

# 東日本製鉄所（千葉地区）で構築した 絞り再絞り缶（DRD 缶）用ぶりき原板介在物検査システム

## An On-line Detection System for Nonmetallic Inclusions in Tin Mill Black Plate Used for Drawing-Redrawing-Can Making

荒谷 誠 ARATANI Makoto JFE スチール 東日本製鉄所(千葉地区) 第1冷延部冷延技術室 主任部員(課長)  
戸村 寧男 TOMURA Yasuo JFE スチール 東日本製鉄所(千葉地区) 制御部制御技術室 主任部員(課長)  
高田 一 TAKADA Hajime JFE 技研 計測制御研究部 主任研究員(副部長)

### 要旨

本論文では鋼の高清浄性を要求される絞り再絞り缶（DRD 缶）の素材である TMBP を熱間圧延鋼板で検査するシステムを紹介した。東日本製鉄所（千葉地区）No. 6 酸洗槽入側に超音波ラインセンサによる介在物探傷装置を設置し、また、本装置を用いて検出された介在物情報を製鋼工程に迅速にフィードバックするシステムを構築した。その結果、品質の安定化が図られ、製品の欠陥も大幅に減少した。

### Abstract:

JFE Steel has introduced an ultrasonic on-line detection system for nonmetallic inclusions in as-hot-rolled coil to be processed as tin mill black plate (TMBP). TMBP is used for draw and redraw (DRD)-can making, and requires high internal quality. It has been installed at No. 6 pickling line in East Japan Works (Chiba District). The detection result is rapidly fed back to the steel making process to improve steel cleanliness. As a result, TMBP coils have been kept in high internal cleanliness and defects found at users' DRD-can making processes have dramatically decreased.

### 1. 緒言

DRD (drawing and redrawing) 缶は、2 ピース缶なので真空状態を保持しやすく、缶の内外圧差に強い。そのため、食品を充填後、真空巻縮、レトルト殺菌処理を施す用途に適しており、ツナ缶やペットフード缶などに使われている<sup>1)</sup>。DRD 法では塗料密着性に優れたティンフリースチール<sup>2)</sup>に事前に塗装を施し、塗膜の潤滑効果を利用し、連続製缶されている。DRD 缶には、通常、2 回圧延法による高強度・極薄鋼板が使用される。その製造方法は、低炭素 Al キルド鋼を素材にして、熱間圧延、酸洗、冷間圧延後に連続焼鈍を行い、さらにその後、数十%の圧下率で 2 回目の冷間圧延を行って製造される。

DRD 缶の素材は、板厚が 0.16~0.18 mm と薄いことに加えて、複数回の絞り加工を受けることから、内部品質に対して、高度な鋼の清浄性が要求される。Photo 1 に、介在物による胴部割れが発生した DRD 缶の例を示す。割れが缶胴部を貫通している場合は、充填後に重大なトラブルを発生させる危険性がある。

従来、TMBP (tin mill black plate : ぶりき原板) の介在物評価には、シートサンプルの磁粉探傷試験<sup>3)</sup>や、漏洩磁束介在物センサによるオンライン探傷試験<sup>4)</sup>が用いられてきた。しかし、磁粉探傷試験では、抜き取り採取され

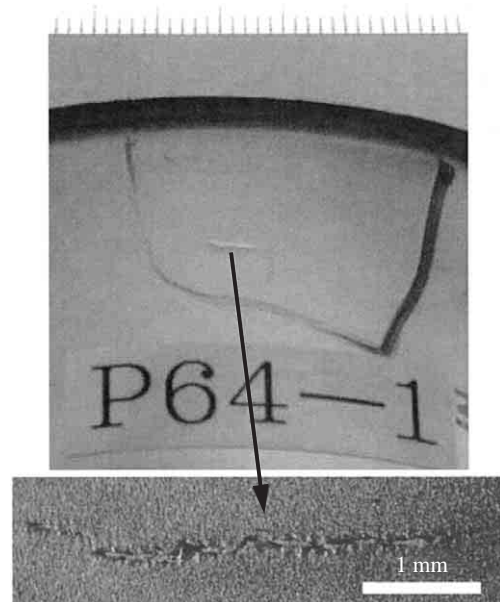


Photo 1 An appearance of surface breaking crack in DRD-can making

たシートサンプルの評価しかできないため、お客様からはコイル全幅、全長の介在物評価を求められてきた。また、漏洩磁束介在物センサによるオンライン探傷試験も、検出までのリードタイムが長く、製鋼工程へのフィードバックに時間がかかるという問題があった。

このような状況に鑑み、高品質の TMBP を安定的に製

造するため、超音波ラインセンサ<sup>5,6)</sup>による介在物探傷装置（以下、6 Pick 介在物センサ）を開発し、東日本製鉄所（千葉地区）第1冷延工場6 Pick 酸洗槽入側（以下、千葉6 Pick）に設置した<sup>7)</sup>。本稿では、千葉6 Pick 介在物センサの概要、運用方法、および、その運用効果について紹介する。

## 2. 6 Pick 介在物センサの開発

### 2.1 探傷方法とその特長

**Fig. 1** に千葉6 Pick 介在物センサに採用した探傷方法（以下、超音波ラインセンサによる探傷方法）の概要を示す。リニアアレイプローブからなる送波プローブおよび受波プローブを被検材を挟んで対向させて配置する。送波プローブからラインフォーカス（線集束）超音波ビーム（周波数：25 MHz）を被検材に向けて送波し、介在物欠陥および被検材の表面または裏面で各1回反射した欠陥反射波を受波プローブによって収集する。受波プローブの各エレメントが受波した信号を同時処理することにより、一定幅  $W$  の線状の領域を1回の超音波送受波で探傷することができ、鋼板の搬送ラインなどにおける連続探傷に適用可能である。

上記の超音波ラインセンサによる探傷方法は、ラインフォーカスビームを用いて、スポットフォーカス（点集束）ビームを用いた集束ビーム法と同等の欠陥検出能を得る探傷方法である。ラインフォーカスビームを用いた探傷法は、スポットフォーカスビームを用いた探傷方法に比べて、超音波ビームの集束度が低いため、欠陥検出能が低いと言われている。そこで、超音波ラインセンサによる探傷方法では次の二つの工夫を加えることによって、介在物欠陥からのエコーの音圧が向上するようにした<sup>8)</sup>。

- (1) 振動子の材質を厳選することによって、送信音圧を低下させることなく、振動子の開口径を大きくすることにより、ビームの集束度を高めた。
- (2) 送波ビームをほぼ介在物欠陥にて集束させ、受波ビームの焦点よりも受波プローブ寄りに介在物欠陥を位置

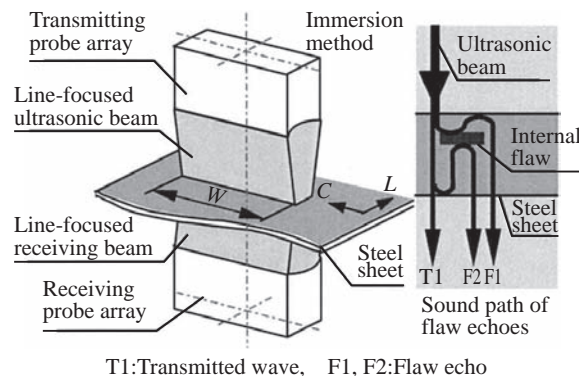


Fig. 1 Schematic geometry of ultrasonic probes

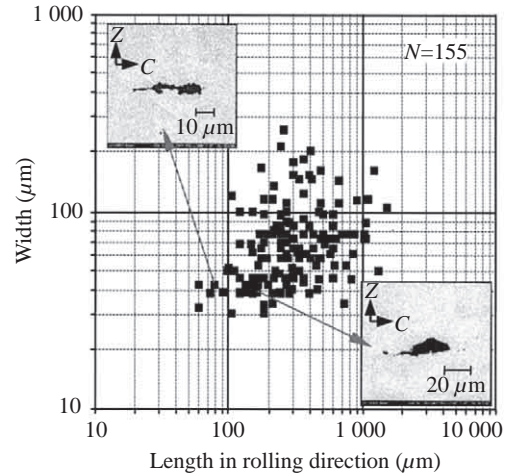


Fig. 2 Relation between width and length of flaws detected with signal-to-noise ratio above 10 dB

させることにより、球面波として拡がる欠陥エコーを拡散の小さいうちに受波する。

数多くの酸洗板サンプルを用いたオフライン探傷試験の結果を **Fig. 2** に示す。上記の工夫の結果、体積  $5 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$  以上の介在物欠陥を 10 dB 以上の  $S/N$  で検出できることが判明した。

また、この探傷方法の他の特長として、表面直下不感帯が原理的には発生しないことがあげられる<sup>8)</sup>。

### 2.2 実用装置の開発と生産ラインへの設置

鋼板の搬送ラインにおいて気泡の影響なく介在物探傷を行うための水浸機構の研究開発<sup>9)</sup>を経て、本探傷法を用いた内部欠陥探傷装置（以下、探傷装置）を開発し、千葉6 Pick に設置した。

**Fig. 3** に示すように酸洗槽入側において6本のデフレクタロールを用いて鋼板のパスを変更し、移送される鋼板を水槽に浸漬させるようにした。1つの送波プローブとこれ

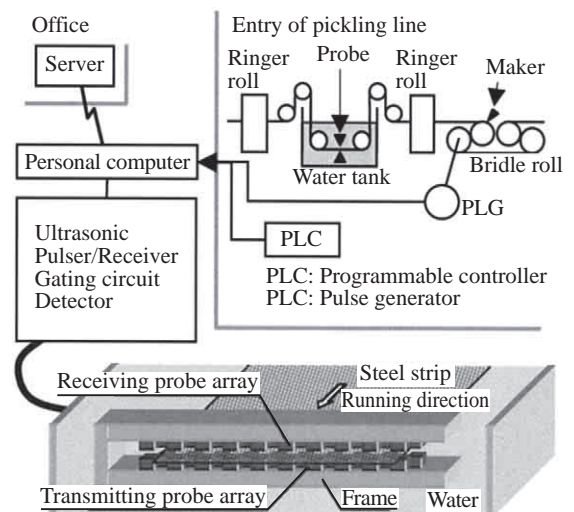


Fig. 3 Schematic geometry of detecting head and block diagram of detecting system

に対向配置される受波プローブを1つの測定ヘッドと称することとすると、測定ヘッドを交互に千鳥掛けに配置させることにより、鋼板全幅を連続探傷可能とした。この装置では、超音波の送受信回路と送波および受波プローブに内蔵された超音波振動子との電気インピーダンスを正確に整合させることにより、超音波送受信信号への伝送ケーブルの影響を排除した。また、メンテナンスを容易にするため、測定ヘッドを取り付けるフレームの形状をカタカナのコの字形として、いつでもライン外へ引き出せるようにした。欠陥検出能を検証するためのサンプル採取の便宜を図るため、欠陥を検出した位置にマーキングを行う装置を水槽出側に設置した。

探傷装置は、上位コンピュータから伝送されるコイル情報に従って各種探傷条件を設定し、探傷動作を行う。探傷装置は、探傷動作中、探傷データの収集、集約を行い、探傷結果を上位コンピュータに返すようになっている。

### 2.3 オンライン探傷における欠陥検出能の検証

探傷装置を用いた探傷結果の再現性を確認した後、オンライン探傷における開発装置の欠陥検出能を下記の手順によって検証した。

- (1) オンライン探傷により欠陥を検出し、検出位置にマーキングする。マーキング部分のサンプルを採取する。
- (2) 採取サンプルを超音波ラインセンサによる探傷法によりオフライン探傷し、欠陥位置を特定する。
- (3) Cスキャン探傷（周波数：50～200 MHz）により検出した欠陥の長さ  $L$  および幅  $W$  を測定する。
- (4) 超音波映像から切断位置を決定し、欠陥を切断する。
- (5) 断面観察により欠陥の厚さ  $t$  を測定し、欠陥幅  $W$  を確認した上で、欠陥体積  $V$  を算出 ( $V = L \times W \times t$ ) する。

Fig. 4 に上記手順により採取した欠陥のオンライン探傷におけるエコー高さと欠陥体積との関係を代表的な介在物欠陥の断面写真とともに示す。体積  $5 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$ （直径

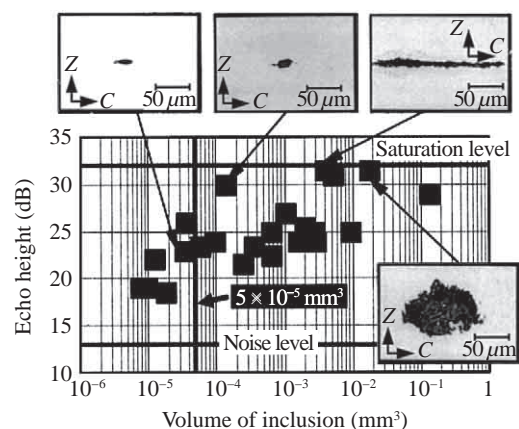


Fig. 4 Relation between echo height and volume of detected non-metallic inclusions

約  $50 \mu\text{m}$  相当) の微小介在物欠陥を  $S/N$  約 10 dB で検出できることを確認した。実験室でのサンプル板探傷試験で確認した欠陥検出能をオンライン探傷で実現できている。また、従来の漏洩磁束介在物センサでは体積  $5 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$  の介在物欠陥のオンライン検出が限界とされている<sup>4,10)</sup> ので、開発装置は漏洩磁束介在物センサより1桁体積の小さな欠陥を検出できる。なお、原因が特定され対策を行った誤検出や少数の表面きずの検出例を除けば、サンプル採取による断面観察の結果、マーキングした位置に介在物欠陥がない誤検出は1例もなかった。

## 3. 6 Pick 介在物センサの運用

### 3.1 トレンド管理システム

6 Pick 介在物センサを用いて検出した介在物情報を製鋼工程に迅速にフィードバックするため、トレンド管理システムを構築した。システム構成を Fig. 5 に示す。介在物情報は、コイル情報とともに、上位コンピュータへ送られる。その情報と製鋼工程における操業情報をマッチングさせたデータベースを構築し、トレンド管理を行っている。製鋼工程の操業情報の例を Table 1 に示す。また、6 Pick 介在物情報のトレンド図の例を Fig. 6 に示す。Fig. 6 はコイルごとの平均値をスラブ切断順にソートしたものであり、転炉精錬、2次精錬、連続鋳造の操業情報 162 項目のトレンドと介在物情報との迅速な比較ができるようになっている。介在物情報は、各部署の品質担当者にすべて開示され、端末から閲覧可能となっている。

製鋼工程における製造条件と介在物情報との対比により、製造条件の適正化が迅速に実施できるようになった。また、品質の安定化と共に歩留まり向上の点でも、6 Pick 介在物センサは有効に活用されている。従来の冷間圧延工場に設置した漏洩磁束式介在物センサを用いた介在物情報把握では、出鋼してから冷延工程で介在物を検出するまでのリードタイムが長いと、製鋼工程で改善アクションを実施するまでの時間がかかるという問題点があった。しか

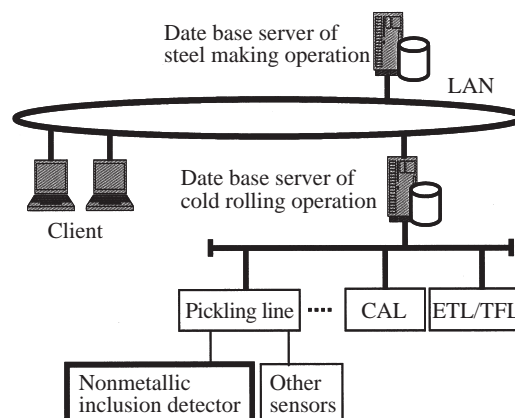


Fig. 5 Nonmetallic inclusion information system

Table 1 Factor of steel making process

Process	Operation data
Refining	Tapping component, Tapping temperature, Slag component, Basic unit, etc.
Secondary refining	Treatment time, Treatment gas volume, Degree of vacuum, Slag component, Basic unit, etc.
Continuous casting	Casting speed, Temperature, Abnormality of slab, Basic unit, etc.

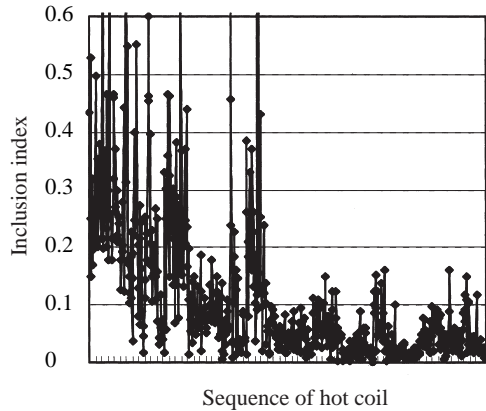


Fig. 6 An example of trend in inclusion index

し、出鋼から酸洗までのリードタイムは数日間と短いため、6 Pick 介在物センサを用いて介在物情報を収集することにより、改善アクションを実施するまでの時間が大幅に短縮された。

### 3.2 維持管理

本装置は、JFE スチールの独自技術による開発品のため、装置の維持管理の仕組みも新たに構築する必要があった。特に、製品の品質保証に用いるためには、十分な性能を有することに加えて、高い信頼性を有していることが重要であり、以下の要件を満足する必要があった。

- (1) 精度維持のための方法が確立されている。
- (2) 日常点検方法が確立されている。
- (3) 業務が標準化されている。

#### 3.2.1 感度調整方法の確立

装置は Fig. 7 のように C 型フレームで構成されている。これにより、ライン運転中でも装置をオフラインへ引き出すことができ、点検が容易になる。

本装置の精度維持のポイントは、鋼板を挟んで対向して

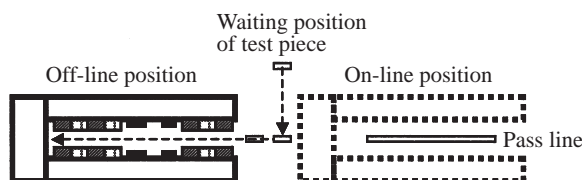


Fig. 7 Movement of test piece at sensitivity adjustment

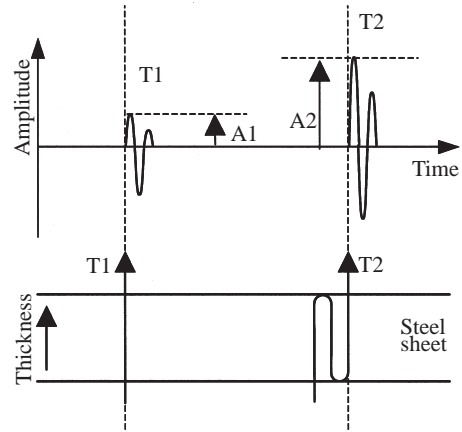


Fig. 8 A waveform of signals received by receiving probe array

設置されている送波プローブと受波プローブとの位置関係を所定の位置に維持することであり、これにより常に一定の感度を得ることができる。そのために、独自の試験片と探触子位置調整機構を製作し、それを用いた感度調整を行っている。

Fig. 8 に本装置によって得られる超音波信号の基本波形を示す。図中の透過波 T1 と透過波 T2 が基準範囲に入るように、送波プローブと受波プローブとの位置関係を調整している。この調整は、プローブを交換した場合や、後述する日常点検で感度が低下していることが判明した場合に実施するだけでなく、これとは別に期間を決めて周期的に実施することで検出感度が維持されていることを確認している。

#### 3.2.2 日常点検方法の確立

品質保証計器として運用すると、点検時の精度が許容範囲外になった場合、前回の正常な点検時までさかのぼり、その間処理した製品を不良懸念材として保留する必要がある。そのため短周期で容易に点検する仕組みが必要である。

Fig. 9 に日常点検で用いているテストピースの形状を示す。図のように所定の径の穴をあけ、その穴に対する検出感度を Fig. 8 に示したオフライン位置にて全チャンネル測定し、所定の基準値に調整している。調整範囲を超えた場合は、感度低下として判断しプローブを交換する。

テストピースに開けた基準穴の径はトレーサビリティ体系が保証されている計器で測定・確認することで、比較の

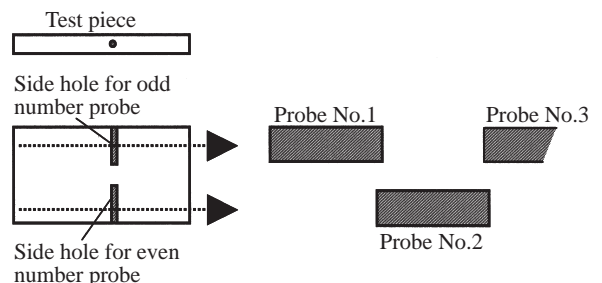


Fig. 9 Test piece and scanning method over probes

連鎖によって国家標準さらには国際標準へ関連づけられ、より高い信頼性を確保している。

### 3.2.3 標準化とその他の点検項目

上記した感度調整や日常点検方法について標準化している。さらにそれら以外にも装置を維持管理するためには以下のような多くの点検確認項目がある。

- (1) 水槽内の水質（濁度、温度、泡の発生量）
- (2) 鋼板のパスライン位置
- (3) 試験片・テストピースの磨耗と変形
- (4) データ処理装置のソフトウェア

これらの管理項目についても点検管理基準を定めている。また、探傷異常時の処置や探傷記録の保管などについても標準化することでシステムとして高い信頼性を確保している。

## 4. 品質改善効果

Fig. 10 に、DRD 缶用 TMBP をご使用いただいているお客様の製品において見つかった介在物の混入率指数を表示した。（2002 年を 1.0 とした）。2003 年に 6 Pick 介在物センサを品質保証計器化し、トレンド管理システムを構築した。その結果、製鋼工程への介在物情報が迅速にフィードバックすることができるようになり、製鋼工程の製造条件の適正化が図られたことにより、介在物指数は大幅に減少している。

## 5. 結言

DRD 缶用 TMBP の品質保証を目的として、東日本製鉄所（千葉地区）第 1 冷延工場 6 Pick 酸洗槽入側に超音波ラインセンサによる介在物探傷装置を設置した。以下の性能検証および運用方法確立を経て、品質保証計器としての運用を行っている。

- (1) 本装置により体積  $5 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$  以上の介在物欠陥を 10 dB 以上の S/N でオンライン検出可能であることを確認した。
- (2) 感度調整方法、日常点検方法を確立し、さらに標準化した。

また、本装置を用いて検出した熱間圧延鋼板の介在物情報を製鋼工程に迅速にフィードバックすること、および介在物情報のトレンド管理を行うことが可能なシステムを構築した。この結果、DRD 缶用 TMBP の品質高度化・安定

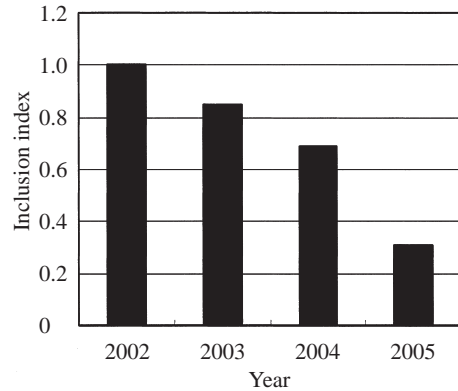


Fig. 10 Recent trend in inclusion index of product

化に大きな効果が得られ、製品の欠陥も大幅に減少した。

現在、缶用鋼板以外の品種についても、内部品質安定化の観点から超音波ラインセンサによる介在物探傷装置の設置を検討している。

### 参考文献

- 1) 久々湊英雄, 阿部英夫, 小野高司, 登坂章男, 泉山禎男, 大川順弘, 川崎製鉄技報. vol. 25, no. 1, 1993, p. 27.
- 2) 東洋鋼鉄. ぶりきとティンフリースチール. アグネ, 1974.
- 3) 久々湊英雄, 泉山禎男, 小野高司, 白石利明, 阿部英夫, 川崎製鉄技報. vol. 12, no. 2, 1980, p. 331.
- 4) Yokota, H.; Mashino, Y.; Siraishi, T.; Hayashi, H.; Kobayashi, M.; Kodama, T. CAMP-ISIJ. vol. 7, 1994, p. 1270.
- 5) 高田一, 虎尾彰, 鎌田征雄, 市川文彦, 白石利明. 平成9年度春季大会講演概要集. 日本非破壊検査協会. 1997, p. 225.
- 6) Takada, H.; Torao, A.; Yamasaki, T.; Unzaki, H.; Sasaki, T.; Aratani, M.; Kobashi, T. CAMP-ISIJ. vol. 14, 2001, p. 243.
- 7) Yamasaki, T.; Unzaki, H.; Tomura, Y.; Sasaki, T.; Kobashi, T.; Aratani, M.; Takada, H. CAMP-ISIJ. vol. 14, 2001, p. 244.
- 8) Takada, H.; Yamasaki, T.; Tomura, Y.; Unzaki, H.; Sasaki, T.; Aratani, M. Tetsu-to-Hagané. vol. 90, 2004, p. 883.
- 9) Takada, H.; Sasaki, T.; Iri, M.; Aratani, M.; Kuguminato, H.; Miyake, H.; Shimizu, M.; Okada, S.; Tomura, Y. U.S. Patent 6,266,983 B1. 2001.
- 10) Iwanaga, K.; Maeda, K.; Nagamune, A.; Hohisa, M.; Kato, H.; Yotsutsuji, J. CAMP-ISIJ. vol. 10, 1997, p. 1036.



荒谷 誠



戸村 寧男



高田 一