
H 形鋼の寸法形状精度改善のための熱間寸法測定装置の開発

Development of Online Hot Profile Gauge for Accurate Dimension of Hot-Rolling H-shapes

片山 二郎(Niro Katayama) 穴吹 善範(Yoshinori Anabuki) 藤本 洋二(Youji Fujimoto)

要旨：

構造材料として優れた断面性能を有する H 形鋼は、近年、サイズの拡大、加工・施工コストの低減のための外法一定化、高寸法精度化などに対するニーズが強い。川崎製鉄水島製鉄所の大形工場では、圧延から精整・出荷にいたる工程の要所にオンライン寸法計を積極的に導入して、高品質な H 形鋼の安定供給を実現してきた。今回、品質造り込み上で重要な粗ユニバーサル圧延機の後面で、圧延中の H 形鋼横断面の実寸法・実形状を、全数・全長に渡ってリアルタイムに測定する H 形鋼熱間寸法測定装置を開発・実用化した。この熱間寸法計では、高温・広寸法範囲を測定できる新開発の走査型 2 次元レーザ距離計を用いた光切断法の原理に基づいて H 形鋼の複雑な形状を測定している。各フランジ部を独立の C フレーム構造体で囲む測定機構で検出部の安定性・信頼性を確保している。

Synopsis：

Customer demands have recently risen sharply for highly-dimensionally-accurate H-shape steel products (H-shapes), which have excellent cross-sectional performance as structural material, in order to reduce construction costs. The H-shape mill at Mizushima Works of Kawasaki Steel, has positively installed online profile gauges at every important points of the processes at rolling, finishing and delivery sections, for achieving a stable production of high-quality H-shapes. A newly developed online hot profile gauge, which can measure the accurate cross-sectional profile and dimension of H-shapes in real time, has been installed at the exit side of a universal roughing mill. The measurement principle of the gauge is based on a laser-triangulation optical measurement technique, using state-of-the-art 2-dimensional laser distancemeters capable of measuring hot and wide materials. The gauge assures measuring reliability by introducing independent two C-frames, eliminating cumbersome positional adjustments of the laser distancemeters for a wide range of products.

本文は次のページから閲覧できます。

H 形鋼の寸法形状精度改善のための 熱間寸法測定装置の開発*

川崎製鉄技報
30 (1998) 4, 222-226

Development of Online Hot Profile Gauge for Accurate Dimension of Hot-Rolling H-shapes



片山 二郎
Niro Katayama

水島製鉄所 制御技術
部制御技術室 主査
(掛長)



穴吹 善範
Yoshinori Anabuki

水島製鉄所 制御技術
部制御技術室 主査
(課長)



藤本 洋二
Youji Fujimoto

水島製鉄所 条鋼圧延
部条鋼技術室 主査
(課長補)

要旨

構造材料として優れた断面性能を有する H 形鋼は、近年、サイズ拡大、加工・施工コストの低減のための外法一定化、高寸法精度化などに対するニーズが強い。川崎製鉄水島製鉄所の大形工場では、圧延から精整・出荷にいたる工程の要所にオンライン寸法計を積極的に導入して、高品質な H 形鋼の安定供給を実現してきた。今回、品質造り込み上で重要な粗ユニバーサル圧延機の後面で、圧延中の H 形鋼横断面の実寸法・実形状を、全数・全長に渡ってリアルタイムに測定する H 形鋼熱間寸法測定装置を開発・実用化した。この熱間寸法計では、高温・広寸法範囲を測定できる新開発の走査型 2 次元レーザ距離計を用いた光切断法の原理に基づいて H 形鋼の複雑な形状を測定している。各フランジ部を独立の C フレーム構造体で囲む測定機構で検出部の安定性・信頼性を確保している。

Synopsis:

Customer demands have recently risen sharply for highly-dimensionally-accurate H-shape steel products (H-shapes), which have excellent cross-sectional performance as structural material, in order to reduce construction costs. The H-shape mill at Mizushima Works of Kawasaki Steel, has positively installed online profile gauges at every important points of the processes at rolling, finishing and delivery sections, for achieving a stable production of high-quality H-shapes. A newly developed online hot profile gauge, which can measure the accurate cross-sectional profile and dimension of H-shapes in real time, has been installed at the exit side of a universal roughing mill. The measurement principle of the gauge is based on a laser-triangulation optical measurement technique, using state-of-the-art 2-dimensional laser distancemeters capable of measuring hot and wide materials. The gauge assures measuring reliability by introducing independent two C-frames, eliminating cumbersome positional adjustments of the laser distancemeters for a wide range of products.

1 緒 言

H 形鋼はユニバーサル圧延機を用いて効率的に製造されるロール H 形鋼と、鋼板どうしを溶接して製造する溶接 H 形鋼に大別される。従来、製造技術上の制約からロール H 形鋼では対応できない部分に溶接 H 形鋼が使用されてきたが、溶接 H 形鋼を安価なロール H 形鋼で代替することが強く求められてきた。このニーズに応えるために種々の技術改善を行い、外法寸法一定、ウェブ薄肉という特徴を備えた H 形鋼（スーパーハイスレンド H* (SHH)）を開発し、建築学会基準を満足する高寸法精度化、商品の多サイズ化を図ってきた。

複雑な形状を有する H 形鋼の高寸法精度化を図るには、熱間圧延工程において、実寸法を把握して圧延機を制御することが寸法・形状の品質を作り込む上でとりわけ重要な課題である。このことから、H 形鋼のフランジ部の周囲に走査型 2 次元レーザ距離計を複数台配置する光切断方式の H 形鋼熱間寸法測定装置を開発し、多サイズ・多バスの圧延を受け持つ粗ユニバーサル圧延機で、製造過程の H 形鋼横断面の実寸法・実形状を、全数・全長に渡ってリアルタイムに測定することで、H 形鋼の圧延寸法制御に反映するとともに、粗ユニバーサル圧延の現象解明に活用している。

本稿では、開発した H 形鋼熱間寸法測定装置の測定原理と性能およびその導入による効果について述べる。

*平成10年8月12日原稿受付

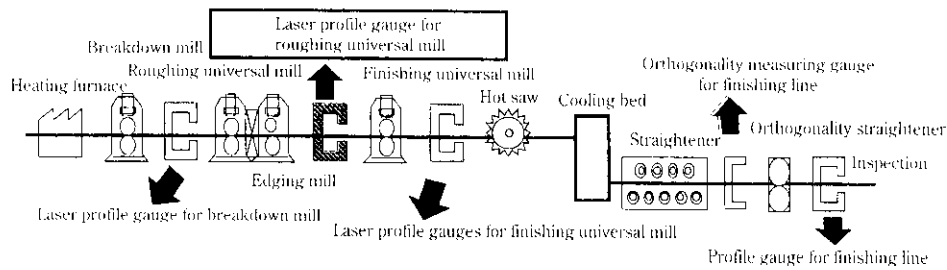


Fig. 2 Layout of continuous on-line measurement devices for H-shapes

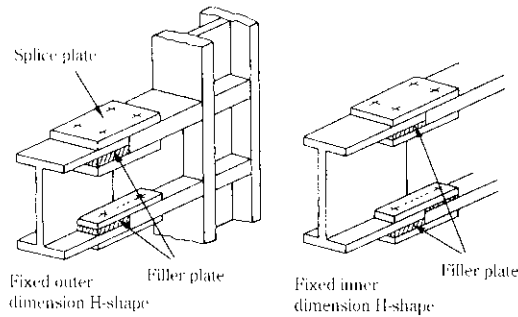


Fig. 1 Applications of fixed inner and outer dimension H-shapes

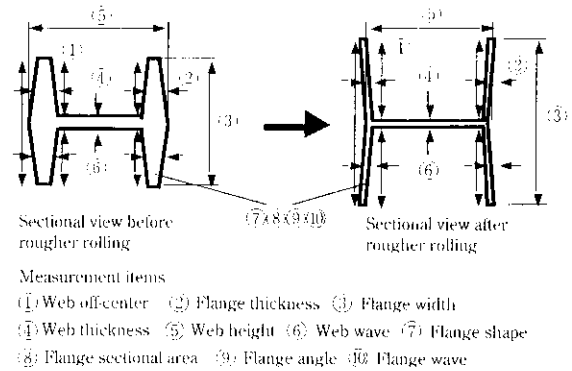


Fig. 3 Measurement items of laser profile gauge

2 開発の目的と仕様

2.1 外法一定 H 形鋼の特徴と製造方法

建築の仕口構造部に H 形鋼を組合わせた場合の施工例を Fig. 1 に示す。従来の内法一定の H 形鋼を用いた場合、ボルト接合部において多数のフィラープレートを要し、また仕上げ外法寸法が一定でなくなることにより施工が複雑になる。同様に寸法精度についても要求される水準を満足できず、フランジ端面基準で取り付け、穿孔する場合、ウエブの取合いにずれが生じる。また、ウエブ基準で取付ける場合、フランジの取合いがずれなどの問題が残されていた。この問題を解決するために、同一シリーズ内サイズはすべてウエブ高さとフランジ幅の外法を一定で整寸とした外法一定 H 形鋼を開発した。また、この商品は種々の技術開発により建築学会基準に適合する精度を達成し、需要家が工場加工上または現場施工上必要としている精度を実現した。

H 形鋼の製造ラインを Fig. 2 に示す。H 形鋼はブルームあるいはビームブランクを素材として、加熱炉で昇温された後にブレイクダウンミルにおいて粗成形される。粗成形された素材は粗ユニバーサルミルでウエブ・フランジの厚みを所定の厚みに、エッジミルでフランジ幅を所定の幅に延伸加工がなされる。粗圧延後、仕上げユニバーサルミルにおいてウエブ高さとフランジ幅の造り込みと仕上げ成形がなされる。仕上げ圧延後は、熱間での製品鋸断、冷却、ローラ矯正機による反り形状の矯正、直角度矯正機によるフランジ直角度の矯正が行われ、検査で合格した製品が出荷される。本島製鉄所大形工場では、Fig. 2 に示すように製造工程の要所にオンラインで製品全数の寸法測定が可能なオンライン寸法計を設置し、品質保証と寸法実績管理の充実に努めてきている。

2.2 熱間寸法測定装置の導入目的

H 形鋼圧延では Fig. 3 に示す項目の寸法・形状品質が要求され

Table 1 Specifications of measurement accuracy (2σ)

Items	Specifications (mm)
Flange thickness	0.39
Flange width	0.38
Web off-center	0.38
Web thickness	0.35

る。このような寸法・形状品質は、圧延においてはブレイクダウンミル圧延後の断面の対称性、粗・仕上げユニバーサルミルにおける圧下際の対称性、各ハスの圧下スケジュール、フランジとウエブの圧下率差の配分、材料・各ガイドおよび圧延機のパスライン、入出側のガイド拘束度など多岐の要因の影響を受ける。

仕上げユニバーサルミル後面の寸法計測は早くから導入され、寸法制御に活用されてきた。しかし、仕上げ圧延後の寸法だけでは、粗ユニバーサルミルの各ハスごとの調整量と仕上げユニバーサルミルの調整量の配分を適切に決定することは困難であった。この問題に対し、粗ユニバーサルミル後面で、粗圧延の各ハスの入・出側寸法形状、仕上げ圧延の入側寸法形状をオンラインでリアルタイムに測定できる熱間寸法測定装置を開発し、H 形鋼製品の寸法・形状精度向上に効果を発揮している。Table 1 に開発した熱間寸法測定装置の測定精度を示す。

3 熱間寸法測定装置

3.1 測定方式

高寸法精度の H 形鋼を熱間圧延で製造するには、高精度なセンサ、高機能な設備および高度な制御技術が必要である。寸法・形状品質の調整項目が、おのおの独立ではなく複雑に影響しあうので、

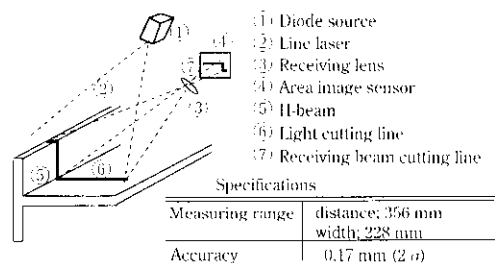


Fig. 4 Measuring principle and specifications of 2-dimensional laser distance meter

品質（寸法・形状）を造り込む粗ユニバーサル圧延機の近傍で寸法・形状を全数・全長に渡ってリアルタイムに測定し、結果をミル制御にフィードバックできることは、複雑な形状を有する H 形鋼の圧延において極めて有効である。

一方、過去において実用化されたオンライン熱間寸法測定方式には放射線透過方式およびレーザ距離計方式がある。以下の理由により、光切断法を利用した 2 次元レーザ距離計方式を今回は採用した。

- (1) レーザ距離計方式の連続熱間寸法測定装置は仕上げユニバーサル圧延機の後面側に設置され、すでに品質保証とミル設定に有効利用されている実績がある。
- (2) 粗ユニバーサル圧延においては Fig. 3 に示すように圧延材の寸法・形状が圧延開始と完了時点では大幅に異なるので、真の断面形状を測定するためには、横断面形状データから寸法と形状をリアルタイム演算する測定方式が最良である。

3.2 高性能レーザ距離計

Fig. 4 に走査型 2 次元レーザ距離計の測定原理と H 形鋼熱間寸法測定装置用に開発した距離計仕様を示す。この距離計の特徴は、以下の 2 点である。

- (1) H 形鋼の全サイズにわたる寸法・形状の測定を可能にする広範囲測定タイプの走査型 2 次元レーザ距離計を、受光イメージセンサの複数化とポリゴンミラー方式の投光機構により実現した。
- (2) H 形鋼が 1100°C の高温であるため、通常の赤外レーザではレーザ光と鋼材自発光との波長が近く分離しにくいという問題に対し、光学系の適切なチューニングを行うことと、100 mW 高出力のグリーンレーザを採用することで、誤検出を防止した。

3.3 H 形鋼熱間寸法測定機構

圧延材の寸法・形状が Fig. 3 に示すように圧延開始と完了時点では大幅に異なるなど形状の複雑な横断面形状の測定に対し、測定機構の安定性・信頼性をいかに確保するかの観点で検討を進めた。その結果、形状が複雑で測定対象項目の多いフランジ部を片側ずつ独立した C フレーム構造体で囲む構造とし、機械的に安定な構造で走査型 2 次元レーザ距離計を保持することで、一括して断面形状を測定する機構とした。

Fig. 5 に C フレームを採用した検出部の構造を示す。片側ずつ独立した 2 台の C フレームで構成されており、各 C フレームごとに 3 台の走査型 2 次元レーザ距離計が保持されている。A1 距離計で上フランジ部内面と端面およびウェブ部上面の形状を、A2 距離計でフランジ部外面の形状を、また A3 で下フランジ部内面と端面

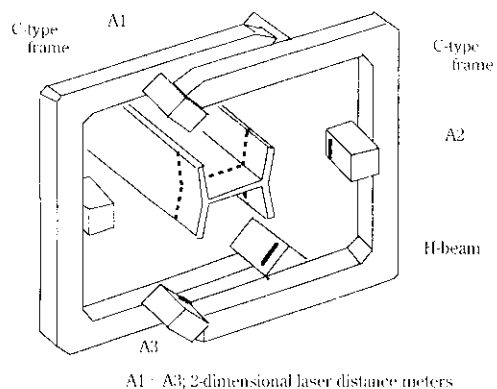


Fig. 5 Configuration of laser profile gauge

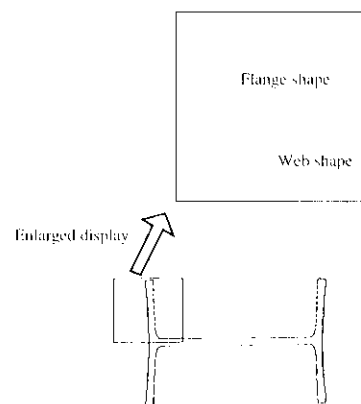


Fig. 6 Sectional view display by analysis device

およびウェブ部下面の形状を測定することで、H 形鋼の断面形状を測定する。

3.4 高速形状演算機構

H 形鋼の断面寸法および形状を全数・全長に渡って 110 mm ピッチでリアルタイムに演算し、その演算結果を圧延機制御に直接フィードバックすることを目的とした高速形状演算機構を開発した。具体的には、距離計専用形状演算ボードを開発し、6 台の走査型 2 次元レーザ距離計の測定データをパラレルに処理することで 13 ms の測定周期を達成した。

3.5 熱間寸法測定技術

圧延中の H 形鋼は形状が複雑で測定部位が多く、かつサイズ範囲も広いので、正確な寸法をオンラインで演算していることの確認が通常では困難な点、および、各圧延条件における H 形鋼の任意箇所の詳細断面形状を解析可能とする点から、本熱間寸法測定装置は、形状解析機能を充実させている。

この解析装置は、以下の特徴を有する。

- (1) オンラインおよびオフラインで測定した時の寸法・形状データを任意に選択して表示することが可能
- (2) メモリに格納してある走査型 2 次元レーザ距離計単体のデータを用いて繰り返し演算が可能で、装置のチューニングや確性が容易

Fig. 6 に、本解析装置を用いて表示した H 形鋼断面形状の例を示す。

Table 2 Measurement accuracy observed at room temperature

	Flange width	Web off-center	Flange thickness
$\bar{x}$ (mm)	0.10	- 0.16	- 0.02
σ (mm)	0.17	0.20	0.12

Table 3 Measurement accuracy observed at hot-rolled section

	Flange thickness	Flange width	Web off-center	Web thickness
$\bar{x}$ (mm)	0.58	- 0.39	0.43	0.35
σ (mm)	0.10	0.19	0.38	0.08

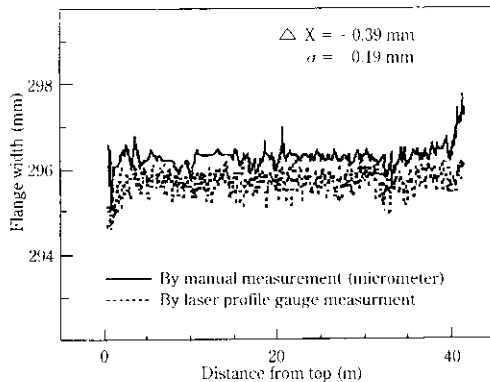


Fig. 7 Flange width accuracy (hot-rolled)

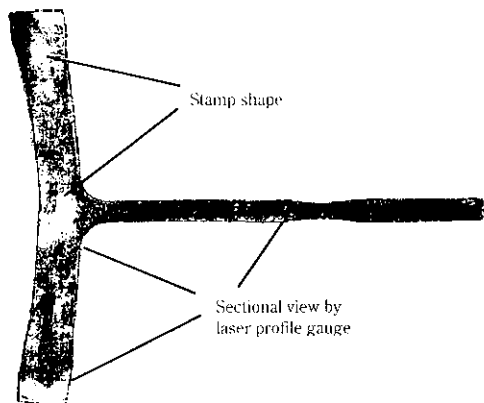


Fig. 8 Comparison of sectional view obtained by the laser profile gauge with that by stamp shape

4 熱間寸法測定装置の性能

粗ユニバーサル圧延機の後面側に設けた本連続熱間寸法測定装置の設置目的は、H 形鋼横断面寸法を全数・全長に渡って高精度に測定・演算し、その測定結果を粗ユニバーサル圧延のロール位置制御にフィードバックすることである。本装置の測定性能の確認は、次の手順で行った。

- (1) まず、冷間測定精度を確認した。測定値が比較しやすい冷片材を測定することで寸法測定装置単体の測定精度を確性する。Table 2 に冷片材を測定した場合の精度を示す。冷片材測定では、連続熱間寸法測定装置の開発目標とした精度を十分達成していることが分かる。

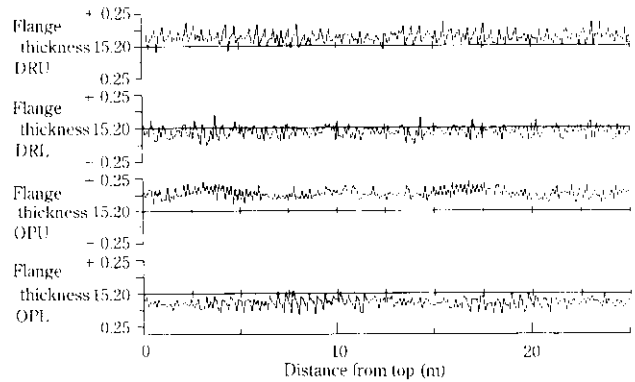


Fig. 9 Examples of thickness distribution in longitudinal direction in H-beam

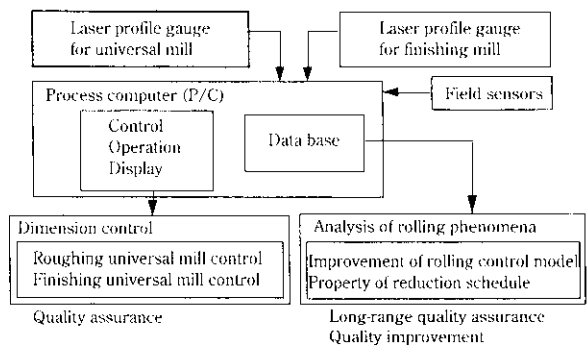


Fig. 10 Conceptual block diagram for universal mill control

- (2) 次に、熱間圧延ラインで受ける測定外乱を折り込んだ熱間環境における測定精度の確性を行った。熱間圧延材を測定した場合の精度を Table 3 に、フランジ幅のマニュアル測定結果との比較を Fig. 7 に、熱間寸法測定装置の測定形状データとスタンプ採取形状との比較を Fig. 8 に示す。寸法精度は熱間材測定時においても開発目標とした精度をほぼ達成しており、断面形状もスタンプ採取形状と同一形状となっている。

これらの結果から、新しく開発した熱間寸法測定装置は粗ユニバーサル圧延機の後面側で、H 形鋼断面寸法および形状をオンライン測定するのに、十分な測定性能を持つことが確認できた。

5 粗ユニバーサル圧延機制御への適用

Fig. 9 に測定実績のデータを示す。寸法測定装置では、これらのデータから主要項目を選択して、リアルタイム処理にて粗ユニバーサル圧延機制御を受け持つプロセスコンピュータ (P/C) にデータを伝送している。

Fig. 10 に寸法制御システムのデータフローを示す。P/C に伝送された粗ユニバーサル圧延機後面寸法測定装置の測定結果は、仕上げ圧延機後面寸法測定装置の測定結果と対比され、その比較結果から、目標寸法を得るための粗ユニバーサルミル、仕上げユニバーサルミルのロール位置やガイド位置が算出される。

さらに P/C 内には寸法測定装置の測定データとともに、多数のフィールドセンサから読み取る情報を使用して、製品ごとの実績寸法と圧延条件のデータベースが作成され、圧延現象の解析が可能となっている。これにより、本寸法測定装置は品質保証とともに、圧延現象の解析を行うことによる品質改善にも寄与している。

6 結 言

圧延中の H 形鋼断面の寸法および形状を、全数・全長に渡ってリアルタイムに測定可能な H 形鋼熱間寸法測定装置を開発した。この熱間寸法測定装置を粗ユニバーサル圧延のロール位置調整と圧延現象解析に反映することで、H 形鋼の寸法・形状精度を向上させた。開発ポイントは以下の通り要約される。

(1) 多サイズ・広寸法範囲で高温度域で(約 1100°C)の H 形鋼断面形状の測定を可能とする走査型 2 次元レーザ距離計を開発した。

(2) フランジ部を片側ずつ独立した C フレーム構造体で囲む機構を考案した。この機構のために、多サイズ・多パスの H 形鋼圧延に対し機械的に安定な検出部となっている。

(3) 形状が複雑で測定部位が多く、かつサイズ範囲も広い H 形鋼に対し、形状全データを測定した後に必要寸法をリアルタイム演算する測定方式を開発し、寸法データの高信頼性を達成した。

(4) H 形鋼の断面寸法を代表とする各種フィールド情報を P/C で収集し、製品毎のデータベースを作成することで、全製品の品質管理・品質保証機構を充実するとともに、圧延現象の解析を可能とした。

参 考 文 献

- 1) 志賀勝利、土井彌彦、朝生一夫、阿部英夫、橋本順次、山口 勝：川崎製鉄技報、23(1991)1, 1-7
- 2) 藤本洋二、福高善己、長谷旅想：材料とプロセス、2(1990), 580
- 3) 福高善己、藤本洋二：第 1 回日中計測自動制御国際シンポジウム、(1989), 20-24
- 4) 藤本洋二、芳村嘉夫、馬場和史、郡 五郎、高野 太、黒田康徳：材料とプロセス、2(1992), 1580
- 5) 馬場和史、福高善己、藤本洋二、黒田康徳：第35回自動制御連合講演文集、(1992), 4013
- 6) 瀬戸恒雄、畠中 淳、芳村嘉夫、藤本洋二、馬場和史、大本至宏：川崎製鉄技報、23(1991)1, 8-15
- 7) 片山二郎、飯田永久、藤本洋二、井上研司、黒田康徳：材料とプロセス、2(1996), 282