

# 気中キャビテーション噴流式 調質圧延機ワークロールの新型洗浄装置の開発と商品化 ～連続溶融亜鉛メッキラインに於ける品質及び生産性の向上実現～

Development and Commercialization of Advanced Cleaning System  
for Skin Pass Mill Work Roll, Type Cavitating Jet in Air  
～Realization of High-quality and High-productivity  
in Hot Dip Continuous Galvanizing Line～

小川 宗成\* Muneshige OGAWA  
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  
商品技術室、マネジャー

## 抄 録

近年、連続溶融亜鉛メッキラインにおける品質及び生産性向上の要求は益々高まっている。亜鉛メッキ鋼板の品質を左右する装置の一つに調質圧延機があり、板表面疵の低減と板表面粗度向上の役割を担っている。そのワークロールは、オンラインでの確実な洗浄により常にクリーンな状態を維持することが求められるが、これまでに採用された洗浄装置では、必要なロール表面粗度を犠牲にすることなく、亜鉛粉などの固着物をロール表面から十分に除去する事が出来なかった。そこで当社は、必要粗度を確保しつつ固着物を除去できる、気中キャビテーション噴流を用いた洗浄装置を開発し、それを実ラインに適用し、有益な結果を得た。本稿では、この技術の開発概要、実機への適用とその稼働実績について述べる。

## Abstract

There has been an increasing requirement to improve quality and productivity in Hot Dip Continuous Galvanizing Line (hereinafter referred to as "CGL").

Skin pass mill have been used in order to improve the final strip quality such as a strip surface defects and roughness in CGL. As a part of skin pass mill, various types of in-line cleaning systems had been applied. However, those systems were inadequate to remove the solid sticking substance (e.g., zinc powders) from work rolls surface maintaining its rough surface.

Nippon Steel & Sumikin Engineering (hereinafter referred to as "NSENGI") has developed the "Cavitating Jet in Air" cleaning system to realize the removal of the solid sticking substance without sacrificing required roughness. NSENGI also introduced the new cleaning system into commercial production line in CGL and confirmed the effectiveness of the technology.

## 1 序論

### 1.1 板表面疵の低減と板表面粗度の確保

近年、連続溶融亜鉛メッキライン(Hot Dip Continuous Galvanizing Line、以下CGL)における品質及び生産性向上の要求は益々高まっている。

特に、自動車外板用亜鉛メッキ鋼板では、高い板表面粗度が、より良い塗装性やプレス性の為に求められている。板表面粗度は、亜鉛メッキ後に施される調質圧延により、そのワークロール表面の粗度を板に転写する事により板表面粗度が与えられる。そのため、調質圧延機のワークロールは、板表面疵である圧延疵を発生させる異物(例えば亜鉛粉)を付着させない事及び異物を除去する事と共に、表面粗度を保つ事が重要である。つまり調質圧延機では、ワークロールの異物付着防止と除去、表面粗度確保が課題となっている。

従来のワークロール洗浄装置であるブラシロール式(Mechanical Brush Roll Scrubber)では、ワークロールに付着した異物、特に凹部に入り込んだ異物の除去能力は十分でなく、除去力を強くしようとブラシをワークロールに強く押し当てたりブラシ回転数を高くしたりすると、板粗度を確保するために必要なワークロール表面粗度を、短時間で削り取ってしまっていた。そこで近年高圧水スプレー式(High Pressure Water Spray)が考案され、実操業で使われている。これは、必要なワークロール表面粗度を確保した上で、通常操業中の異物除去には効果を發揮しているが、局所的で強固な異物の除去には完全ではなく、この場合は操業中での新ワークロールへの交換が余儀なくされている。そこで、高圧水スプレー式と同様にワークロール表面粗度を確保しつつ、より洗浄力が高く、局所的で強固な異物の除去が可能な洗浄方法が望まれていた。

### 1.2 開発方法

このような状況にて、東北大学大学院/祖山均教授により実現されていた、気中キャビテーション噴流(Cavitating Jet in Air)を調質圧延機のワークロールに噴射して洗浄する方法を、次のステップにて当社と東北大大学院との共同研究にて開発した。

#### 1) 第一ステップ

亜鉛粉を付着させたサンプル鉄板に、試験装置内にて気中キャビテーション噴流を噴射し、亜鉛粉が除去できる事とサンプル鉄板表面粗度が確保される事を確認。

#### 2) 第二ステップ

CGL実操業で使用した調質圧延機ワークロールを試験装置にて回転させながら、気中キャビテーション噴流を噴射する事で、亜鉛粉が除去できる事とワークロール表面粗度が確保される事を確認。

#### 3) 第三ステップ

実操業中のCGLに設置されたブラシロール式ワークロール洗浄装置を持つ調質圧延機にて、この洗浄措置を気中キャビテーション噴流式に交換し、その効果を確認。そこでワークロールの交換頻度や異物の除去状態を調査した。

以上により、調質圧延機ワークロールの新型洗浄装置を開発し、実機にて商品を完成させた。

## 2 気中キャビテーション式洗浄装置の開発と商品化

### 2-1. 開発方法

まず、キャビテーションの原理と気中キャビテーション噴流の概要を説明する。

#### 1) キャビテーションの原理

キャビテーションとは、流動する液体において、その流速の増加により液体の圧力が飽和蒸気圧まで低下し、液相から気相へと局所的相変化が発生する現象である。類似の現象である沸騰は、加熱に起因する現象であり、速度起因のキャビテーションとは区別される。またキャビテーションの場合は沸騰と違って、速度の低下すなわち圧力の回復により気相が液相に短時間に移行する事で、衝撃力が生じる。この衝撃力をワークロールの洗浄に利用する。図1にキャビテーション気泡の経時変化と衝撃力の発生機構を示す。

キャビテーション噴流は、一般に水を貯留した水槽に高速水噴流を噴射してキャビテーション噴流を発生させてきた。しかしこの方法では、水を満たせない場合にはキャビテーション噴流を形成

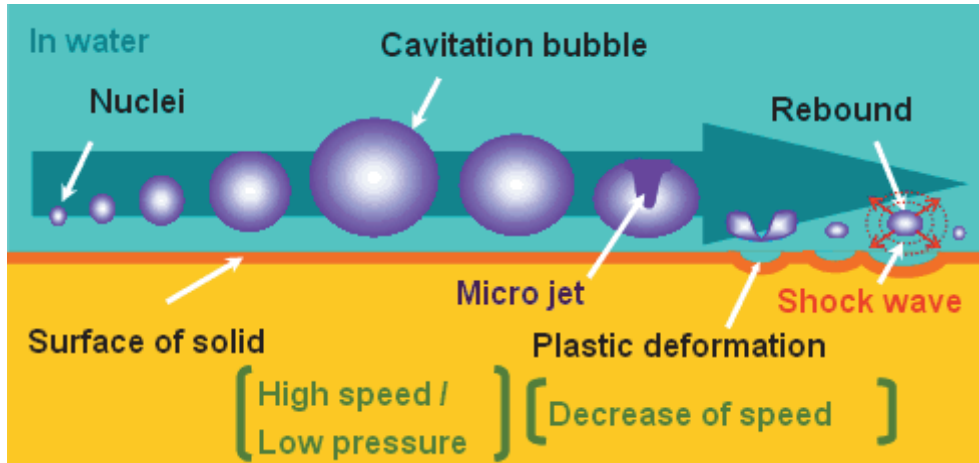


図1 キャビテーションとその衝撃力  
Fig. 1 Cavitations and impact force

(©Soyama, Takakuwa & Aoyagi Laboratory <http://www.mm.mech.tohoku.ac.jp/>)

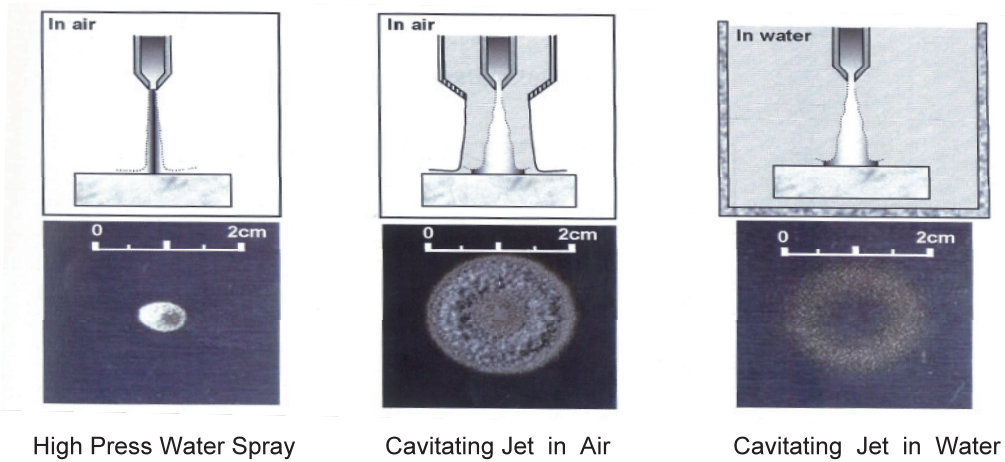


図2 作業領域と衝撃力の比較  
Fig. 2 Comparison of work area and impact force

できない。そこで祖山教授は、大気中に低速噴流を噴射して、その中心部に高速噴流を噴射、水を満たした水槽等を用いる事無く、大気中にて直接的にキャビテーション噴流を発生させる、気中キャビテーション噴流(Cavitating Jet in Air)の噴射に成功した。

2) 気中キャビテーション噴流の概要

気中キャビテーション噴流の加工能力と加工領域を比較するために、大気中に高压水噴流を噴射する高压水噴流(High Pressure Water Spray)と水槽等の水中に高速水流を噴射してキャビテーション噴流を発生させる水中キャビテーション噴流(Cavitating Jet in Water)をアルミニウム壊食試験にて比較した。

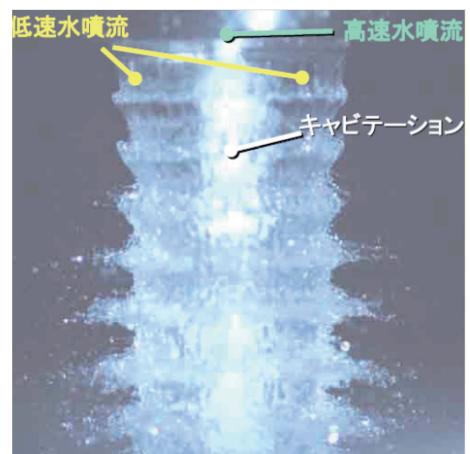


図3 キャビテーションの様相  
Fig. 3 Cavitations figure

いずれも、高速水流はノズル直径0.8mm、噴射圧力20MPa、噴射時間10分間と同一条件で噴

射したものである。気中キャビテーション噴流は、明らかに高圧水噴流や水中キャビテーション噴流より加工領域が広く、かつ加工能力が高いと言える。また気中キャビテーション噴流の様相は、図3の通りである。

## 2-2. 開発ステップ毎の概要

### 1) 第一ステップ／サンプル鉄板試験

ワークロールと同じ硬度と表面粗度を与えたサンプル鉄板に、亜鉛粉を実操業と同じ圧下力で付着させ、そのサンプル鉄板に試験装置内にて気中キャビテーション噴流を噴射し、亜鉛粉が除去できる事と鉄板表面粗度が確保される事を確認した。図4は、実験に用いた試験装置の概要を示す。Tank-Aは試験水の回収用であり、水で満たしていない。図5にサンプル鉄板の気中キャビテーション噴流の噴射試験結果を示す。亜鉛粉量は蛍光X線にて測定した。図6に比較として、ブラシロール式での洗浄試験結果を示す。

気中キャビテーション噴流での洗浄にて亜鉛が

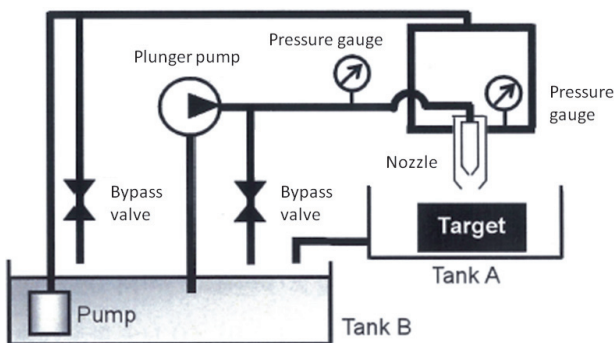


図4 気中キャビテーション噴流の試験装置  
Fig. 4 Test machine for Cavitating Jet in Air

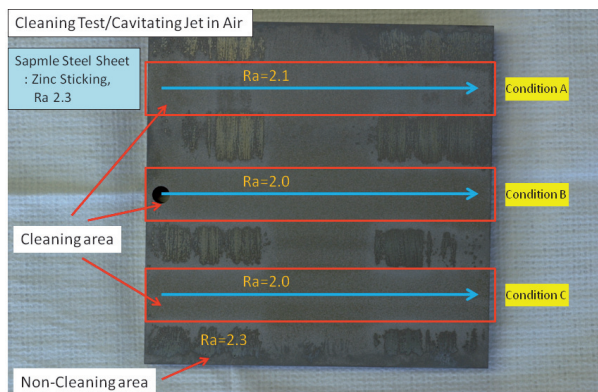


図5 テスト結果：気中キャビテーション噴流  
Fig. 5 Test result: Cavitating Jet in Air

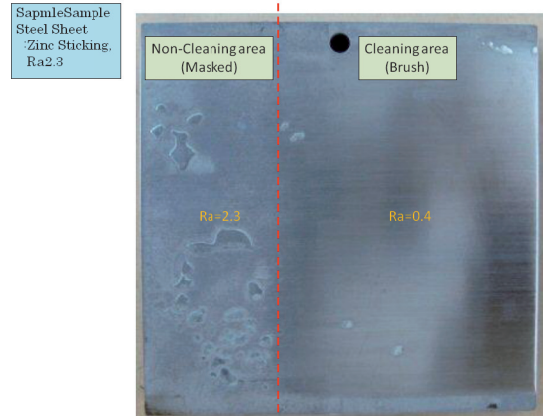


図6 試験結果：ブラシロール  
Fig. 6 Test result: Brush roll

除去でき、かつ板表面粗度の落ちは殆ど無い事、ブラシロール式では十分に亜鉛が除去できず、亜鉛が除去できるまでブラシを押しつけると板表面粗度が取れてしまう事が解る。

### 2) 第二ステップ／実ロール試験

CGL実操業(GI生産約800ton)で使用した調質圧延機ワークロールに、気中キャビテーション噴流を噴射する事で、亜鉛粉が除去できる事とワークロール表面粗度が確保される事を確認した。ここでは、気中キャビテーション噴流と高圧水噴流の比較を行った。図7に試験装置の概要を示す。

図8にワークロールへ、気中キャビテーション噴流と高圧水噴流を噴射した際の、各洗浄回での亜鉛粉除去量を示す。

図9には同様の噴射後のワークロール表面粗度

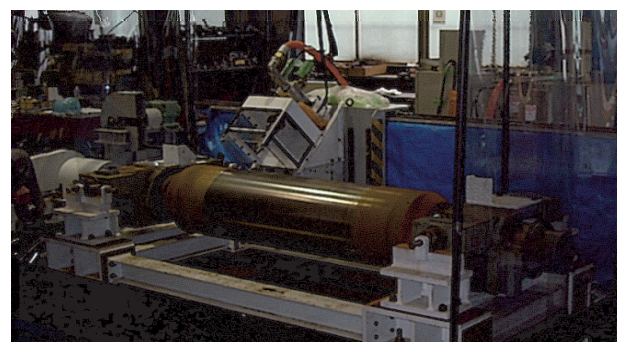
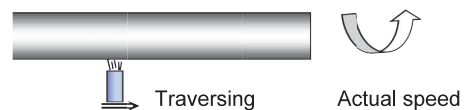


図7 気中キャビテーション噴流によるロール洗浄試験装置  
Fig. 7 Test machine for Roll Cleaning by Cavitating Jet in Air

の、各洗浄回でのワークロール表面粗度を示す。これより、両者のワークロール表面粗度確保の程度は同じであるが、気中キャビテーション噴流の洗浄力は高圧水スプレーの約5倍である事が解る。

3) 第三ステップ/実操業試験

実際のCGL内に設置された調質圧延機にて、既設のブラシロール式洗浄装置を気中キャビテーション式洗浄装置に交換して、その効果を確認した。

実操業では、GIやGAの約3000ton生産を1チャンス(1 chance)として生産するが、ブラシロール式でのワークロール洗浄では、1チャンス当たりワークロールを数回交換する事で生産を続けていたが、気中キャビテーション式洗浄に替えた所、ワークロール交換は行なわず生産可能と

なった。また、強固で局所的な亜鉛巻きが生じた際は、ブラシロール式では亜鉛巻きを除去できないために、その都度ワークロールを交換していたが、気中キャビテーション式では強固で局所的な亜鉛巻きも除去でき、そのままワークロールを交換せずに操業を続ける事ができるようになった。また、この装置は稼働後3年間メンテフリーで稼働しており、ノズルの摩耗が殆ど無い事が確認されている。これは、キャビテーション発生がノズル部ではなく、ノズルを出た後流領域で発生しており、ノズル自身の壊食を引き起していない事を示す。

4) 開発試験のまとめ

第一/第二ステップにて、ワークロール表面に付着した亜鉛粉の除去に関して、

- (1) 洗浄力は高圧水噴流の約5倍である

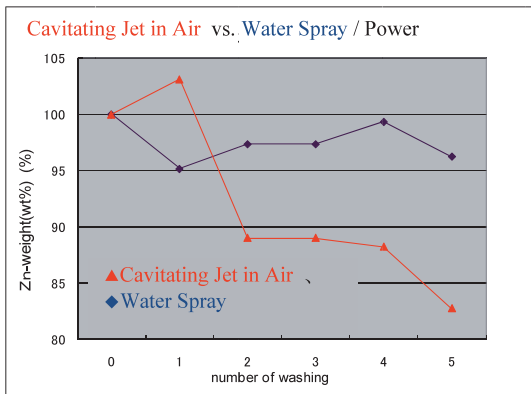


図8 亜鉛粉除去量  
Fig. 8 Removal of Zinc Amount

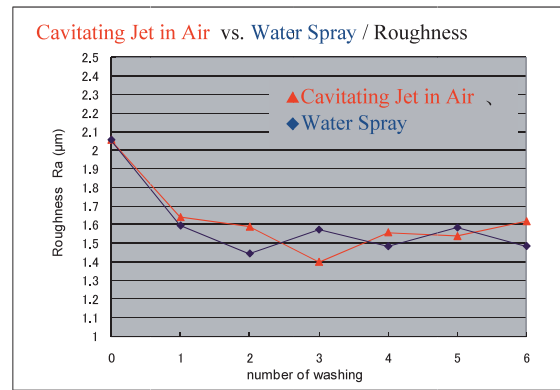


図9 表面粗度変化  
Fig. 9 Decreasing of Surface Roughness

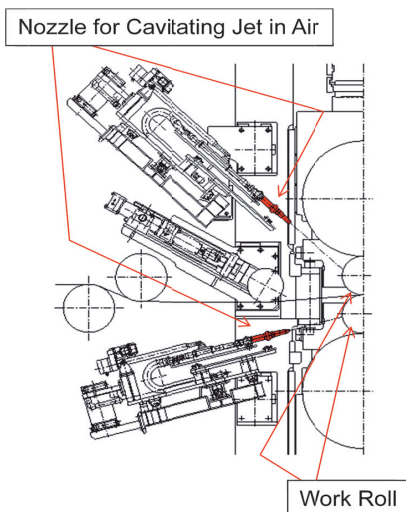


図10 調質圧延機  
Fig. 10 Skin pass Mill

Under normal operation / one chance = 3,000 ton production

- WR must be changed over **several** times.  
(Brush roll cannot clean up & keep a WR surface condition.)

↓

- One set of WR is enough for one chance production.  
("Cavitating Jet in Air")

When a local Zn adhesion on WR surface .....

- WR must be changed soon.  
(Brush roll cannot remove the adhesion.)

↓

- WR can be used continuously.  
("Cavitating Jet in Air" can remove the adhesion.)

- (2) 製品粗度を確保するためのワークロールに必要な表面粗度確保できる事を確認した。

第三ステップでは、実際の操業において、ブラシロール式から気中キャビテーション噴流式へ装置を入れ替えた事により、

- (1) ワークロール寿命の延長が可能  
 : 約3000トン/1チャンス生産にてのワークロール交換頻度数回ロール交換要 ⇒ ロール交換不要
- (2) 局所亜鉛巻きを除去が可能  
 : ブラシロール式では除去不可能であった、強固な局所的亜鉛巻きが気中キャビテーション式洗浄では除去可能となった。

### 3 結果

気中キャビテーション噴流を用いた調質圧延機ワークロール洗浄装置を、ブラシロール式および高圧水噴流式の洗浄装置と比較すると、表1の通りである。

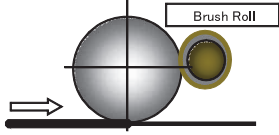
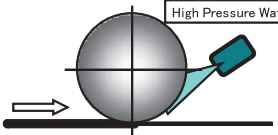
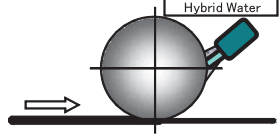
### 4 結言

調質圧延機のワークロール洗浄装置に気中キャビテーション噴流を用いた。

サンプル鉄板や実ワークロールでの洗浄テストを経て、実操業中のCGL内調質圧延機へ気中キャビテーション噴流式ワークロール洗浄装置を設置、ワークロール寿命が延び(ロール交換頻度減少)、局所的亜鉛巻きを除去できることが確認できた。

この結果を受け、現在のところ海外の新設CGLへこの新型洗浄装置一基を導入設置し、更にその他の導入引合いに対応中である。

表1 従来技術との比較  
 Table 1 Comparison with conventional methods

	Conventionally method		Advanced method
	Brush roll Scrubber	High-pressure water Spray	Cavitating Jet in Air Injection
<b>Concept</b>			 NSENGL New type
<b>Detergency</b>	Base	Good	Excellent (5 times of Water Spray)
for Zn adhesion	Local Zn adhesion ⇒ can NOT be removed	Local Zn adhesion ⇒ can NOT be removed enough	Local Zn adhesion ⇒ CAN be removed completely
<b>WR life</b> (Changing interval)	Base	Base x ≈3	Base x ≈6
Ra drop	Base	Excellent (No drop)	Excellent (No drop)
<b>Maintenance</b>	▪ Replace of Brush roll	▪ Nozzle Cleaning	▪ Nozzle Cleaning
	Every year	Every 6 months	Every 6 months (Cavitations occurs outside of nozzle so the nozzle itself will not be eroded.)
<b>Equipments</b>	base	simple	simple & compact
		High-pressure pump ; LARGE size	High-pressure pump ; SMALL size
<b>Total</b>	Base	Good	Excellent

## 5 謝辞

気中キャビテーション噴流の調質圧延機ワークロール洗浄装置への適応に当たって、当社は東北大学大学院工学研究科ナノメカニクス専攻の祖山均教授と、共同研究・開発を行った(2008年8月～2009年7月)。気中キャビテーション噴流そのものの基本技術は祖山教授の技術であり、調質圧延機ワークロール洗浄装置への適応に当たって、亜鉛粉付きサンプル鉄板での洗浄実験を、東北大学大学院の実験装置にて行った。また実操業で使われたワークロールの洗浄試験も共同で行い、有効な助言を頂いた。ここに東北大学大学院と祖山均教授に深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) H.Soyama, J. Soc. Mat. Sci., Japan, Vol. 47, No. 4, pp. 381–387, Apr. 1998
- 2) H.Soyama, J. Eng. Mater. Technol., Vol. 126, pp. 123–128, Jan. 2004
- 3) H.Soyoma, J. Fluid. Eng., Vol. 127, pp. 1095–1101, Nov. 2005