、先端の内側に熱電対を取り付け温度変化を記録した。図よりノズル先端は 323 K 以下、ノズルの内側は 310 K 程度に保たれており、予想以上に低温であった。これは、アトマイズエアおよび循環している塗料によりノズルが冷却されているためと考えられる。

Fig.13 にシステムの全体構成を示す。ペイントは、トランスファーを移動する鋼片に対し、デスケーリング、端面位置測定、ペイント、文字品質確認、の 4 つのプロセスで実施した。



(a)



(b)

Fig.11. Relationship between marking condition and line width of marked character: (a) working distance dependence; (b) atomize pressure dependence.

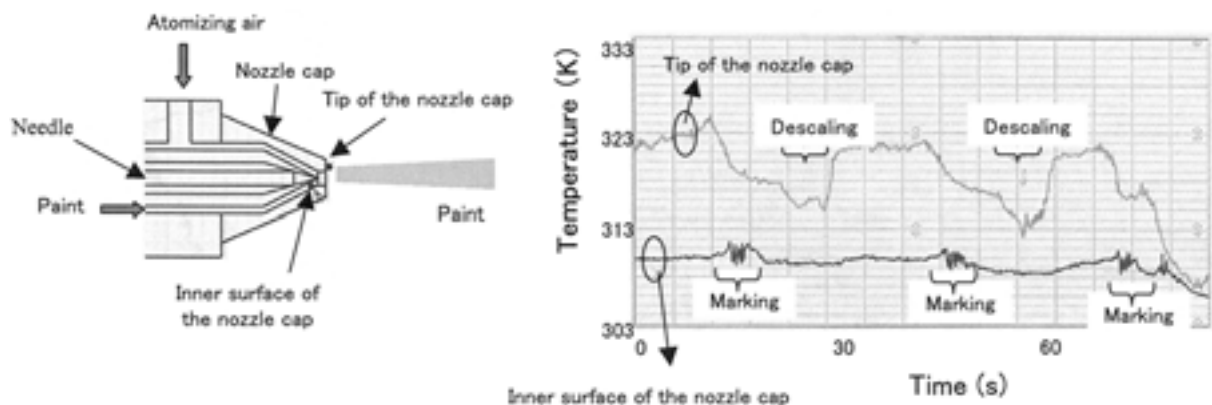


Fig.12. Temperature at the top of the marking nozzle.

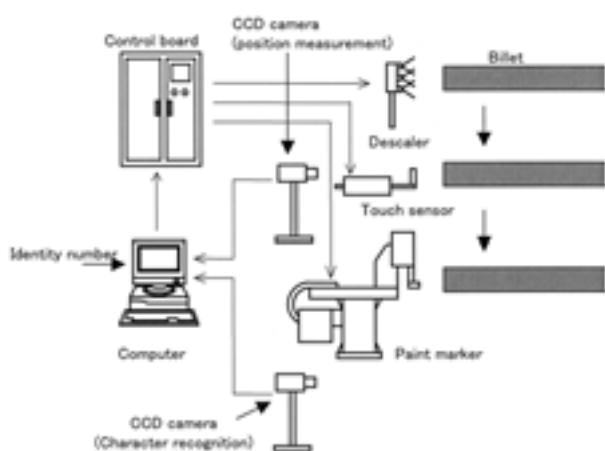


Fig.13. Schematic diagram of the marking system.



Fig.14. An example of character recognition: (a) recorded character after the marking; (b) output of automatic character recognition software.

文字品質確認は、ペイント直後に装置の動作状態を確認するためにおこなった。鋼材表面からの輻射の影響を抑えるため、ハロゲンランプで文字が印字された端面を照らし、さらに、光学フィルタを用いて赤色より波長の長い成分を遮断し、CCDカメラで端面を撮像した。また、文字画像は、文字上に描画された棒線をハフ変換で検出し、回転後にパターンマッチングで棒線位置を認識し、各合番の

位置を切り出し、正規化相関パターンマッチング法を用いて辞書パターンと比較し、文字を識別した。Fig.14にペイント直後の熱間で撮像した文字画像例と、上記アルゴリズムで認識した結果を示す。試験の結果、ペイント後の文字認識率は98%であった。

5. まとめ

当社における1999年までの鋼片マーキング技術の開発経緯を概説した。これまで、自動刻印装置、および、ペイント装置を開発し、一筆書き式ペイントおよび自動読み取り技術の開発においては、高品位の文字を熱間で印字する技術が確立された。しかし、特殊鋼製造プロセスにおける最適な自動識別システムを考えた場合、熱間鋼片に付与した識別記号を、小型圧延時に再加熱される時まで自動で管理できることが望ましい。それが故に、一筆書き式ペイントおよび自動読み取り装置の2%の識別異常は、改善課題であるといえる。鋼片の効率的な自動管理を考えると、自動認識性能に勝るバーコードや2次元コードが有効であると考えられ、さらには、刻印を伴う耐久マーキングが理想である。現在は、これら技術開発を継続中である。

(文 献)

- 1) 清水英明, 田中明広, 小川旭, 岡田定, 松田正義: 日本鋼管技報, 68(1974), 59.
- 2) 土田剛, 佐藤明宗: 川崎製鉄技報, 11(1978), 2, 127.
- 3) 富田一臣, 関隆一, 石渡明夫, 吉田三男, 水野正道, 安田三夫: CAMP-ISIJ, 8(1995), 1168.
- 4) 安達裕司, 橋詰基, 高橋暢, 長谷川裕之, 大和田茂: CAMP-ISIJ, 12(1999), 288.
- 5) 浅沼真二, 生田守一, 青木宏道, 佐藤幸雄, 鈴木重春, 坂上芳博: CAMP-ISIJ, 14(1991), 586.