

ラインパイプ用高強度高靱性 ERW 鋼管

Development of High Performance ERW Pipe for Linepipe

小出 竜男 KOIDE Tatsuo JFE スチール 知多製造所 製造部鋼管技術室 主任部員(副課長)
 近藤 廣章 KONDO Hiroaki JFE スチール 知多製造所 企画部設備技術室 主任部員(課長)
 板谷 進 ITADANI Susumu JFE 設計 設備事業部 西日本設計部次長

要旨

近年のラインパイプの高級化や高品質化というニーズに対応するため、JFE スチール知多製造所では中径電縫鋼管 26” ミルにおいて、2003 年に最大製造可能板厚を API 5LX56 グレード (API: アメリカ石油協会) で従来の 20.6 mm から 25.4 mm まで拡大する設備改造を実施するとともに、溶接部品質向上を目的とした計測技術改善を実施、合わせてマルチプローブ型溶接部超音波探傷機に代表される独自の品質保証システムを開発した。

Abstract:

To cope with the customers' need for high quality, JFE Steel Chita Works reinforced the 26” ERW mill in 2003 to expand the size availability of API 5LX56 (API: American Petroleum Institute) from 20.6 mm to 25.4 mm in wall thickness. In addition, the new measurement technology and the original quality assurance system, such as the multi-probe type weld seam UT, were developed in order to improve the quality of weld seam.

1. はじめに

近年、ラインパイプの需要が旺盛である。石油・天然ガスを掘削し移送する環境はますます厳しくなっており、特に UOE 鋼管に代表されるような大径管が適用されるような環境においては、管に対する強度、靱性、耐腐食性などの高品質化要求が著しい¹⁾。

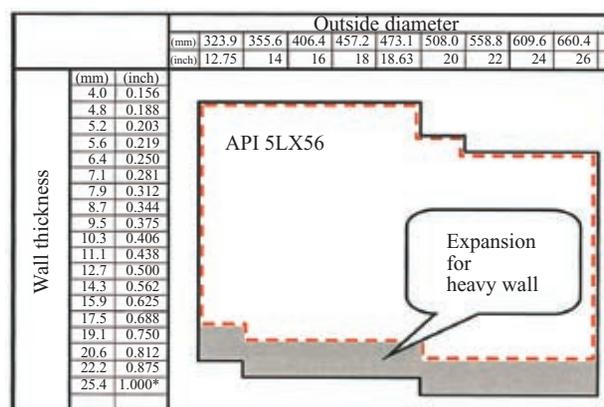
一方、ラインパイプ用電縫鋼管の素材製造技術と鋼管製造技術は急速に進歩しており、高生産性の優位性を背景に、UOE 鋼管や継目無鋼管からの代替が進みつつある。

JFE スチール知多製造所の中径電縫鋼管 26” ミルは、世界で唯一、外径 26” までの電縫鋼管が製造可能なミルである。そこでこの特性を生かし、UOE 鋼管の市場への進出を目的として、製造可能肉厚上限拡大のための設備改造、溶接部品質向上の技術改善および品質保証体制を確立したので紹介する。

2. 厚肉管製造技術の開発

中径電縫管 26” ミルでは、2003 年 4 月に製造可能板厚を API 5LX56 で 20.6 mm から 25.4 mm まで拡大する改造工事を実施した。製造可能範囲を Fig. 1 に示す。

本ミルの設計仕様は、X42 において外径 12”~26”，板厚 16 mm であるが、今までさまざまな改造を実施し、製造



* ERW 1” wall thickness pipe: Only JFE Steel’s 26” ERW mill can manufacture.

Fig. 1 Available size in 26” ERW mill

可能範囲拡大をはかってきた。今回の改造により、(幅) × (厚み)² × (強度) で示される一般的な強度指数は当初の約 3.3 倍になる。そのため、投資効率を重視し、設備設計技術を駆使した増強を検討した。ミルにおける主な改造箇所を Fig. 2 に示す。開発から設計、施工まで、すべてを JFE スチールグループで行った。

2.1 ミル圧下系増強

ミル圧下系の増強検討にあたり、まず JFE スチールグループにて以前から研究、立証されてきた成形負荷予測式と実測負荷測定値により、25.4 mm 最大肉厚時の成形荷重を予測した。

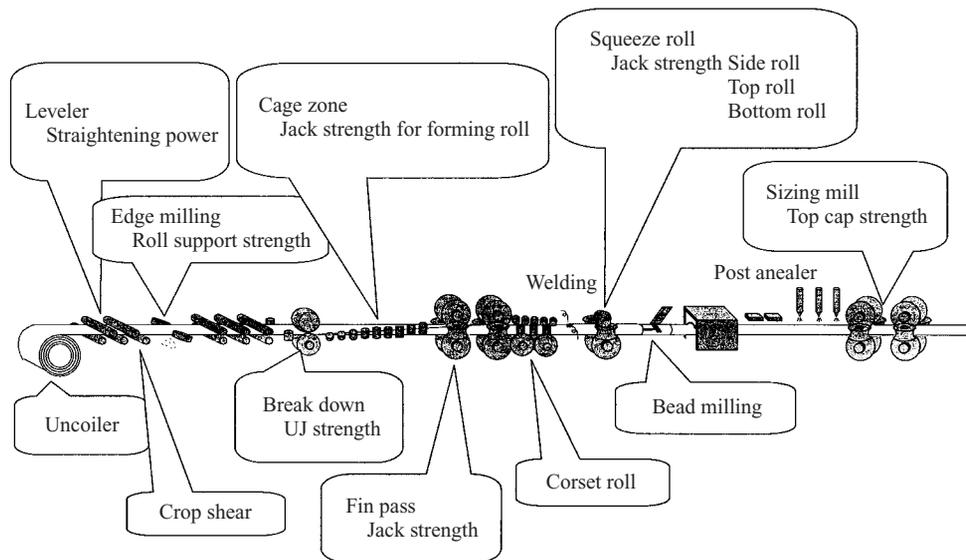


Fig.2 Reinforcement for 1" wall thickness

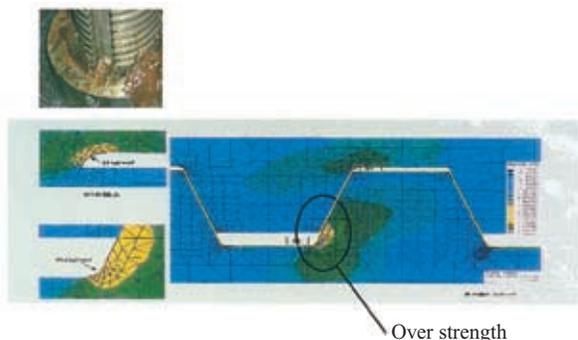


Fig.3 FEM analysis result of finpass top roll jack

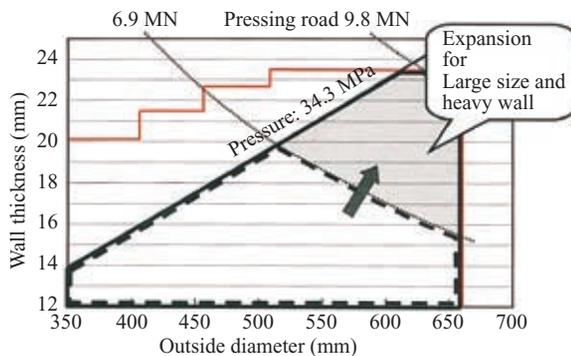


Fig.4 Available size for hydrostatic test (X65 95%SMYS)

成形荷重が加わった時の压下ジャッキなどの設備部位の変位を、FEM 解析などを用いて推定し、実際に変位測定を実施して妥当性を検証した。その上で、先に導出した成形荷重予測値から目標許容荷重を推定し、強度設計に反映した。**Fig. 3** にフィンパススタンドトップロール压下ジャッキのネジ部にかかる応力解析例を示す。検証結果と診断結果にはほぼ相関が得られ、検証手法の精度も確認できた。

2.2 ミル駆動系増強

ミル駆動系については、ラインの速度設計に余力があることから、減速機の速比を下げてトルクアップを図る方向とした。主軸部駆動モータの負荷電流を実測し、成形予測荷重にモータ熱容量を加味して設計、連続負荷予測で検証した上で、増強仕様を決定した。

2.3 搬送・精整設備増強

精整搬送設備については、管の単重増加に対応し、主にストッパー、キッカー、昇降設備の能力増強および搬送による衝撃緩和機能を増強した。

水圧試験機については、**Fig. 4** に示すように従来の水圧

耐力（以下プレッシングロード）は 6.9 MN であり、高強度の大径厚肉鋼管を 95% SMYS で試験できなかった。

今回、水圧試験機のメインシリンダーなど耐力機構部位を増強し、最大プレッシングロードを 9.8 MN まで拡大した。その結果、**Fig. 4** に示すように水圧対応可能なサイズ範囲が拡大した。

3. 厚肉ラインパイプの溶接品質安定化のための技術開発

3.1 厚肉製造時の成形安定化

前述のように、成形設備を増強したが、外径 26" × 肉厚 25.4 mm 材造管時のスクイズスタンドサイドロールにおける成形荷重は、設備仕様 350 t 上限に近かった。このように、一部の設備制約を受けて、適正な溶接部成形設定が選択できず、安定した溶接品質に課題を残していた。

そこで、特定設備にかかる成形負荷を極力軽減し全設備に分散するために、各成形スタンドの成形設定を詳細に見直し、負荷バランスを改善した。

また、コイルエッジ部の形状安定性を向上するために、

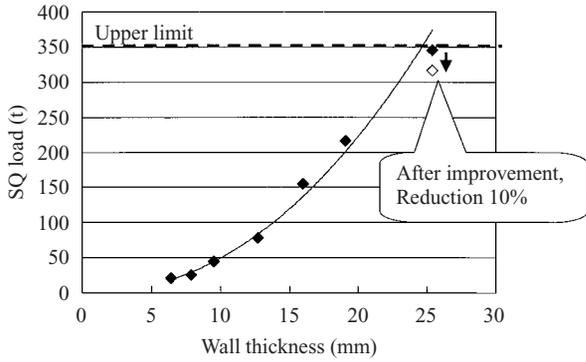


Fig. 5 Efficient of ERW pipe wall thickness on SQ load (X42-X56, Outside diameter: 26")

拘束力を増大させる目的で、各種の成形ガイドロールの形状を適正化し、溶接直前の成形変動を抑制することに成功している。

その結果、Fig. 5 に示すように肉厚 25.4 mm 材のスクイズスタンド成形荷重は、安定した成形設定を採用しても、約 10% 軽減した。

スクイズスタンド成形荷重については、溶接変動につながる成形変動を管理する目的で、常に監視し、データベースに保存できるようシステム化し、品質の安定化につなげている。

3.2 厚肉材溶接部靱性

電縫鋼管の溶接部品質向上のプロセスとして、シーム熱処理がある。Fig. 6 にその概要を示す。管外面側から誘導加熱により溶接部を加熱し、焼き戻しなどによる組織改善を目的としたものである。しかし、厚肉管を内面側まで十分焼きもどそうとすると、外面側が過加熱するおそれがあった。

溶接部靱性を評価する最も厳しい試験方法である CTOD 試験の評価結果例を、Fig. 7 に示す。管外面が過加熱され

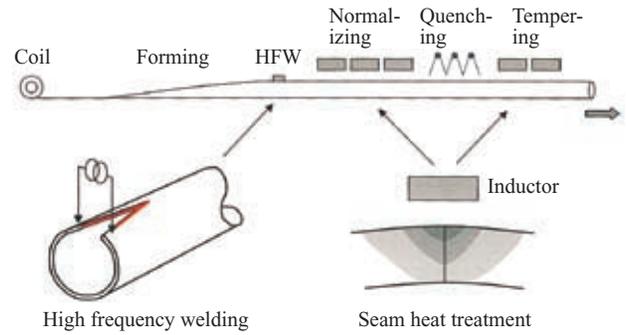


Fig. 6 Manufacturing process of ERW pipe

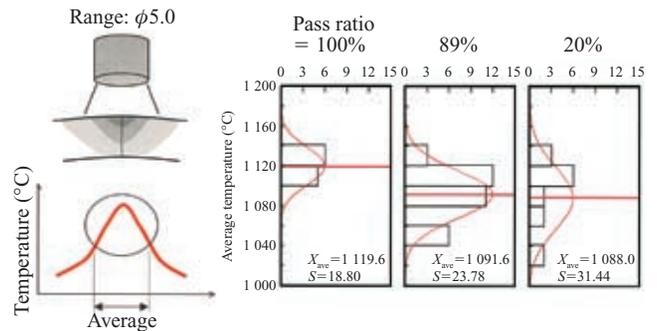


Fig. 8 CTOD results in conventional thermometer

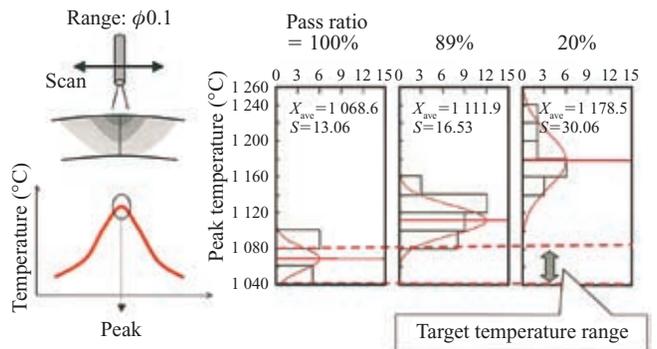


Fig. 9 CTOD results in scan-type thermometer

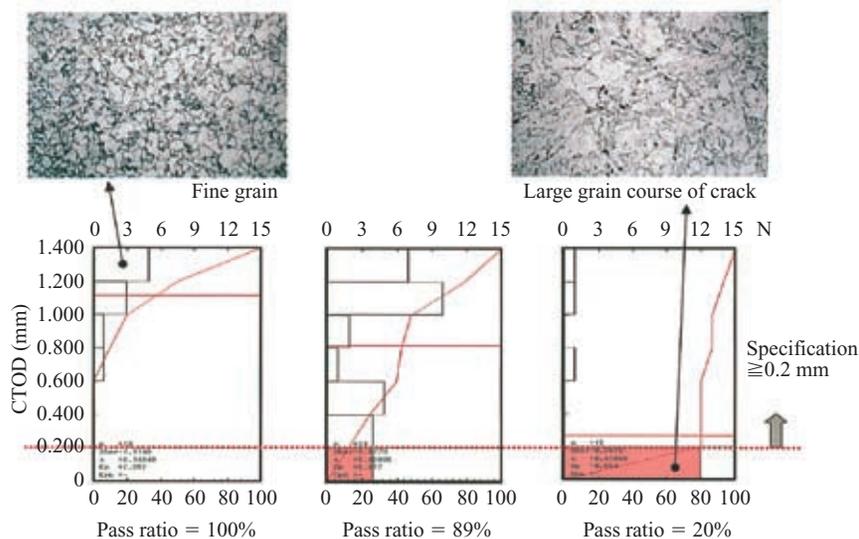


Fig. 7 Relation between CTOD value and grain size

ると、外表層組織が粗大化し、溶接部靱性は著しく劣化することが分かった。

この管外面過加熱を抑止することを目的に、アニーラー設備に使用している温度管理用温度計を、従来の外表面平均温度測定方式から、走査型のピーク温度管理測定方式に変更した。Fig. 8 に示すように、従来の放射型温度計を用いた場合、外表面温度と CTOD 値の相関が不明確であった。この対策として、走査型温度計を用いることにより、Fig. 9 に示すように、外表面温度上昇とともに CTOD 値が悪化する傾向を明確に把握することに成功した。

走査型温度計の導入によって、適正で厳格な温度管理が可能となり、その結果、溶接部の CTOD 値は大幅に改善した。

この改善により、電縫鋼管では世界初となる溶接部 CTOD スペック付き物件 (API 5LX65 外径 24" × 肉厚 19.1 mm) を受注し、工程生産した。

4. 厚肉材の品質特性

2003 年 4 月に工事と試造管を完了し、5 月から肉厚 25.4 mm の工程生産を開始した。

肉厚 25.4 mm 工程材の材料特性値を Fig. 10~12 に示す。溶接部、母材部ともに、引張試験値、シャルピー試験値、偏平試験値はすべて API (アメリカ石油協会) のスペックを満足している。

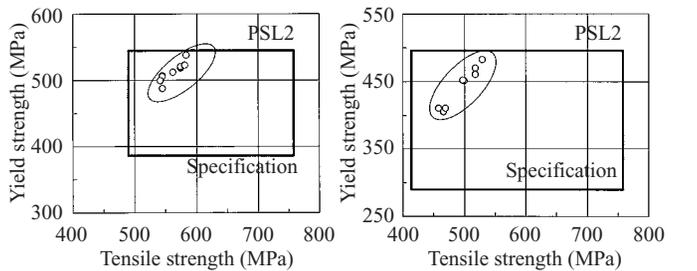


Fig. 10 Tensile test results

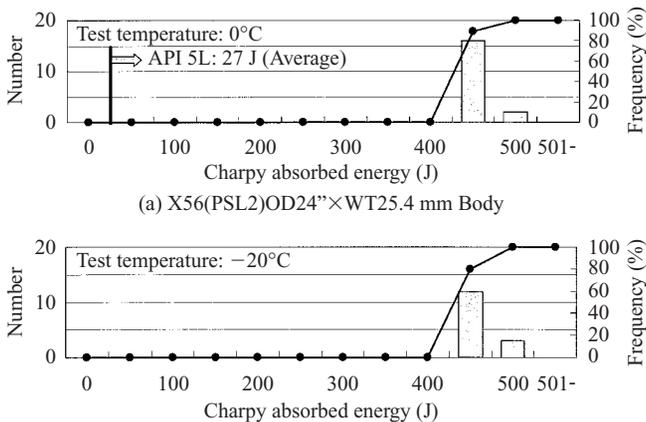


Fig. 11 Charpy impact test results

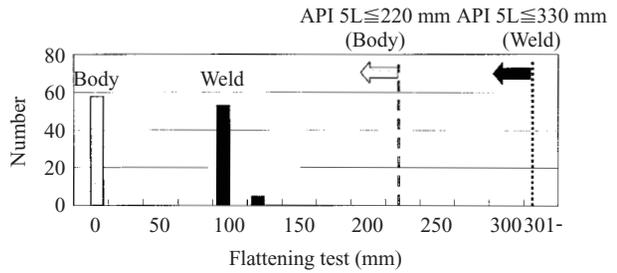


Fig. 12 Flattening test results (API 5LX56 OD26" × WT25.4 mm)

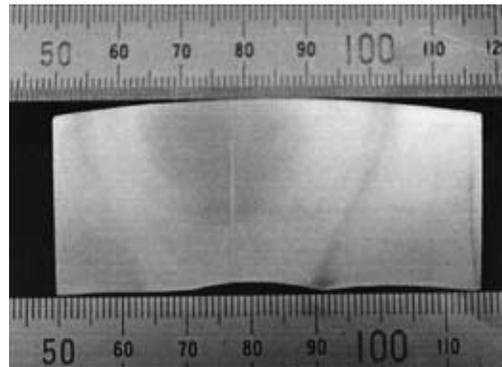


Photo 1 Cross section of ERW welded seam (API 5LX56 OD26" × WT25.4 mm)

API 5LX56 外径 26" × 肉厚 25.4 mm の電縫溶接部の光学顕微鏡写真を Photo 1 に示す。シーム部をノルマ熱処理し、良好な溶接部組織を得ることに成功している。

工程生産を開始してからほぼ 2 年経つが、品質は非常に安定している。

5. 厚肉管溶接部の超音波探傷保証技術の開発

UOE 鋼管に代表される厚肉材ラインパイプは、主に海底ラインパイプに適応され、使用条件が非常に厳しい。母材部はもちろん、溶接部においても材内にトラップされた欠陥を確実に検出する必要があり、特に近年、メジャーオイルカンパニーをはじめとして、厚肉材での溶接部欠陥検出能を重視したスペックを制定する動きが強い。

これを先取り、JFE スチールでは、マルチプローブ方式の溶接部超音波探傷機を開発、導入した²⁾。Fig. 13 に示すように、従来の片側 3 チャンネル、探傷角度 45° の探傷プローブ配置では厚肉材探傷に際して全板厚をカバーできない。さらには、板厚中央部にトラップされた欠陥の反射エコーの検出精度が低くなる。そのため、実操業では板厚に応じて探傷角度の異なるプローブを使用したり、感度を極端に上げて欠陥検出能を確保するなど、操業性を犠牲にせざるを得なかった。

今回開発したマルチプローブ方式は、探傷角度 45° のプローブを周方向に片側 8 チャンネル連続配置して探傷するので、厚肉材でも全板厚をカバー可能であることと、反射

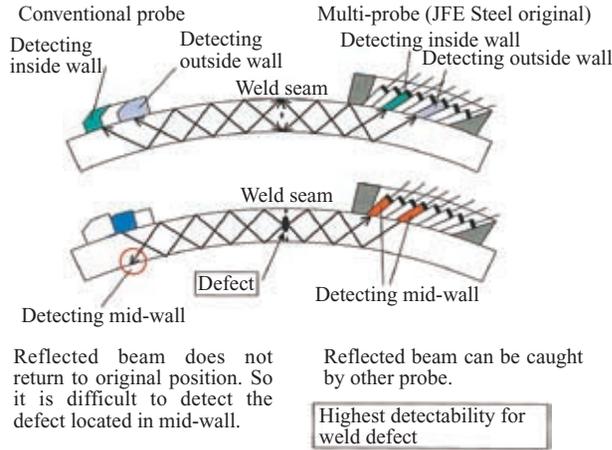


Fig. 13 Multi-probe ultrasonic inspection

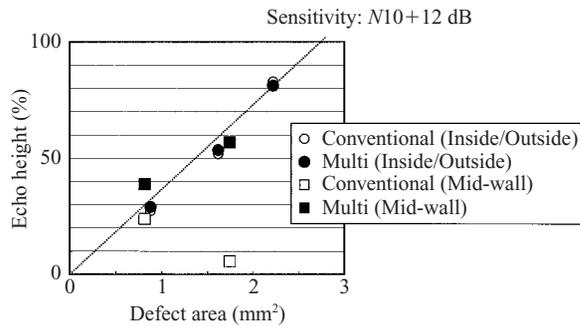


Fig. 14 Detection ability for weld defect

波は必ず検出できることが特徴である。これにより、**Fig. 14** のような板厚中央部に存在する欠陥についても探傷感度を上げずに検出できる。また探傷中の溶接線変動に対しても非常に安定した検出能を示すことが確認されている²⁾。

本技術は JFE スチール開発の独自技術で、他社に先駆けた導入とともに、お客様より多大な評価をいただき、電縫鋼管ラインパイプの信頼性向上に大きく寄与するものである。

これらの技術開発により、**Fig. 15** に示すように、JFE スチール製 UOE 代替電縫鋼管ラインパイプは 2003 年 5 月の工程生産開始以降お客様に多大な評価をいただき、順調な出荷量推移を示している。これは当初の計画をはるかに上回るペースとなっている。

6. おわりに

JFE スチール知多製造所では、UOE 代替電縫鋼管の製造

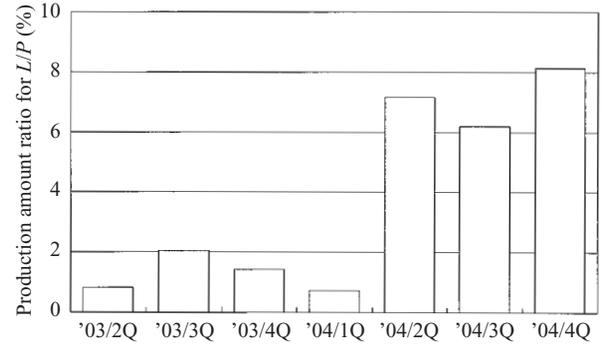


Fig. 15 Amount ratio of 1" wall thickness pipe in L/P products

を目的に、26" 電縫鋼管ミルを増強した。改造、改善内容は以下のとおりである。

- (1) ミルおよび精整設備を増強し、X56 肉厚 25.4 mm の電縫鋼管を製造可能にした。
- (2) 計測技術を刷新する改善によって、アニーラー温度制御を向上させ、全肉厚に渡って安定した溶接品質特性を得ることを可能にした。
- (3) マルチプローブ型溶接シーム部超音波探傷機を開発、導入することにより、欠陥検出能が向上し、品質保証能力が向上した。

以上のように、お客様のニーズを的確に把握した技術開発と設備増強を行った結果、大径厚肉 ERW 鋼管は現在の中径電縫管 26" ミルの中心品種に成長しつつあると言っても過言ではない。JFE スチールでは、厳格かつ多様化する新たなマーケットの要望に答えるべく、Only 1, No. 1 商品を開発していく。

参考文献

- 1) 弟子丸慎一, 高橋和秀, 遠藤茂, 蓮沼純一, 坂田敬, 長浜裕. JFE 技報. no.2. 2003. p.51.
- 2) 江木基明, 近藤廣章, 中島浩一, 依藤章. 材料とプロセス. vol.17, 2004. p.322.



小出 竜男



近藤 廣章



板谷 進