

NSblade[®] / 溶融亜鉛めっき用 新型ワイピングノズルの実機適用

～高速通板時の操業安定性向上～

“NSblade[®]” / Application of advanced air knife to Hot dip
continuous galvanizing line

～Improvement of operational stability at high speed production～

住友 雄太 Yuta SUMITOMO

製鉄プラント事業部
製鉄プラントエンジニアリング第二部
鋼板処理・加熱炉プラントエンジニアリング室

角野 初輝 Hatsuki KAKUNO

製鉄プラント事業部
エンジニアリングソリューションビジネス推進室

抄 録

溶融亜鉛めっき鋼板のめっき厚みは、鋼板表裏に配置されるエアナイフによって精度よく制御されている。近年、溶融亜鉛めっき鋼板の品質、生産性改善のニーズが高まるなか、当社は、流体解析、水モデル試験、CGLパイロットライン試験、実機試験を経て、新型エアナイフ“NSblade[®]”を開発した。NSblade[®]は、ノズルのエア吐出幅と鋼板幅を常に一致させ、鋼板端部外側でのエア衝突を回避することによって、高速操業時のエッジオーバーコートとスプラッシュを抑制する。本稿では、NSblade[®]の開発内容および実機化後の実績について述べる。

Abstract

Coating thickness of galvanizing steel is accurately controlled by Air knife located at both sides of strip. Recently, quality and productivity improvement as to hot dip galvanizing steel has been highly required. We, Nippon Steel & Sumikin Engineering Co., Ltd., has developed advanced air knife “NSblade[®]” through computational fluid dynamics, water model test, pilot line test and commercial line test. As a feature of NSblade[®], wiping air width matched with strip width leads avoidance of air collision from top and bottom side at outside of strip edge. As a result, this device can reduce edge over coating and edge splash at higher speed operation. In this paper, the detail of development and the performance result after commercialization are described.

1 緒言

溶融亜鉛めっき鋼板は優れた耐食性、加工性を有するため、建材・家電・自動車分野に広く利用されている。溶融亜鉛めっき鋼板は、図1で示す連続溶融亜鉛めっきライン(Hot Dip Continuous Galvaniz-

ing Line, 以下 CGL)で製造されている。CGLにおけるめっきプロセスでは、図2のように原板を溶融亜鉛浴中に浸漬させて、鋼板表面に亜鉛を付着させたのち、鋼板の表裏に配置されるエアナイフによって精度良くめっき付着量を制御している。

近年、溶融亜鉛めっき鋼板製造メーカーが増加する

状況下で、各社差別化を図るため、品質(美しい表面外観、均一な亜鉛付着量)及び高速通板による生産性向上の要求は益々高まっている¹⁻³⁾。特に、溶融亜鉛めっき鋼板の品質、生産性に影響を与える重要なプロセスであるエアナイフに関して改善が求められてきた。品質、生産性向上を阻害する要因として、①エッジスプラッシュ(鋼板端部の亜鉛が飛散する現象)や②エッジオーバーコート(鋼板の両端が中心部のメッキ厚に比べ厚目付になる現象)が挙げられる。図3に示す従来のエアナイフは、鋼板が無い箇所でもエアが噴出しているため、表裏の噴流同士が衝突し合い、鋼板端部近傍に乱れが生じる。この乱れによって発生する鋼板端部からの亜鉛スプラッシュがエア吐出口を閉塞させ、安定操業が困難となる。また、上記噴流衝突により、鋼板端部の亜鉛払拭力が低下し、エッジオーバーコートが発生してしまう⁴⁾。

上記問題の原因となる鋼板外の噴流衝突を防ぐために、鋼板端部近傍にエッジバッフルプレート(ダミー板)を設ける方法がある。このエッジバッフルプレートは鋼板端部から5mm以内に配置すること

で、前述の問題を解決してきた⁵⁾。しかし、鋼板端部とエッジバッフルプレートの間隙が非常に小さいため、鋼板が左右に蛇行した際に、互いが衝突する恐れがある。結果として、蛇行が激しい場合には間隙を広く取らざるを得ず、狙った効果は得られない。また、図4で示すように、板厚方向で鋼板とエッジバッフルプレートがずれると、生じた隙間にエアが流入し、噴流衝突が発生し、エッジバッフルプレートの効果が失われる。以上より、エッジバッフルプレートは操業安定性の観点で課題が残っていた。そこで当社は、高速通板時の操業安定性を向上させた、新型エアナイフ「NSblade[®]」を開発し、実機化した。本稿では、NSblade[®]開発内容及び実機化後の実績について述べる。

2 NSblade[®]の開発と商品化

2.1 NSblade[®]の特徴

図5にNSblade[®]の基本構造を示す。個々のエアナイフノズル本体に噴流吐出を防止するブレードを内蔵、従来のエッジバッフルプレートをエアナイフ

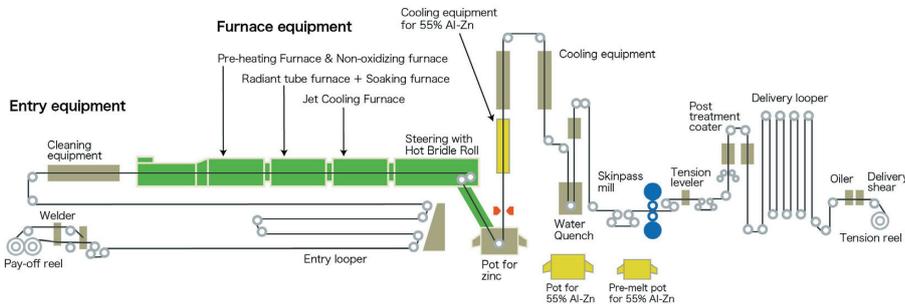


図1 連続溶融亜鉛めっきライン
Fig 1 Hot dip continuous galvanizing line

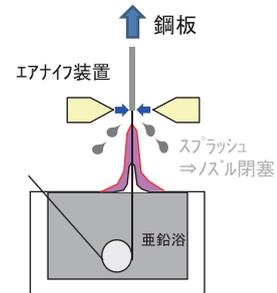


図2 めっき付着量調整
Fig 2 coating weight control

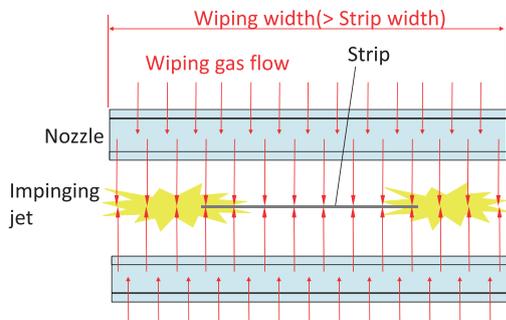


図3 従来エアナイフ
Fig 3 Ordinary air knife

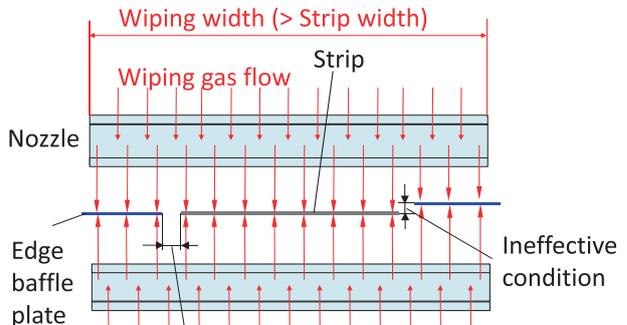


図4 エッジバッフルプレート型エアナイフ
Fig 4 Air knife with edge baffle plate

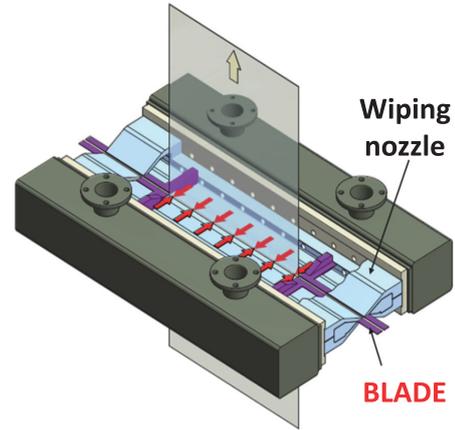
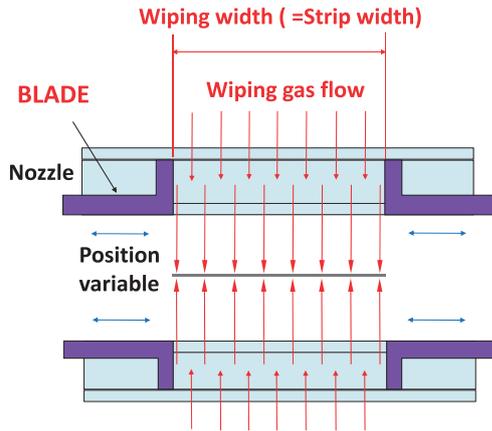


図5 NSblade®の特徴
Fig5 Feature of NSblade®

に組み込んだ構造にしたことで鋼板端部外側でのエアの衝突を回避している。また、ブレードは非接触式鋼板端部検出センサにより鋼板端部に合わせて位置制御している。その結果、常に鋼板幅とエア吹出幅が同じになるので、鋼板端部外側の乱れを低減し、スプラッシュやエッジオーバーコートが抑制できる。ブレードがエアナイフ内部にあることで従来のエッジバッフルプレートで課題であった、鋼板との衝突や位置ずれは発生しない。

2.2 NSblade®開発ステップ

NSblade®は以下4つのステップで開発し、実機化を行った。以降各ステップでの実施内容及び結果について述べていく。

- ステップ1 数値流体解析
- ステップ2 水モデル試験
- ステップ3 CGLパイロットライン試験
- ステップ4 CGL実機試験

ステップ1 数値流体解析

3次元非定常流体解析によって、図3の従来エアナイフと図5のNSblade®の鋼板端部近傍の渦度と流速の比較を実施した。本解析では、流体解析ソフトFluent v6.3を使用し、乱流モデルとしてLES (Large Eddy Simulation)を適用した。図6に解析モデルを示す。エアナイフ内部の流入境界条件はエア圧力40kPa、エア温度300Kとした。計算の簡易化のため、鋼板は静止状態、亜鉛は考慮しておらず、1流体(エア流れ)のみとした。図7は鋼板端部

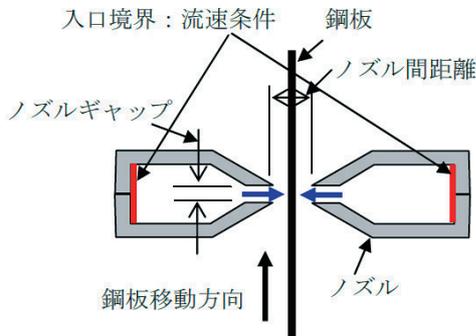


図6 解析モデル
Fig6 Analysis model

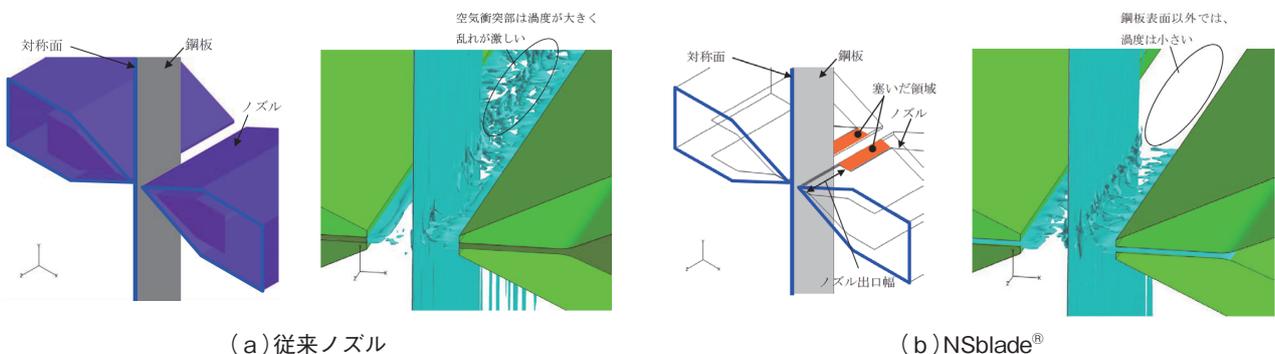


図7 鋼板端部乱流可視化結果
Fig7 Visualized turbulence at strip edge computed by CFD

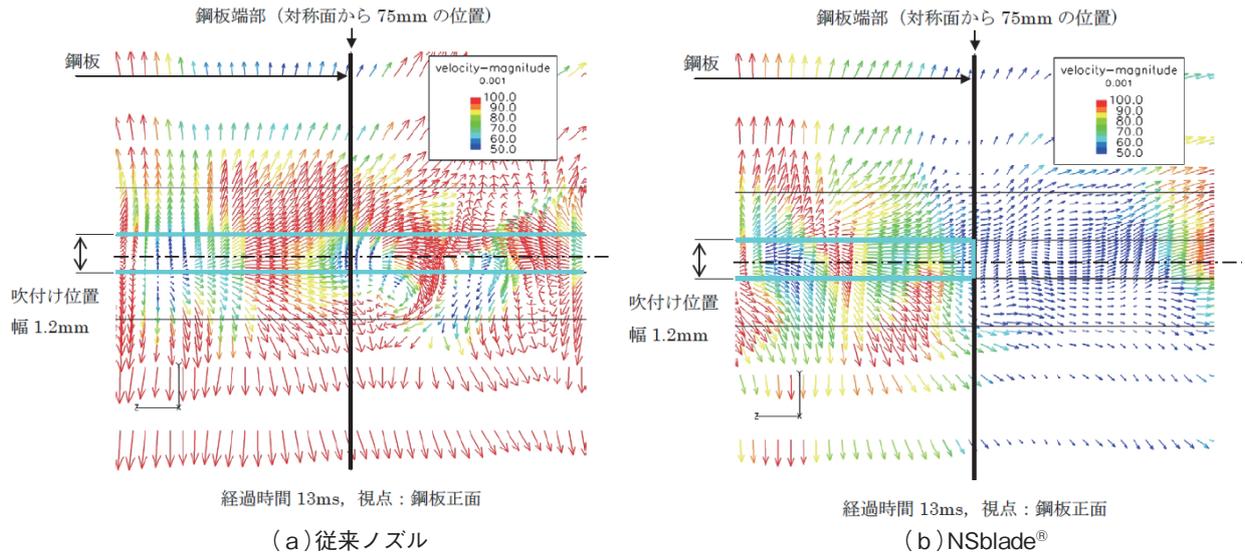


図8 鋼板表面から1mm離れた面の流速ベクトル
Fig8 Velocity vector of plane 1mm apart from strip surface

近傍の流れを可視化したものである。従来エアナイフは鋼板端部外側の噴流衝突により流れが乱れていることがわかる。Kimらの数値解析結果によると、本可視化結果が示すような鋼板端部外側の噴流衝突による乱れは、鋼板端部への衝突圧の低下を引き起こし、エッジオーバーコートが発生させる⁴⁾。一方、NSblade®は吐出噴流が無いいため、噴流衝突が回避できており乱れが少ないので、エッジオーバーコートの抑制効果が期待できる。また、図8は鋼板表面から1mm離れた面における流速ベクトルを示している。NSblade®の場合、鋼板端部から外側に向かう流速は従来エアナイフに比べて小さいため、スプラッシュの低減に効果があると予想される。

ステップ2 水モデル試験

流体解析結果を実証するために、水モデル試験装置を用いて、スプラッシュ発生量の調査を実施した。

図9に水モデル試験装置概略図を示す。水槽中にエンドレスベルト(ステンレス製)を通板させ、引き上げたのち、エアナイフで水を除去する。エアナイフから100mm下方、300mm下方の位置で水スプラッシュを回収し、重量を測定した。通板速度は160~215m/min、エアナイフ圧力は40kPaとした。図10に従来エアナイフとNSblade®の水スプラッシュ発生量比較結果を示す。流体解析で明らかに

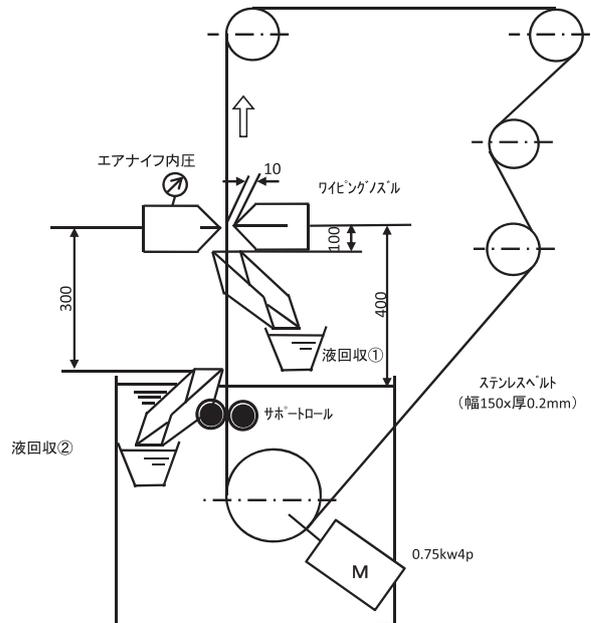


図9 水モデル試験装置
Fig9 Test equipment for water model

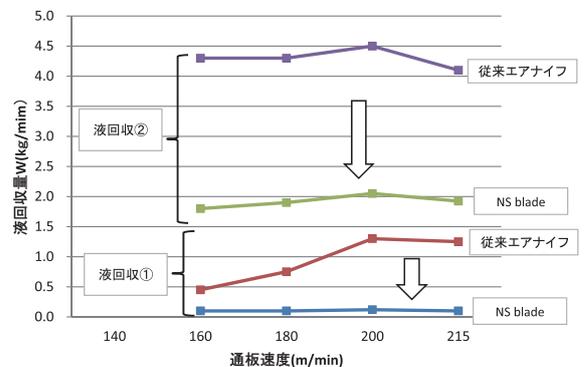


図10 水スプラッシュ量測定結果
Fig10 Water splash weight measured by the water model

なった NSblade[®] の鋼板端部近傍の乱れ抑制効果より、水スプラッシュの抑制が確認できた。

ステップ3 CGLパイロットライン試験

CGLパイロットラインにおいて、実際に熔融亜鉛を使用してスプラッシュ及び鋼板端部のめっき付着量分布の調査実験を行った。通板速度160mpmで鋼板(幅280mm, 板厚0.71mm)を焼鈍炉で550℃まで加熱した後、460℃の熔融亜鉛浴(GI浴)に浸漬させた。その後、エアナイフ(エア圧力50kPa)で余分な亜鉛を除去、乾燥後サンプルを採取しめっき付着量を測定した。図11, 12に従来エアナイフとNSblade[®]のスプラッシュおよびめっき付着量分布を示す。図11, 12が示すように、熔融亜鉛を使用した高速通板時におけるスプラッシュ低減及びエッジ

オーバーコート改善効果が確認された。くわえて、エア圧100kPa条件でエアナイフの騒音を測定した結果を図13に示す。吐出エアの衝突防止によって、1~3kHzの領域で10~30dBの騒音低減効果が認められた。以上より、実操業への適用目途が立った。

ステップ4 CGL実機試験

当社が過去CGLを納入した客先の協力を仰ぎ、NSblade[®]の実操業試験を実施した。操業条件を表1に示す。これまでCGLパイロットラインで試験したGI浴で約2週間NSblade[®]を適用し、ブレードの駆動機構の耐久性及びめっき品質の確証を行った。以上より、NSblade[®]開発を完了し、商品化を成功させた。

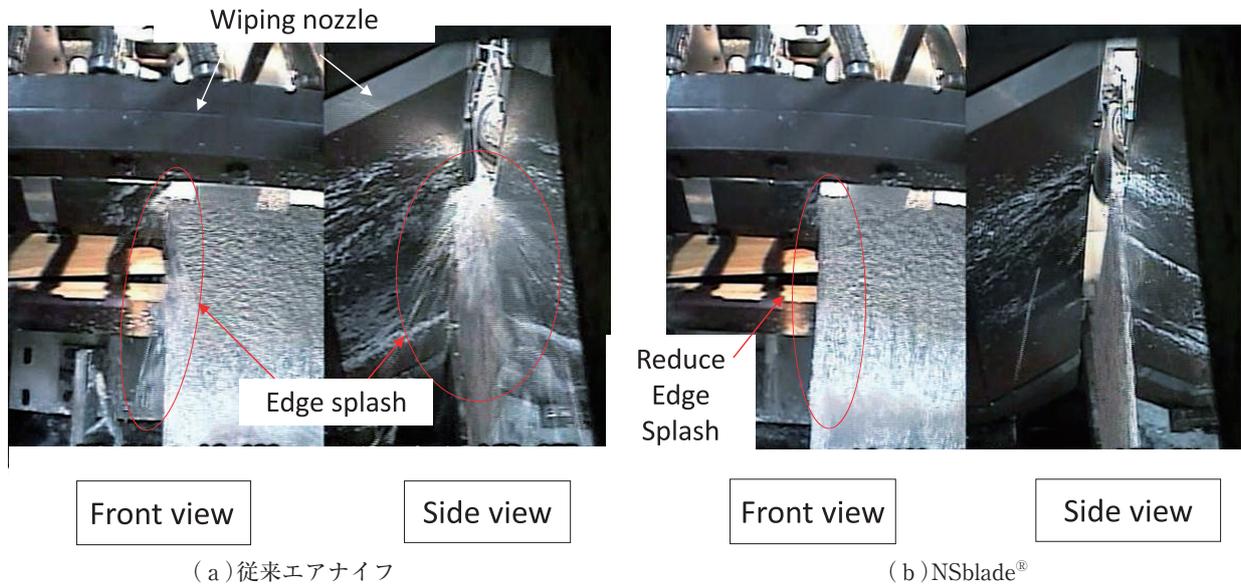


図11 亜鉛スプラッシュ状況の比較

Fig11 Comparison of zinc splash condition between ordinary air knife and NSblade[®]

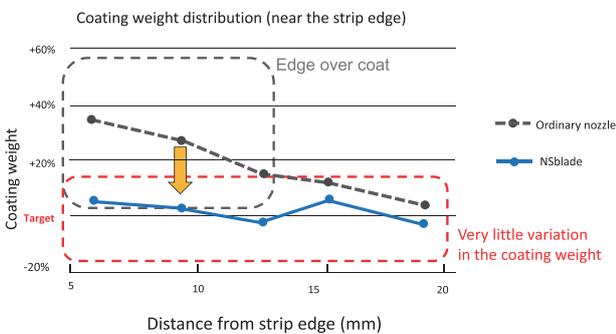


図12 鋼板端部のめっき付着量分布

Fig12 Coating weight distribution on strip edge

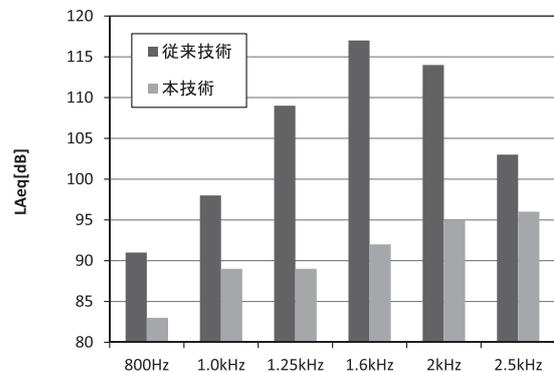


図13 エアナイフからの騒音

Fig13 Noise level of air knife

表1 操業条件
Table 1 Operation condition

めっき浴	GI
浴温度	460℃
最高通板速度	160m/min
めっき付着量(両面)	80~270g/m ²
鋼板幅	914-1, 219mm
スプラッシュ	無
エッジオーバーコート	無

3 NSblade®納入実績と導入効果

2013年 NSblade®商用1号機を Ton Dong A 社 (ベトナム)に納入後、7案件を受注した(2017年9月現在)。図14に NSblade®の外観、表2に納入実績(2017年5月現在)を示す。うち3案件は、他社ラインに NSblade®を適用する改造案件である。これらラインにおける導入効果について、以下に述べる。



図14 NSblade®(写真)
Fig14 Overview of NSblade® (Photo)

3.1 エッジオーバーコートとスプラッシュの低減

表3にGIめっき浴および55%Al-Znめっき浴に NSblade®を導入した結果を示す。既設エアナイフと比較し、エッジオーバーコート、スプラッシュともに改善していることがわかった。例として図15に55%Al-Znめっき浴での板端部の付着量分布の比較

を示す。NSblade®導入以前は、エッジオーバーコートに起因するスタッガー巻生産(鋼板端部をずらしながら巻き取る方法)が課題であったが、本装置を導入したことによって、エッジオーバーコートが解消され、フラット巻生産が可能になった。

表3 オーバーコートとスプラッシュの比較
Table 3 Comparison of Edge over coat and splash

めっき浴	GI	55%Al-Zn
浴温度	460度	600度
エッジオーバーコート	改善	改善
スプラッシュ	無	無

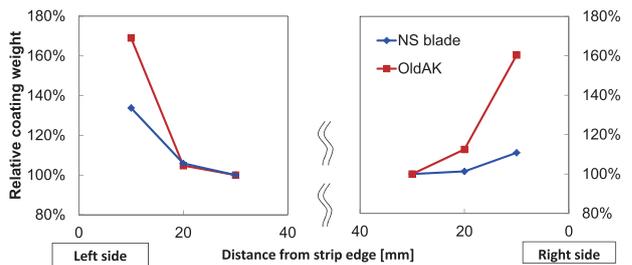


図15 板端部付着量の比較
Fig15 Comparison of coating weight distribution

3.2 トップドロスの発生量の低減

図16に示す通り、他社製エアナイフから更新ののち、トップドロス発生量が低減していることが明らかになった。トップドロスとは、溶融亜鉛浴表面に生成する酸化亜鉛(ZnO)である。このトップドロスは、エアナイフの吐出エアが鋼板に衝突したのち、

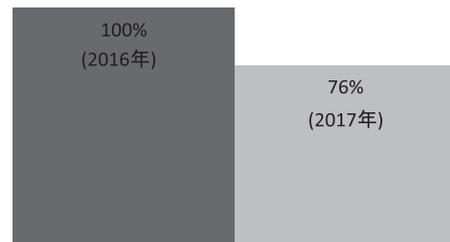


図16 トップドロス発生量
Fig16 Quantity of Top dross generation

表2 NS blade®納入実績(2017年5月現在)
Table 2 Supply record list of NSblade®

No.	Customer	Products	Maximum Line speed	Coating weight range
1	Rachashima No. 3 CGL	GI	160mpm	80-270g/m ²
2	Ton Dong A No. 4 CGL	55%Al-Zn	150mpm	30-200g/m ²
3	"A" Company CGL	GI	160mpm	80-350g/m ²
4	Ton Dong A No. 3 CGL	55%Al-Zn	108mpm	30-200g/m ²
5	Tianjin Xinyu New CGL	55%Al-Zn	220mpm	50-200g/m ²
6	"B" Company CGL	55%Al-Zn	180mpm	40-200g/m ²
7	PT TATAMETAL No. 1 CGL	GI 55%Al-Zn	120mpm	GI : 80-300g/m ² 55%Al-Zn : 30-200g/m ²

浴面に到達し、亜鉛が酸化することにより生成する。この酸化物は不純物であるため、亜鉛浴歩留りを悪化させる。また、トップドロスが鋼板に付着すると表面外観品質欠陥となるため、オペレータは定期的(約1回/hr)に溶融亜鉛浴上のトップドロスをスプーンでかきとり清掃をしている。

表4に吐出空気量の比較を示す。前述のとおり、従来エアナイフは、鋼板外側にもエアを吐出しており、過剰吐出するエアがトップドロスの生成を促してしまう。一方でNSblade[®]は、通板する板幅に対して、吐出幅を一致させ、必要な吐出空気量を低減することができる。結果として、過剰な酸化を防止し、ドロスの発生量を低減できる。

今後、高級めっき鋼板生産を目的とした窒素ワイピングノズルや自動車用広幅エアナイフにNSblade[®]を適用した場合には、上述の吐出流体の消費量最小化により、さらなるランニングコストの改善が期待できる。

表4 吐出空気量比較

Table 4 Comparison of discharge air quantity

鋼板幅	従来エアナイフ (1600mm幅)	NSblade [®] (吐出幅=鋼板幅)
900mm	3,000Nm ³ /hr	1,500Nm ³ /hr (50% saving)
1200mm		2200Nm ³ /hr (27% saving)

4 結言

本稿では、NSblade[®]開発内容及び実機化後の実績について述べた。NSblade[®]は、流体解析、水モデル試験、CGLパイロットライン試験、実機試験を重ねて効果を実証し、商品化に繋げた。また、従来課題であったエッジバップルプレートの操業安定性を克服するとともに、エッジオーバーコートおよびスプラッシュの発生状況を改善し、顧客より高い評価を得ている。今後も顧客と密に接し、迅速に顧客の声を捉え、ニーズを満足する技術を提案していく所存である。

参考文献

- 1) 壁矢和久, 石田匡平ほか: CGLワイピング部における電磁石を用いた鋼板の振動および形状制御: 鉄と鋼 Vol. 99(2013)10
- 2) 武田玄太郎, 高橋秀行ほか: 多段スリットガスワイピ

ングノズルによる付着量制御についての実験的解析: 混相流 Vol. 28(2014) 1

- 3) O. Bregend, J. Crahay *et al.*: New wiping techniques to efficiently produce suitable coating layers at high speed in the hot dip galvanizing process: Research Fund for Coal and Steel(2010)
- 4) S.J.KIM, J.W.CHO, K.J.AHN and M.K.CHUNG: Numerical Analysis of Edge Over-coating in Continuous Hot-dip Galvanizing: ISIJ Int, Vol. 43(2003)
- 5) Y. TAKEISHI and H. MORINO: Mechanism and Prevention of Edge Over Coating in Continuous Hot-Dip Galvanizing: ISIJ Int. Vol. 40(2000)