

名古屋製鉄所における環境調和型製鋼プロセスの開発

Development of Environmentally Conscious Steel Making Process at Nagoya Works

渡辺 祐*
Yu WATANABE中嶋 剛司
Tsuyoshi NAKAJIMA三谷 祐貴
Yuki MITANI大方 郁巳
Ikumi OKATA福山 洋平
Yohei FUKUYAMA後藤 克樹
Katsuki GOTO平野 裕太郎
Yutaro HIRANO高瀬 賢二
Kenji TAKASE

抄 録

名古屋製鉄所製鋼プロセスにおける最近の開発状況について報告する。溶銑予備処理工程においては予備脱珪とMURCプロセス導入と改善による効率化を行った。RHプロセスへの硫黄インプット減、脱硫処理能力向上により、極低硫黄鋼12連々铸造を可能とした。更に、連続铸造工程において、タンディッシュのプラズマ加熱装置能力、耐用性改善により、溶鋼温度制御向上、二次精錬における溶鋼温度低減を行った。難製造鋼種である高強度鋼のスラブ横割れ防止について新パウダー適用による改善を図った。また、溶鋼取鍋からの熱放散低減による改善を行った。

Abstract

In this paper, recent developments in the steelmaking process at Nagoya Works are described. The main measures in hot metal pretreatment process were introduction of pre-desiliconization and MURC process to improve dephosphorization efficiency and slag volume. Ultra-low sulfur steel refining capacity of RH process was increased by reduction of sulfur brought into RH process and 12 sequential continuous casting process was established. Heating capacity of TD plasma were improved in continuous caster to reduce liquid steel temperature. Improvements were made by applying new mold powder to prevent slab transverse cracking of high-tensile steel. Some measures to reduce heat dissipation from a ladle were conducted.

1. 緒 言

地球温暖化対策としての温暖化ガス排出削減については、1997年の京都議定書に続き、2015年に採択されたパリ協定による目標に対して各国が取り組んでいる。我が国の鉄鋼業は産業部門の温室効果ガスの約半分の排出を占めることから、業界一丸となって取り組んでいる。基本的に3つの活動からなるそのコンセプトは、エコプロセス、エコプロダクト、エコソリューションであり、製鋼プロセスでは特に、エコプロセス、エコプロダクトの2点が重要となる。

名古屋製鉄所は、自動車製造の集積地に立地し、高性能な自動車用鋼板の製造を推進してきた。近年の自動車軽量化による省エネルギー、省CO₂のニーズの高まりに対応するため、最近では1000MPaを超える高強度鋼(以下ハイテンと略す)の製造ニーズがある。これらハイテンの製造

は、一層の高純度化や鑄片割れ対策等、難製造に伴う増工程や歩留まり低下による増エネルギー、コスト増に対して有効な対応策を講じる必要がある。本報では、ここ数年間の名古屋製鉄所製鋼プロセスにおける改善、開発について述べる。

2. 溶銑予備処理工程の効率化対策

2.1 溶銑脱りんの効率化¹⁾

スラグ発生量低減を主たる目的に、転炉方式溶銑予備処理の効率化に取り組んだ。既報²⁾では、脱りん脱硫プロセス分離のため、脱硫専用炉を新たに立ち上げ、主に脱硫効率改善の効果について述べた。ここでは更に、ソフト的な改善として、高溶銑中珪素濃度下での脱りん効率改善のため、脱りん処理初期の送酸速度を増加することにより、処理前珪素濃度が高い場合でも高い脱りん率を得ることを可能とした。

* 名古屋製鉄所 製鋼部 製鋼技術室長 愛知県東海市東海町 5-3 〒476-8686

一方、製鉄部門における劣質原料化に伴い、溶銑の珪素濃度は上昇傾向にあり、特に0.6%を超えるケースでは脱りん率低下を防げず、また、脱りん炉においてはスロッピング（スラグ、溶銑のあふれ出し）の発生による吹錬中断や操業障害が発生する。そのため、脱りん処理前の溶銑珪素濃度を低減するため、2018年に、トービードカー（以下TPCと略す）における事前脱珪設備を導入した（図1）。導入に際しては、既存のTPCインジェクションによる脱硫設備を利用し、脱珪剤吹き込みシステムを増設し、TPCからの排滓設備を増強した。

立ち上げ当初、課題であったスラグフォーミングによる処理中断、排ガス温度異常によるバグフィルター焼損対策を実施し、ほぼ、当初計画の平均脱珪幅0.2%を達成している。フォーミング対策として、以下の点を実施した。図2にスラグフォーミングによる処理中断発生頻度を示すが、処理前にスラグが存在しない、いわゆる裸湯の場合に大きくなることが明らかであった。その理由は図3³⁾に示すように、SiO₂濃度が極端に大きくなるため、スラグ粘性が増加、フォーミングインデックス⁴⁾が増加したことによると推定した。これに対し、CaO添加によるフォーミング抑制により、大幅に中断比率を低減した。

次に、排ガス温度の上昇に対しては、ミスト冷却を導入して改善を図った。以上の結果、図4に示すように、計画

値の処理比率に到達した。

2.2 MURC⁵⁾ プロセスの導入⁶⁾

名古屋製鉄所製鋼プロセスの精錬工程は、3基の溶銑予備処理炉（うち1基は脱硫炉）、3基の脱炭炉、および二次精錬から構成されるが、溶銑予備処理炉の能力に対し、脱炭炉の能力が勝っているため、非予備処理溶銑の転炉精錬、即ち、脱炭炉にて脱珪脱りん脱炭処理を行う（直送銑）処理が15%程度発生していた。そのため、脱炭炉において中間排滓を行うための改造を行い、Multi-Refining Converter（以下MURCと略す）プロセスを導入した。その際、ネックとなるのは、スラグパンのサイクルタイムであり、脱りん（Blow1）スラグの放冷時間適正化やスラグパン物流改善等の改善対策を講じ、目標とするMURC適用率10%の目途を得た（図5）。

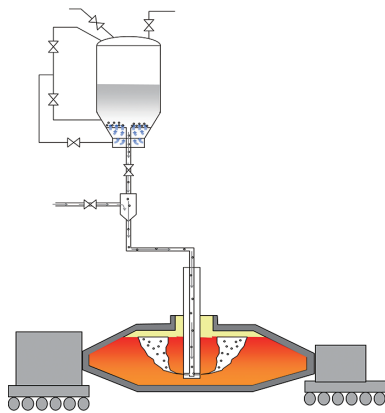


図1 トービードカー脱珪設備概念図
Schematic view of TPC desilicization equipment

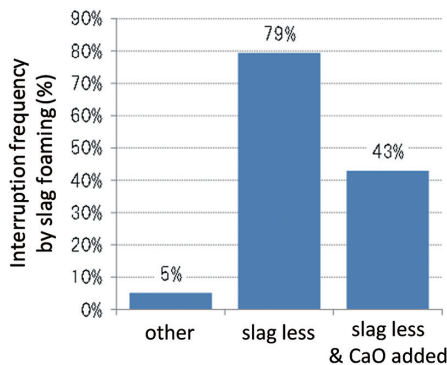


図2 処理中断比率比較
Comparison of interruption frequency

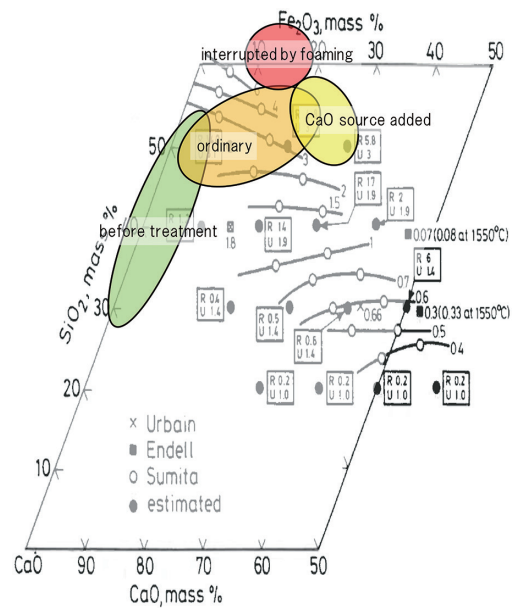


図3 処理前後のスラグ組成および等粘度線³⁾
Slag compositions before and after treatment, and viscosity contours of CaO-SiO₂-Fe₂O₃³⁾ system

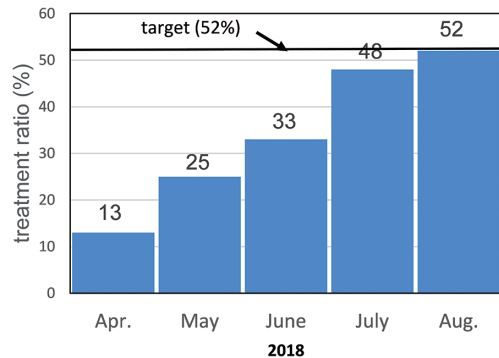


図4 トービードカー脱珪処理比率推移
Trend of TPC desilicization treatment ratio

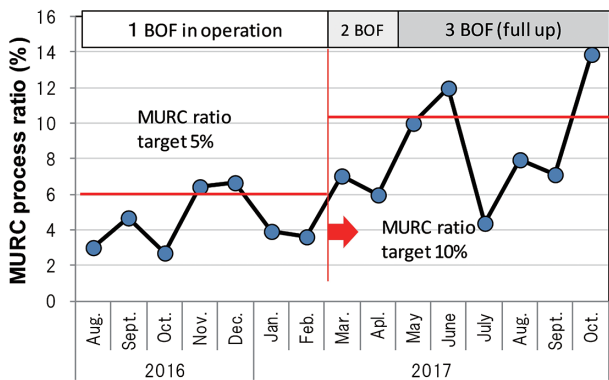


図5 MURC 実施比率推移
Trend in MURC process application ratio

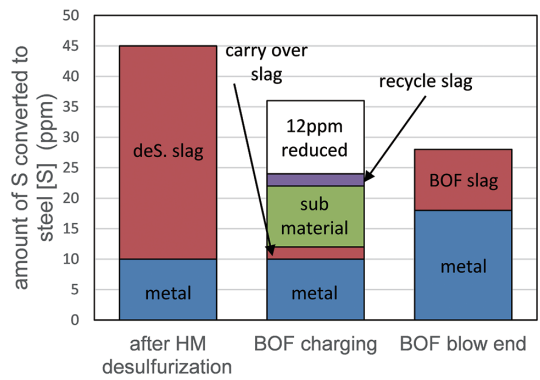


図6 改善後の硫黄収支
Sulfur balance after improvement

3. 極低硫黄鋼精錬技術の改善⁷⁾

耐サワー特性、低温韌性の要求に対応するため、極低硫黄鋼の大量溶製のための多連铸造化、具体的には9連々铸造から12連々铸造に対応可能な脱硫能力の向上を行った。

溶銑段階での低硫黄化に対しては、既報^{2,8)}の溶銑脱硫能力の向上を図り、低硫黄溶銑供給ネックは軽減し、9連々铸造を可能とした。しかしながら、12連々铸造化に向けては、更に、RH真空脱ガス装置における脱硫フラックスによる耐火物、特に浸漬管の溶損対策が重要となる。そのため、溶銑鋼脱硫処理後の排滓強化対策と、脱炭炉での硫黄ピックアップ防止対策としての脱炭炉のクリーニング操業を実施することにより(図6)、RHでの脱硫負荷、フラックス吹き込み量を低減し、12連々铸造技術を確立した(図7)。

4. 高品位铸造技術の開発

4.1 タンディッシュプラズマ加熱装置の高効率・安定化⁹⁾

名古屋第1連続铸造機(以下ICCと略す)は、薄板ハイテン等の中炭素鋼、あるいは厚板向けスラブを铸造しており、異鋼種継ぎ目での低残湯操業、浸漬ノズル交換作業を実施しているが、その際の溶鋼温度低下が安定铸造時の課題である。そのための対策として、低温溶鋼の温度補償のため、従来よりタンディッシュ(以下TDと略す)プラズマ加熱装置を設置して改善を図ってきたが、機長延長に伴う能力増強に対し、加熱能力が不足したため、2011年にはシングルトーチからツイントーチ(1.1MW×2組)への設備改造を行うとともに、その能力発揮のための課題である着火成功率の向上と装置寿命の向上に取り組んだ。導入したツイントーチプラズマ加熱装置の概要を図8に示す。

主要な改善のポイントは以下の点である。

- 1) 着火安定性向上のための着火後トーチ引き上げシーケンス改善による失火防止。
- 2) 加熱室内アルゴンパージ対策、空気侵入防止による放電安定化。

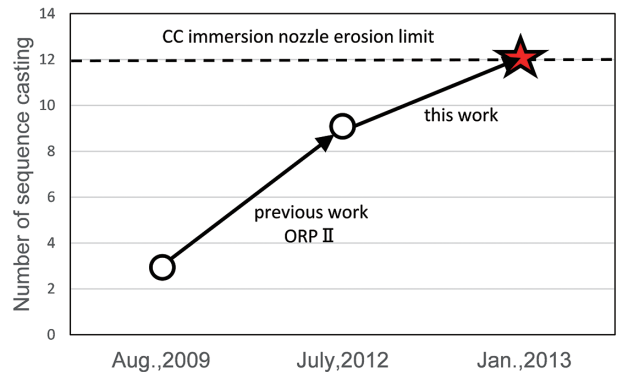


図7 連々铸造数の変化
Change in number of sequential casting

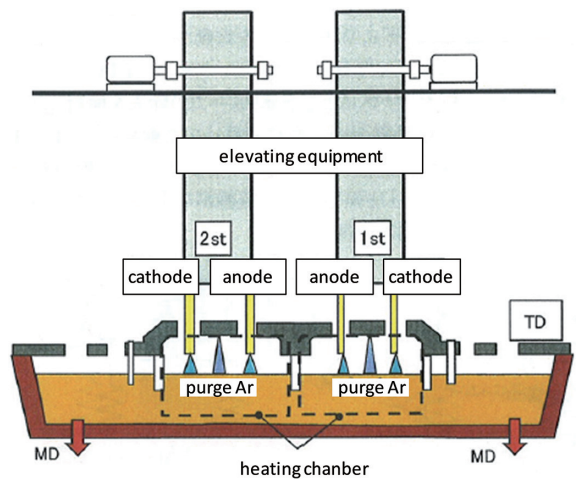


図8 ツイントーチプラズマ加熱装置の概要
Schematic view of plasma heater (twin torch system)

3) 溶鋼流速と加熱効率の関係を把握し、下堰の設置、最適設計によりTD内溶鋼流速を増すことによる着熱効率改善。

これらの改善により、二次精錬後の溶鋼温度低減の効果をえた(図9)。

4.2 モールドパウダー改善によるハイテン横割れ低減¹⁰⁾

自動車の燃費向上のため、軽量化が求められており、自

自動車用鋼板のハイテン化ニーズは益々高まっている。名古屋製鉄所においては、難製造鋼種が多いこれらハイテンの易製造化に取り組んでいる。その中でも特に欠陥が多発し易く、スラブでの横割れに起因する歩留まり落ちが多い鋼種（以下ハイテン A と称す）に対する対策が求められていた。

本鋼種の組成の試験片による高温引っぱり試験による温度と断面収縮率の関係を図 10 に示すが、脆化温度が 1000℃以上と高い。また、スラブ表面付近の横割れ発生状況を図 11 に示すが、横割れ発生位置は、オシレーションマーク（以下 OSM と略す）位置に一致していることが確認された。

以上より、横割れ発生の原因は、亜包晶鋼であることに加え、Ⅲ領域脆化温度が高いことであることが明らかになった。そのため、図 12 に示す原因関連図からハイテン A の横割れ対策には、(1) 曲げ矯正部でのⅢ領域脆化の回避、(2) OSM を浅くする、(3) 鑄型内でのシェルと鑄型の摩擦を低減する、といった対策項目が考えられる。しかしながら、(1) の対策は脆化温度が高いことから上方回避は困難であった。そのため、ここでは横割れの起点となりうる OSM の制御という観点での鑄型内条件（モールドパウダー、モールド振動）の変更 に 注 力 し、モールドパウダーのカスピダイン晶出と、高凝固点化による鑄型緩冷却化、および

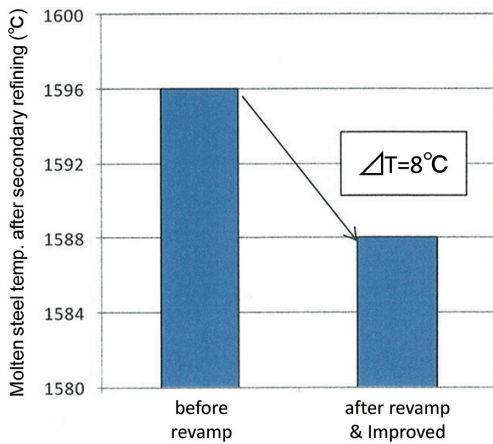


図 9 二次精錬後温度に及ぼすプラズマトーチの効果
Effect of plasma heater on the steel temperature after secondary refining

低粘性化によるパウダー流入促進による鑄型 - シェル間摩擦低減のためのパウダー適用により、改善を図った。

結果を図 13 に示す。新開発パウダーの適用により、3mm 手入れでの横割れ発生率を大きく低減し、図 14 に示すように歩留まりを改善できた。

5. 放熱ロス低減技術^{11, 12)}

放熱ロス低減対策として、次の 3 点について取り組んだ。

1) 鑄造後空鍋からの放熱ロス低減 - 蓋掛け実施対策

連続鑄造の鑄造終了後に空となった鍋については、従来より放熱ロス低減の観点から、蓋掛けを実施している。しかしながら、鑄造終了後の排滓時にはメンテナンス上、蓋を外したまま、次の受鋼を待つことが行われており、待機時間が長時間に及ぶと放熱ロスが大きくなる。そのため、空鍋への蓋掛けを実施するためのハード対策を実施し、二次精錬後の溶鋼温度を 1.4℃低減した。今後は、更に、溶鋼鍋への蓄熱推定モデルを作成することで、溶鋼温度降下

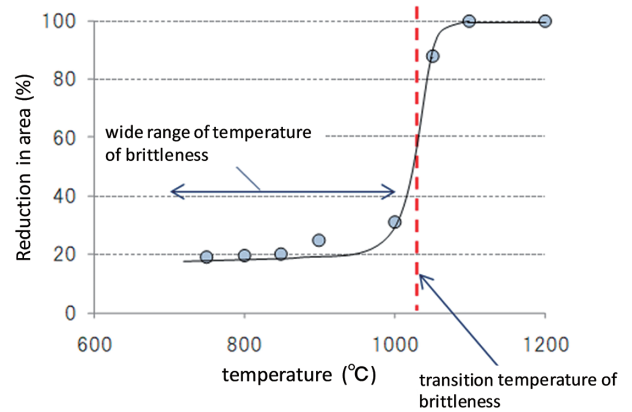


図 10 ハイテン A のⅢ領域脆化挙動
Behavior of high temperature brittleness of high tensile steel-A

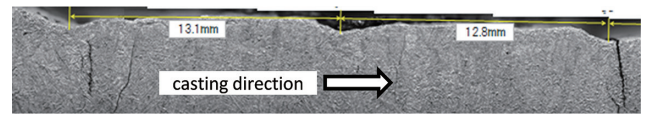


図 11 鑄片割れ部の断面 (OSM と横割れ)
Cross section of part of crack occurrence near slab surface

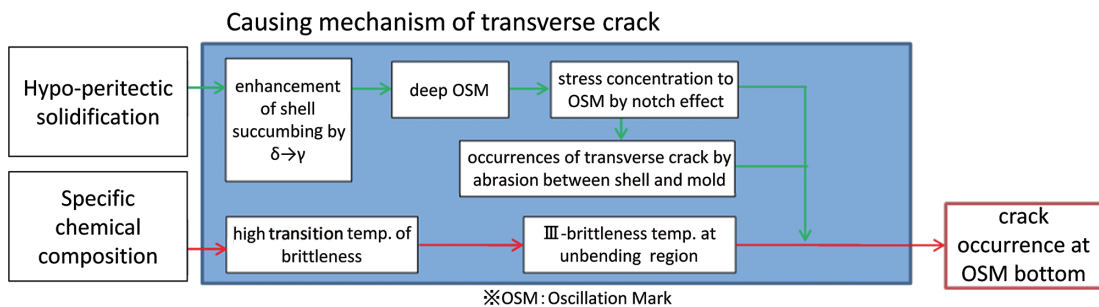
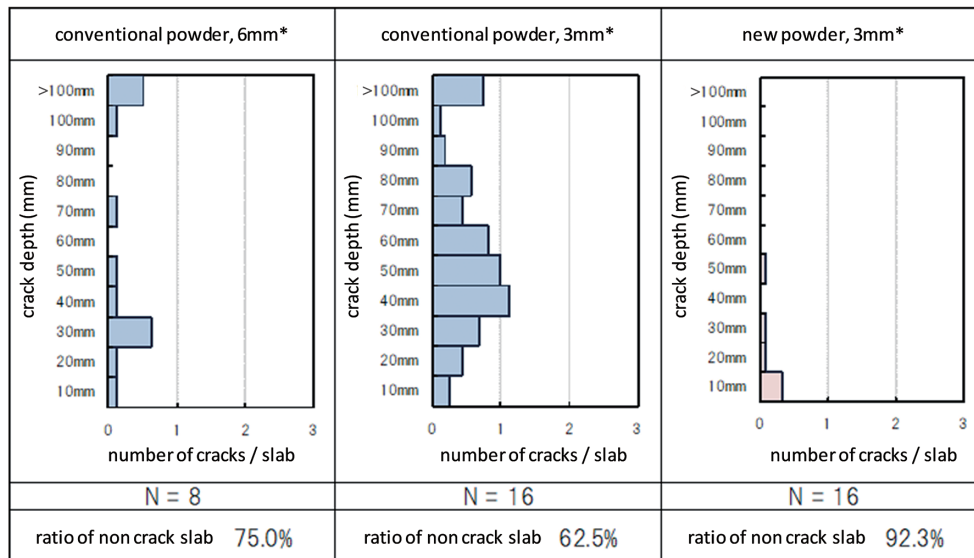


図 12 ハイテン A の横割れ原因関連図
Cause-and-effect map of crack of high tensile steel-A



* numerics indicate the depth of grinding

図 13 各条件での横割れ数および深さ
Number of transverse crack and depth

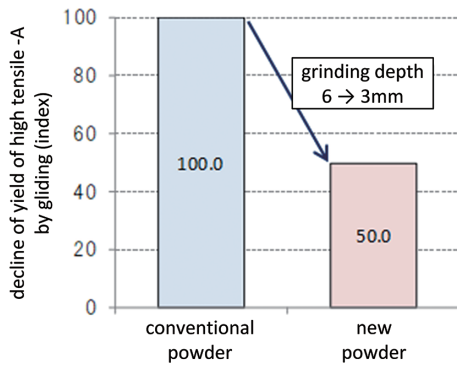


図 14 歩留まりへの影響
Influence on the yield

の予想精度を向上する。

2) 2CC TD プラズマ加熱装置の長寿命化

プラズマ印加条件の最適化等のトーチ寿命改善等により、二次精錬後温度を 5℃ 低減した。

3) 異鋼種連々 casting 時の継ぎ目残湯ミニマム化、プラズマ加熱装置の活用

小ロット鋼種の多い ICC の継ぎ目最小化のため、4.1 節に述べた TD プラズマ加熱装置を最大限に活用し、異鋼種継ぎ目部 TD 残湯を 10t から 5t に半減することを可能とした。また、浸漬ノズル交換作業とタイミングを同期化することにより、異鋼種継ぎ目部の低グレード品への格落ちを最低限にした。

6. 結 言

環境調和型製鋼プロセスを目指し、ハイテンの易製造化、高級鋼量産化のためのプロセス改善として、溶銑予備処理、

二次精錬、連続 casting 各工程における効率化を進めてきた。今後も、エコプロセスによるエコプロダクト製造の効率化を目指し、研究、開発を継続する。

参考文献

- 1) 新日鐵住金名古屋製鉄所：日本鉄鋼協会第 159 回製鋼部会提出資料. 2018, 私信
- 2) 福田佳之 ほか：新日鉄技報. (394), 91 (2012)
- 3) Eisenhüttenleute, V.D.: Slag Atlas. 2nd Edition. Düsseldorf, Verlag Stahleisen GmbH, 1995, 371p
- 4) Zhang, Y., Fruehan, R.J.: Met. Mat. Trans. B. 26B, 803 (1995)
- 5) 小川雄司, 矢野正孝, 北村信也, 平田浩：鉄と鋼. 87, 21 (2001)
- 6) 新日鐵住金名古屋製鉄所：日本鉄鋼協会第 158 回製鋼部会提出資料. 2018, 私信
- 7) 新日鐵住金名古屋製鉄所：日本鉄鋼協会第 150 回製鋼部会提出資料. 2014, 私信
- 8) 新日本製鉄名古屋製鉄所：日本鉄鋼協会第 145 回製鋼部会提出資料. 2011, 私信
- 9) 新日鐵住金名古屋製鉄所：日本鉄鋼協会第 149 回製鋼部会提出資料. 2013, 私信
- 10) 新日鐵住金名古屋製鉄所：日本鉄鋼協会第 157 回製鋼部会提出資料. 2017, 私信
- 11) 新日鐵住金名古屋製鉄所：日本鉄鋼協会第 155 回製鋼部会提出資料. 2016, 私信
- 12) 新日鐵住金名古屋製鉄所：日本鉄鋼協会第 152 回製鋼部会提出資料. 2015, 私信



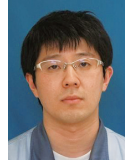
渡辺 祐 Yu WATANABE
名古屋製鉄所 製鋼部 製鋼技術室長
愛知県東海市東海町5-3 〒476-8686



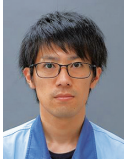
福山洋平 Yohei FUKUYAMA
名古屋製鉄所 製鋼部 製鋼技術室



中嶋剛司 Tsuyoshi NAKAJIMA
技術総括部 生産計画室 主幹



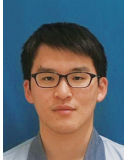
後藤克樹 Katsuki GOTO
名古屋製鉄所 製鋼部 製鋼技術室



三谷祐貴 Yuki MITANI
名古屋製鉄所 品質管理部 一貫管理室
主査



平野裕太郎 Yutaro HIRANO
名古屋製鉄所 製鋼部 製鋼技術室



大方郁巳 Ikumi OKATA
名古屋製鉄所 製鋼部 製鋼技術室
主査



高瀬賢二 Kenji TAKASE
名古屋製鉄所 製鋼部長