

# トルコ冷延鋼板工場におけるPL-TCM（酸洗・タンデム冷間圧延直結ライン）の建設および立上げ

入江毅<sup>\*1</sup>・佐伯一寛<sup>\*2</sup>・吉井陽之輔<sup>\*3</sup>・橋田貴雄<sup>\*4</sup>

Construction and Startup of PL-TCM for Cold Rolled Steel Products in Turkey

Tsuyoshi IRIE, Kazuhiro SAEKI, Younosuke YOSHII, Takao HASHIDA

**Synopsis :** In 2012, Toyo Kohan Co., Ltd collaborated together with Tosyali Holdings, which is a steel manufacturing company with electric furnaces in Turkey, in establishing a joint venture called Tosyali-Toyo Steel CO. INC. (referred as to TAT).

TAT determined to locate its plant in Osmaniye Province, in the middle southern part of Turkey, and planned to construct the integrated production plant to manufacture tinplate, galvanized steel, color coated steel and cold rolled steel products and the construction of the plant started in 2014.

Although the construction was behind schedule by several months, the commercial production could be started at all lines in 2017 almost as planned. The commissioning of PL-TCM, which is the continuous pickling and cold rolling line with the latest technologies, was started in March 2017. By the cooperation of many people concerned, the commercial production could be started from April 2017.

The latest technologies were introduced into PL-TCM as well as many operational know-hows accumulated in Kudamatsu plant. As a result, its production capacity could reach 1 million tons a year.

In this paper, we report on the situation of construction and commissioning, introduction of several equipment and production record of PL-TCM.

**Keywords :** PL-TCM ; Turkey ; joint ventures

## 1. 緒言

当社は2012年、トルコ共和国の鋼管製造メーカー（電炉、鋳造、熱延設備などから鋼管を製造するための一貫生産設備を保有）であるトスヤルホールディングス(株)と合弁でトスヤル・トヨー社（以下TAT社と表記する）を設立し、トルコ共和国の中南部に位置するオスマニエ県に、冷延鋼板、ならびにぶりき、溶融亜鉛めっき鋼板およびカラー鋼板といった表面処理鋼板の生産が可能な一貫生産工場の建設を決定した。2014年に工場の建設が開始され、各製造ラインの立ち上げは当初の計画よりもやや遅れたものの、2017年にはすべての設備で営業生産を開始し、トルコ国内

へぶりき、溶融亜鉛めっき鋼板、カラー鋼板および冷延鋼板の供給を開始している。Fig.1にオスマニエ工場の全景写真を示す。オスマニエ工場は総敷地面積が約25万m<sup>2</sup>で、年間85万トンの鋼板類を生産することができ、トルコ国内はもとより、鋼板類の需要増加が今後も期待される中東や北アフリカへの輸出も可能な立地条件となっている。

本プロジェクトにおいて、PL-TCMと呼ばれる酸洗・タンデム圧延直結ライン<sup>1,2)</sup>は、熱延鋼板（ホットコイル）を塩酸により酸洗処理し、酸洗ライン出側に連結されたタンデム冷間圧延機において所定の厚みに連続して仕上げるために建設され、オスマニエ工場の設備では最上流工程となっている。Fig.2にPL-TCMのTCM部の写真を示す。

PL-TCMは、当社の製造拠点である下松事業所の酸洗ラ

\*1 下松事業所 生産技術部 材料圧延技術グループ 圧延技術チーム チームリーダー

\*2 下松事業所 冷延鋼板工場 調圧課 第2調圧係 係長

\*3 下松事業所 生産技術部 材料圧延技術グループ 圧延技術チーム

\*4 下松事業所 生産技術部 材料圧延技術グループ グループリーダー



Fig.1 TAT Osmaniye plant.



Fig.2 Front view of TCM.

インおよびタンデム圧延ライン<sup>3)</sup>で蓄積された生産技術や操業ノウハウを取り入れながらも、それらとは異なる、日本国内の設備メーカーが持つ最新鋭の設備および技術が多く適用されている。また、PL-TCMの建設から営業生産開始までの期間である2014年9月から2017年4月にかけて、当社の日本人スタッフ総勢18名、設備メーカーより派遣されたスーパーバイザーおよび、現地で採用されたエンジニア、オペレーター、メンテナンススタッフなどの従業員が協力しながら、建設完了後はほぼ垂直立ち上げで営業生産を開始することができた。

本報では、PL-TCMの建設開始から試運転までの工事進捗の経緯および、PL-TCMに導入された個別設備を紹介するとともに、稼働後の生産状況について述べる。

## 2. オスマニエ工場の概要

TAT社のオスマニエ工場は、前述のようにトルコ共和国オスマニエ県の工業団地内に位置する。Fig.3に工場の各製造工程のレイアウトおよびFig.4にプロダクトフローを示す。

工場は南北約430m、東西約580mの長方形の敷地を有しており、すべての製造ラインが東西方向に配置されている。PL-TCMはオスマニエ工場のほぼ中央に位置し、工場の北

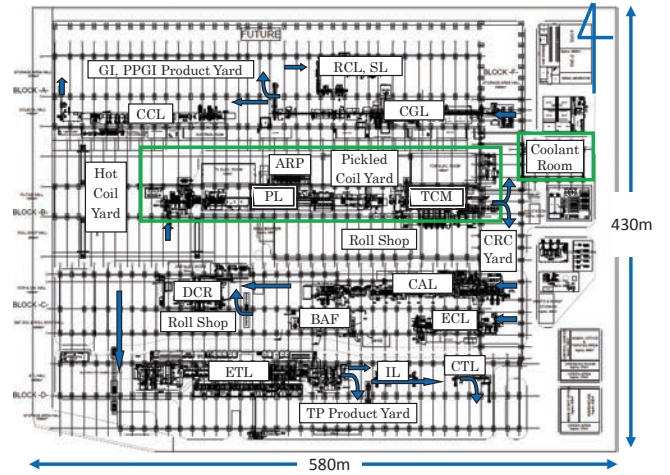


Fig.3 Plant layout.

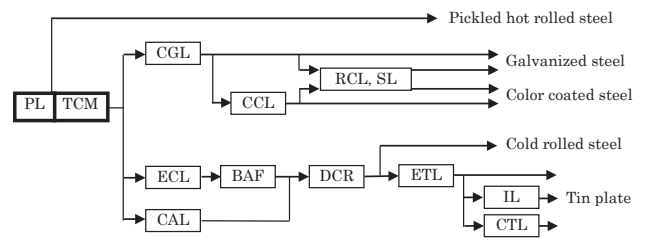


Fig.4 Product flow.

側に溶融亜鉛めっき製造を主体としたライン系列、南側はぶりき、冷延鋼板製造を主体としたライン系列が配置されている。これは25万m<sup>2</sup>という限られた工場建設スペースの中で、PL-TCMから溶融亜鉛めっきおよびカラー鋼板用冷延済コイルを北側へ搬送し、ぶりき、冷延鋼板用冷延済コイルを南側へ搬送することにより、お互いの物流を干渉しないようにするとともに、それぞれの製品倉庫まで一方通行でコイルが流れていくように考慮されたレイアウトとなっている。

またPL-TCMは、酸洗済コイルの製品化を冷延済コイルヤードで行うことによる置き場不足でラインが停止しないようにするため、コイル置き場を酸洗済コイルと冷延済コイルとで別棟とし、酸洗工程(PL)の出側にテンションリールが設置されているのが特徴である。PL-TCMの付帯設備として、圧延機に冷却を兼ねた冷間圧延油を供給するためのクーラント室が冷延済コイルヤードを挟んで東側に位置し、また、酸洗セクションで使用した廃塩酸を回収して再び塩酸化処理をするための設備であるARP (Acid Regeneration Plant) が酸洗槽の北側に隣接する。また圧延ロールを供給するためのロールショップはPL-TCMの南側、東西方向に併設されている。

## 3. PL-TCMの主仕様

PL-TCMの主仕様をTable 1に示す。PL-TCMは厚み0.16~2.0mmの冷延鋼板または1.6~4.0mmの酸洗済ホット

コイルを板幅700~1,300mmの範囲で製造する工程となっており、年間で100万トンの処理能力を有する。ここではPL-TCMと下松事業所の2CPL（酸洗ライン）、2TM（タンデム圧延ライン）との主仕様の比較を行い、詳細設備内容については次節以降で説明することとする。冷間圧延後はFig.4に示すように、電清、焼鈍、調質圧延/2次冷延、錫めっき、溶融亜鉛めっきおよび塗装工程により、各製品仕様に応じた材料特性、厚みおよび幅をもつ、表面処理鋼板製品へと仕立てられる。

PL-TCMは、機械品には日本の製鉄機械メーカーであるPTJ（Primetals Technologies Japan、以下PTJと称す）、

電機品には(株)日立製作所、レーザー溶接機は多田電機(株)、板厚計は(株)東芝など、一部の付帯設備を除き主として日本メーカーの設備が導入されており、試運転後の営業生産開始当初より高精度で安定した稼働を続けている。また下松事業所にはない、最新の設備技術も多く盛り込まれており、以下に各セクションにおける設備および技術、下松との比較などを紹介する。Table 2に、下松の酸洗、タンデム圧延設備とPL-TCMの代表設備について相違を示す。

Table 1 Main specification of PL-TCM.

Item	TAT	Kudamatsu Plant	
	PL-TCM	2CPL	2TM
Mechanical	PTJ	MHI	IHI, Hitachi
Electrical	Hitachi	TMEIC	TMEIC
Nominal capacity (t/y)	1,000,000	960,000	960,000
Entry thickness (mm)	1.6-4.0	1.2-4.5	1.6-3.5
TCM Delivery thickness (mm)	0.16-2.0	-	0.15-1.6
Strip width (mm)	700-1,300	508-1,270	508-1,270
Max. coil weight (ton)	30/30	20/36	36/36
Entry speed (mpm)	600	750	600
Pickling speed (mpm)	180	230	-
Trimmer speed (mpm)	300	350	-
TCM speed (mpm)	1,440	-	2,137

Table 2 Difference of specification of equipment between Kudamatsu and Osmaniye for PL and TCM.

Item	PL-TCM	2CPL, 2TM
Welder	LBW	FBW(2CPL)/NMW(2TM)
Pickling tank	PP, i-Box	Brick+rubber+steel, Deep bath
Acid	HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Trimmer	Turret	Single
Rolling mill	6Hi (UCM)	#1, 2: 6Hi (HCMW) #3-5: 4Hi
WR diameter	300-340mm	#1, 2: 385-425mm #3-5: 525-595mm
Application	Recirculation	Direct
Rolling oil	Synthetic ester	Palm oil+Additive
AGC	Mass flow	Conventional

## 4. 酸洗設備 (PL)

PL酸洗設備の概要図をFig.5に示す。酸洗設備は出側に単独のテンションリールを有しており、POモードとして酸洗済熱延鋼板の製品化が可能となっている。以下に、酸洗設備における代表的な設備・機器について説明する。

### 4.1 入側設備

#### 4.1.1 入側コイルコンベアー

PL-TCMの入側には、ラインの南側にある建屋外のホットコイルヤードからコイルを直接搬入するため、ウォーキングビーム式のコイルコンベアーがラインと直角に配置されている。クレーンでコンベアー上にコイルが置かれた後、ホットコイルの結束バンド除去以外のコイルハンドリングは自動シーケンスによって行われ、コイル先端のフィッシュテールは入側スキッドに設置された準備シャーにより、HMI (Human Machine interface) 画面（以下、単に「HMI」という）で設定された枚数が自動的に切り落とされる。またホットコイルの受け入れ検査やラインの運転条件設定のために、コイル質量、外径、板幅も入側コンベアー上で自動的に測定される。

The layout of PL-TCM

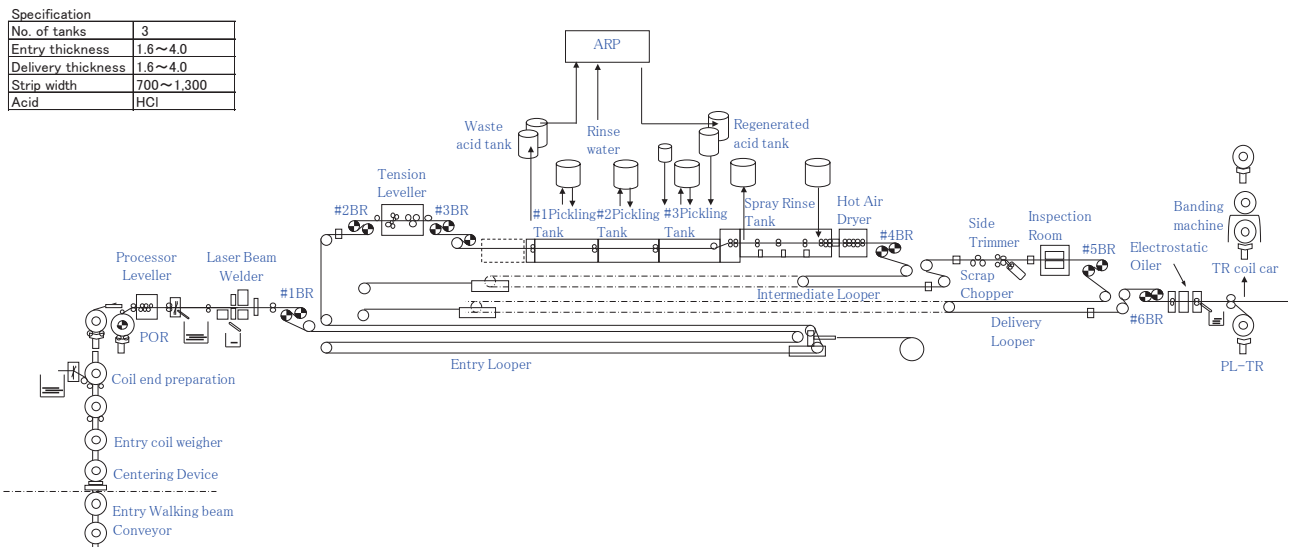


Fig.5 Layout of PL section.



#### 4.1.2 ペイオフリール

ペイオフリールには1リール式のシングルマンドレルが採用されている。コイルカーによって事前に位置合わせがなされたコイルに駆動側から操作側へリール本体がシフトすることで、リールにコイルが装着される仕組みとなっている。コイル先端の巻きほどもと先端出しはペイオフリールの上部に設置されたコイルオープナーにより自動で行われ、熱延工程の巻取り時に発生した折れジワを矯正するため、ペイオフリールから巻き戻される鋼板を押し曲げることができるプレッシャーロールが配置されている。ペイオフリールへのコイル装着、先端巻きほどもは、オペレーターがマンドレルとコイル内径の位置を確認する以外は、全て自動で行われる。

#### 4.1.3 アンコイラーレベラー

コイルの先尾端の巻きぐせ（板反り）を矯正するため、上3本、下3本のロールで構成されるアンコイラーレベラーが設置されている。インターメッシュ量は、コイル仕様によりプロセスコンピューターで自動設定される。またアンコイラーレベラーは、効果は小さいもののデスケラーとしての役割も果たすことからコイル全長にわたって使用される。

#### 4.1.4 入側シャー

先行材の尾端、後行材の先端をカットする入側シャーにはアップカットシャーを採用した。シャーカット枚数はHMIで設定可能で、準備シャー、入側シャー共に、クランプバケットは天井クレーンにより搬出入される。また入側シャー前にX線板厚計が設置されており、ホットコイルのオフゲージを検出できる。

#### 4.1.5 レーザービーム溶接機

下松事業所2CPL、2TMではフラッシュバット式の溶接機が用いられているのに対し、PL-TCMではレーザービーム溶接機（LBW）を採用した。レーザー発振器は固体ディスク方式で、従来のCO<sub>2</sub>レーザー方式と比較してレーザー波長が短く、レーザーの水等への吸収も少ない。また光ファイバーの導入でレーザー反射角の調整等も不要でメンテナンス性も良く、極低炭素鋼から高強度低合金鋼といった幅広い鋼種を扱えることに加え、圧延に耐えうる溶接強度が得られている。溶接機は鋼板の先尾端の平行度を確保するためにギロチンシャーが内蔵されており、溶接時のダウンタイムは尾端停止および先尾端処理時間を含め、最大150秒程度で、高強度鋼は溶接部を軟質化するため、誘導加熱方式のポストアニラーが用いられる。溶接機の直後には、溶接端部のはつりを行うノッチャー、溶接部のトラッキング用穴検出を行うためのパンチャーが設置されており、溶接機と連動して自動運転がなされる。

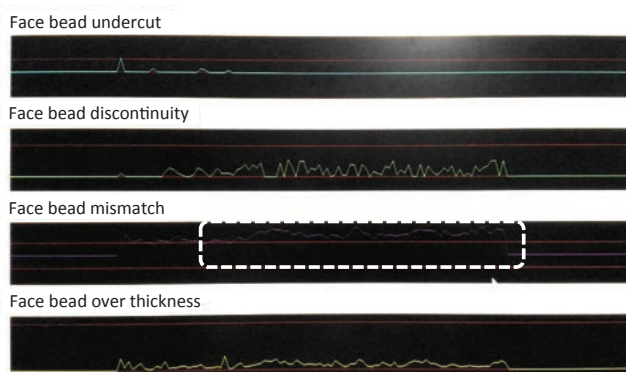


Fig.6 An example of welding monitoring system.

また溶接の良否を診断するため、溶接部の形状プロフィールやレーザー出力等を常時監視できる溶接診断装置も設置されている。Fig.6に、溶接診断画面の一例（Face bead mismatch：段違い溶接発生時の出力結果）を示す。

#### 4.1.6 板幅計

ホットコイルの板幅管理のため、溶接機出側に板幅計を設置した。板幅が管理範囲を外れた場合、オペレーターに異常を知らせることが可能となっている。またホットコイルの形状不良や蛇行等により鋼板がライン中心から大きくずれて鋼板端部が設備と接触し損傷を受ける可能性がある。そこで板幅計を用いてずれ量を検出し、ずれ量が許容値を超えた場合に自動で入側設備停止を行う機能も設置されている。

#### 4.1.7 入側ルーパー

酸洗入側には4ストランドで有効長566mの入側ルーパーが地下に設置されている。ストリップをサポートするためのスイングロール駆動はガイドウェイ方式で、ルーパーは1本のワイヤーが進行方向に2列並列で配置されている。

また酸洗槽の停止を抑制する機能として、ルーパー長がある長さよりも短くなると酸洗速度を自動減速する機能がある。

## 4.2 酸洗設備

### 4.2.1 テンションレベラー

メカニカルデスケリングと形状修正を目的として、酸タンク入側にそれぞれ1対の伸長ユニットとC反り矯正ユニットで構成されたテンションレベラーが配置されている。レベラーロールのWR径は80mmで、インターメッシュ量、伸び率は鋼板仕様に応じプロセスコンピューターから設定される。インターメッシュ量は最大30mmで、伸び率は最大2.0%となっている。デスケリング後の粉状スケールは水で洗い流される（ウェット方式）。含スケール排水は駆動側にある排水ピットに一旦貯留された後、排水設備へ送液され処理される。

#### 4.2.2 i-Box酸洗槽<sup>4)</sup>

酸洗槽には耐酸レンガやゴムライニングの劣化による酸液漏れ補修に対し、将来大がかりな補修を必要としないこと（メンテナンスフリー）や建設工程期間の短縮化などを目的として、ポリプロピレン製の酸洗槽が選定された。また酸洗方式は箱型の浸漬方式で、デスケーリング効率向上やエネルギー削減効果に優れたi-Box酸洗槽が採用されている。酸洗槽内にはデスケーリング性の向上を果たす酸液の乱流状態を発生させるためにディバイダロールが配置されており、鋼板の下面を保持するのにグラナイトスキッドが使用されている。酸洗槽は長さ20mの槽が3つ連続して配置されており、全長60mとなっている。酸洗槽の入側は、将来の生産量の増加に伴う酸洗速度向上のため、20mの槽を追加できるスペースが確保されている。またライン停止による過酸洗を防止するため、3つの酸洗槽にそれぞれストレージタンクが設置されており、ライン停止時には設定時間後、自動的に酸洗槽からストレージタンクへ送液されて鋼板が酸液から取り出され、操業開始時はストレージタンクから酸洗槽へポンプ送液される仕組みとなっている。さらにライン停止中は、酸洗槽中の水分が蒸発し、塩酸濃度が高くなっていくのを防止するため、各槽のトータル塩酸濃度が所定の濃度を維持するよう、自動的に水が補給される仕組みもある。

酸液は所定の濃度の塩酸が使用される。塩酸液はARPの回収酸タンクから3つある各酸洗槽に投入され、各槽毎に塩酸濃度が自動的に制御される。酸液は酸洗槽内で通常85°Cへ加熱される。酸洗槽内には蒸気で酸液を加熱するための熱交換器が槽の側端部に配置されており（間接加熱方式）、加熱に使用された蒸気は凝集水として回収されてリンス水に使用される。酸洗槽内の塩酸はNo.3槽からNo.1槽へ鋼板の進行方向とは逆にオーバーフローしていき、廃酸としてNo.1ストレージタンクに貯留後、ARP設備の廃酸タンクへ送液される。酸洗槽の塩酸は自動濃度制御がなされるが、濃度計の校正を目的とし、1回/シフトの頻度で手動滴定による濃度測定も行われる。過酸洗を防止するためのインヒビターはNo.2およびNo.3槽へ定量ポンプにより送液される。送液量はHMIより設定可能である。本酸洗設備は、リンス槽における鋼板の黄変を除去するために、低速で逆走する機能も設置されており、ラインの操業開始時には必ず逆洗作業が行われる。逆洗による塩酸の入側持ち出し防止のための酸切りロールと水スプレーが、No.1槽の入側に設置されている。酸洗槽の上部カバーはクレーンによる手動開閉式となっており、酸洗槽は水シール方式により完全に密閉されている。酸洗槽の出側にはステアリング機能付きの酸切りリンガーロールが2対設置されており、リンス槽への酸液の持ち込みおよび鋼板の蛇行を防止している。

#### 4.2.3 リンス槽

リンス槽は酸洗槽と同様にポリプロピレン製で約17mある1つの槽が内部で4つに仕切られた4槽構造となっており、温水タンクから60°Cの温水が最終槽の鋼板に噴射され洗浄される。最終槽で鋼板のスプレー洗浄に使用された温水は、板の進行方向と逆方向にオーバーフローしていき、第1槽から酸性廃水として回収されるカスケード構造となっている。オーバーフローの途中、各仕切り槽で鋼板へのノズル噴射による洗浄が行われ、第1から第3槽の各出口に1対、最終槽出口には3対のリンガーロールが設置され水切りが行われる。リンス槽で使用される酸性水は導電率計で管理され、使用された酸性廃水は、一部はARPの回収酸濃度調整用として使用され、残りは排水処理設備へ送られる。リンス槽の出口には水切りで残った板端部付近の水分を吹き飛ばし除去するためのエアノズルが設置されている。

#### 4.2.4 ドライヤー

リンス槽出側の鋼板は表面に水分が残存しており錆びやすくなっているため、リンス槽直後にあるドライヤーにより乾燥される。蒸気との熱交換で暖められたエアーを鋼板に吹き付けることで乾燥が行われる。使用された蒸気の凝集水はリンス水として利用される。

#### 4.2.5 中央ルーパー

酸洗槽出側には2ストランドで有効長212mの中央ルーパーが2階部分に設置されている。基本構造は入側ルーパーと同じである。

また酸洗槽の停止を抑制する機能として、ルーパー長がある長さ以上に長くなると酸洗速度を自動減速する機能がある。

### 4.3 サイドトリマー設備

#### 4.3.1 トリマーセクション

酸洗後の板幅を全長に渡り均一にするため、ターレット式のサイドトリマーおよびスクラップチョッパーが設置されている。ターレット式サイドトリマーは、駆動側および作業側にそれぞれ2つの回転式トリマーを有しており、ナイフ摩耗等によるトリマー交換はターレットを旋回することで行うことができる。ターレット旋回によるナイフの交換時間は約2分で、酸洗部を停止させずに交換することが可能となっている。トリマーのクリアランスやラップ量は下松2CPLの設定をベースとして、実際のトリム状況を見ながら合わせこみを行った。

スクラップチョッパーは、トリム屑を約180mmの長さで切断する装置のことである。スクラップチョッパーを採用した理由は、ホットコイルのトリム比率が高く、ボーラー装置ではトリム屑のハンドリングの頻度が高くなるため

ある。またスクラップチョッパーは、チョッパー刃の組替頻度を少なくするために、オシレート式となっている。

トリマーで発生したせん断ばりは、サイドトリマー出側に設置されたバーマッシャーによって押しつぶされる。バーマッシャーの出側には表面点検場が配置されており、鏡により鋼板の表裏面を点検することが可能となっている。

#### 4.3.2 出側ルーパー

トリマーセクションの出側には2ストランドで有効長287mの出側ルーパーが地上部に設置されている。基本構造は入側ルーパーと同じである。

### 4.4 出側設備

#### 4.4.1 塗油装置

酸洗済コイルの防錆を目的とし、テンションリールの前に塗油装置が設置されている。塗油装置は静電装置付きブレード式となっている。下松2CPLは同じく静電式であるが、ベルの回転で防錆油をミスト状とする所に違いがある。塗油量は片面300~2000mg/m<sup>2</sup>となっており、主として鋳物油系の防錆油が使用される。

#### 4.4.2 テンションリール

酸洗済コイル製品化を目的とし、酸洗出側に1基のテンションリールを設置した。リールを酸洗出側に設置した背景は2章に述べたとおりである。リールはシングルマンドレルでグリッパー方式となっている。またリールにはEPC機能が設置されている。テンションリールの入側にあるシャーでカットされ、巻き取られたコイルはテンションリールコイルカーにより駆動側にある出側スキッドに搬送される。出側スキッドには結束機および秤量器が設置されており、スキッド上で結束および秤量された後に酸洗済コイルヤードへと搬出される。入側と同様に、出側のコイルハンドリングも基本的に自動シーケンス化されており、シャーカット枚数はHMIで設定できる。

### 4.5 その他設備

#### 4.5.1 ブライドル・ステアリング

酸洗セクションには全部で6基のブライドルおよびステアリングが設置されており、表層には15mm厚のウレタンライニングが使用されている。トリマー前にあるNo.5ステアリングは3本ロールとなっており、No.4ステアリングと共にサイドトリマー部の幅位置制御精度向上に寄与している。CPCは電磁誘導式センサー方式となっている。

#### 4.5.2 ヒューム排気システム

ヒューム排気装置は酸洗の駆動側、電気室とARPの間に設置されており、酸洗槽およびリンス槽の酸ヒュームを吸引、水で洗浄し、規定値以下の酸濃度として系外へ排気す

るためのシステムである。排気処理能力は400m<sup>3</sup>/hとなっており、酸洗槽、リンス槽とヒュームダクトを接続する部分にはウォーターシールが使用されている。

#### 4.5.3 パルピット

酸洗セクションには、入側、トリマー、出側の3ヶ所にパルピットが配置されている。各パルピットにはライン運転のための操作盤およびHMIの他に、周辺設備を監視するためのITVモニタリングシステムが設置されている。

#### 4.5.4 操業条件設定テーブル

酸洗セクションの操業条件は、ホットコイル材質や鋼板サイズなどを検索キーとして、プロセスコンピューター内の設定テーブルによって自動で設定される。ただし酸洗槽の塩酸濃度や温度など他の条件はオペレーターがHMIで設定する仕組みとなっている。

#### 4.5.5 ARP (Acid regeneration plant)

酸洗槽ではホットコイル表層スケールの塩酸への溶解に伴い塩化鉄(主にFeCl<sub>2</sub>)が生成される。生成された塩化鉄から再び塩酸を回収し酸洗用として利用するためのARPが設置されている。ARPは7,500l/hの廃塩酸を処理することができ、天然ガス燃焼による流動床(Fluidized bed)方式となっている。酸洗セクションとARPは回収酸や廃酸を貯蔵するためのバッファータンクファームを介して接続されており、酸洗セクションのHMIからARP稼働状態およびバッファータンクの貯蔵状態を監視することも可能となっている。

## 5. タンデム圧延機 (TCM)

TCMタンデムミル設備の概要図をFig.7に示す。TCM設備は、酸洗設備と連動してPL-TCMモードとして運転される。ここではNo.7ブライドル装置以降の設備をTCM設備とし、以下、代表的な設備・機器について説明する。

### 5.1 入側設備

TCMの入側には以下の設備が設置されており、設備名とそれぞれの役割を示す。

No.7ブライドルはミル入側の張力を付与するための装置で、酸洗セクションのブライドルと同じ構造となっている。No.7ステアリングはミル入側の鋼板をライン中心に制御する装置で、高い制御精度を有する。ミル入側シャーは定期整備等でミル内の板を除去する際に用いられる。3ロールブライドルはミル直近で鋼板の蛇行を機械的に抑制する装置である。



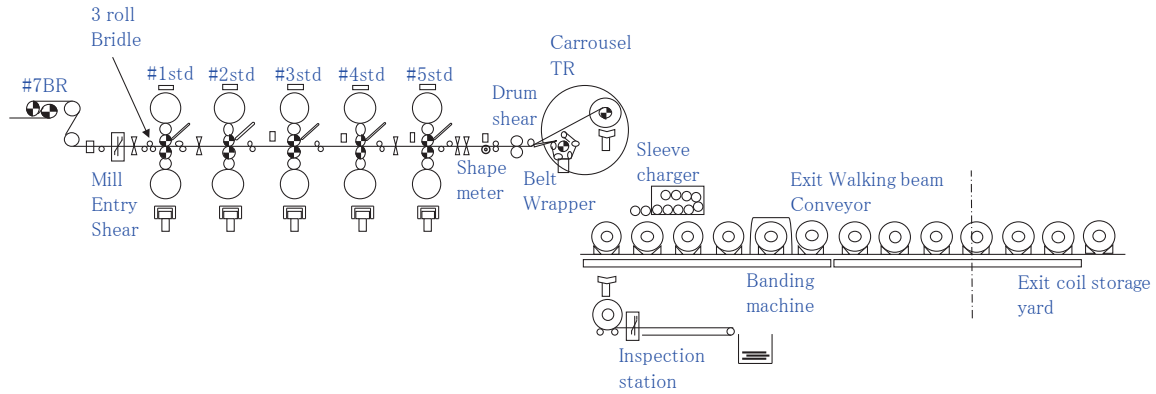


Fig.7 Layout of TCM.

## 5.2 TCMミル型式

TCMの主仕様をTable 3に示す。TCMは5スタンドの圧延機で構成されており、個々のスタンドにはUCM (Universal Crown control Mill) と呼ばれる6段式の圧延機が適用され、全スタンド同じ仕様となっている。ワークロール径は圧延荷重低減による0.2mm未満の圧延容易化、ロール費の削減を目的として、300~340mmの小径ワークロール (WR) が選定されている。

各スタンド油圧圧下システムは高応答性、高保守性を有するHYROP-Fが採用されており、パスライン調整装置として6段の段付きタイプおよびウェッジタイプの2種類のロッカープレートが使用されている。各スタンドの出側にはコブルガードが設置されており、鋼板TOP面の水切りを行うが、#1~#4スタンドでは水切りガード、最終スタンドの#5スタンドではエアによる水切りが行われる。各スタンド間および入・出側には張力測定や水切り、パスライン確保のため、Crめっきが施されたテンションメーターロール、ダミングロールが配置されている他に、#1スタンドの入・出側および#5スタンドの入・出側にX-Ray板厚計、#2~#5スタンドの出側にレーザードップラー式板速計が自動板厚制御用として設置されている。#5スタンド出側には形状制御用として接触ロール式の形状計が設置され、自動形状制御を行うことができる。自動板厚制御および自動形状制御については5.5および5.6節で詳述する。ロール組替装置はワークロールと中間ロールを同時に組替可能なロール台車が全スタンドに設置されており、板

有組替が可能で、組替時間は1スタンドあたり約5分となっている。バックアップロール組替は油圧スレッド方式である。

## 5.3 主機モーター

圧延機駆動システムの仕様をTable 4に示す。#1~3スタンドは減速ギア、#4スタンドは等速ギア、#5スタンドは増速ギアとなっており、ACモーターで駆動され、駆動方式はメカタイのシングル駆動である。

## 5.4 クーラント設備

圧延潤滑方式はダイレクト方式とリサーキュレーション方式の2方式に大別されるが、本PL-TCMにおいては生産量やエネルギーコスト、圧延油の調達容易性の観点から、リサーキュレーション方式を採用している。

クーラントは、圧延油タンクから供給される圧延油と温水タンクから供給される温水がクリーンタンクで混合され、圧延条件に応じ所定の濃度および温度に調整される。クリーンタンクは蒸気の間接加熱により50°C程度に保温されている。リサーキュレーション用の圧延油は一般的に合成エステルが使用され、温水で希釈される。本クーラントシステムは3つのクリーンタンクを有し、圧延される材料仕様毎に5つの濃度モードを使い分けることができる。各モードの切替に必要な、配管内に残った圧延油の新油での押し出しおよびリターンタンクの残油のクリーンタンクへの戻しはすべて自動で行われ、モード切替は15分程度で完

Table 3 Mill specification.

Item	#1-5 stand
WR dia. / Barrel length (mm)	300-340 / 1,430
IMR dia. / Barrel length (mm)	440-490 / 1,485
BUR dia. / Barrel length (mm)	1,150-1,300 / 1,430
Max. rolling force (kN)	22,000
IMR shift stroke (mm)	355
WR bending force (kN/c)	+255/-140
IMR bending force (kN/c)	+545

Table 4 Specification of main motor.

Stand	Type	Power (kW)	Base/Top speed (rpm)	Gear ratio
#1	AC	3300×1	500/1000	1 : 2.45
#2	AC	4400×1	550/1200	1 : 1.97
#3	AC	4400×1	550/1200	1 : 1.38
#4	AC	4400×1	550/1200	1 : 1
#5	AC	4400×1	550/1200	1.30 : 1
TR	AC	1800×2	220/1122	1.442 : 1

了する。

クーラントを長期に渡り循環使用するためには圧延油の性能維持が必要不可欠である。性能維持のための設備として、クリーンタンク内にスキミング装置、マグネットセパレーターが設置されておりそれぞれ間欠運転され、使用されたクーラントがクリーンタンクへ戻される前の配管にバキューマティックフィルター（ろ紙吸引式フィルター）が設置されている。

クーラントは潤滑用として各スタンドの入側から鋼板の上下面に噴射され、ロール冷却用として#1から#4スタンドにおいては入/出側から、#5スタンドにおいては入側からロールに向けて噴射される。潤滑および冷却に使用されたクーラントはミル直下のオイルパンを介して地下室にあるリターンタンク（クリーンタンクと同様に3タンクある）に回収され、フィルターでろ過された後、再びクリーンタンクへ循環回収される。ミル内には堆積した圧延油や鉄片およびそれらの混合物であるスカムを洗い落とすための洗浄装置も備え付けられている。

### 5.5 自動板厚制御（AGC）

TCMの自動板厚制御には大きく分けてフィードフォワードおよびフィードバック制御を使用した一般的なAGC（コンベンショナル）と板速計を使用したマスフローAGCの2モードがある。通常は板厚制御精度の高いマスフローAGCが使用されている。その他の板厚制御として、#1スタンドの油圧圧下位置を変更して板厚制御を行うBISRA AGC、ロールギャップを一定に保つロール偏芯制御（REC）などがあり、スタンド間の張力を制御するための方法としてTLC（Tension Limit Control）が適用される。これらの自動制御機能により高精度な板厚制御が行われる。板厚精度実績は7章で述べることにする。

また、板速計は先進率を使用したWRの摩耗管理にも役立っており、先進率を元に、オペレーターはワークロールの組替タイミングを判断することができる。

### 5.6 自動形状制御（ASC）

最終スタンド出側に接触式形状計を配置し、#5スタンドUCMの制御アクチュエーターを用いた自動形状制御を実施している。制御アクチュエーターには、WRベンダー（インクリーズ／ディクリーズ）、IMRベンダー（インクリーズ）、レベルおよびWRスポットクーラントが用いられる。形状制御精度の実績は7章で述べる。

### 5.7 設定計算機能

設定計算は、正確な圧延荷重予測に基づく板厚、形状および走間板厚変更の安定化を目的とし、ホットコイルの降伏応力などの材質情報やワークロール径などといった設備情報などの様々な情報を元に計算される。各スタンドの圧

下率配分は、圧延荷重が各スタンドで均一な配分となるよう、圧延荷重配分方式が適用されている。

具体的な設定計算の方法は以下のとおりである。材料の変形抵抗と摩擦係数の各モデル式に使用する係数を予め実圧延荷重と実張力から求め、プロセスコンピューターの設定テーブルに登録しておく。この係数を用いて実生産における予測圧延荷重が計算され、均一な圧延荷重配分となる圧下率を収束計算により求めて各スタンドのロール間隙とロール周速比の設定が行われる。さらに、圧延荷重の予測精度を上げるため、現在圧延しているコイルの圧延実績値を基に学習計算が行われ、計算結果は次材の圧延荷重の計算に反映される。

### 5.8 TCM出側設備

TCMの出側には以下に示す設備が備えられている。ライン内の設備は連続操業のため全て自動化されており、オフラインの表面点検装置にも一部ではあるが自動機能が備えられている。

#### 5.8.1 ドラムシャー

走間でのシャーカットを可能とするため、出側にはドラムシャーが設置されている。走間シャーカット速度は最大で300mpmとなっている。

#### 5.8.2 カローゼルリール

テンションリールは下松2TMと同じくカローゼル式となっている。カローゼルリールに関する詳細説明は割愛する。リールへ自動で巻付けるためのベルトラッパーが圧延機側のリールに設置されている。

#### 5.8.3 スリーブ挿入装置

スリーブ挿入についても、スリーブの回収およびスリーブバケットの取り外し以外は自動で行われる。スリーブは板厚が0.4mm未満の場合に使用され、板幅に応じて2種類の幅が使い分けられる。

#### 5.8.4 インスペクションリール

コイルを巻きほどいて表面点検を行うためのインスペクションリールが設置されている。下面の点検場には巻きほどく際の弛みを防止するためにコンペアーが設置されており、さらに外巻き不良部などを除去するためのアップカットシャーも設置されている。表面点検コイルはHMIで事前に指定することができ、指定された点検コイルはコイルカーのコイル受け取りからインスペクションリールとコイル内径の高さ合わせまで自動で行われる。表面点検員がコイル内径高さを目視確認後、リールへの挿入がなされる。





Fig.8 Appearance of cold rolled coil at delivery walking beam conveyor.

### 5. 8. 5 出側コイルコンベアー

出側コイルコンベアーはPL-TCM棟から冷延コイルヤードの建屋間を横断しており、合計12コイルを置くことができるウォーキングビーム式となっている。ウォーキングビームは2段式で、TCM側の6コイル分を前詰め可能な構造となっている。ウォーキングビーム上のスキッドで秤量、結束およびコイル印字がなされ、冷延済コイルとして次工程へと送られる。Fig.8に、TCMで圧延されたコイル写真を示す。

### 5. 9 地下室設備

TCMの地下室には下記に示す設備が設置されている。下松2TMと構造や機能が大きく異なるのはクーラント設備のリターンタンクのみであるため、ここでは設備名称のみを記載する。

- ・ミル油圧システム（高圧、低圧）、補助油圧システム（酸洗出側設備も含む）
- ・クーラントシステム（バルブスタンド、リターンタンクなど）
- ・BURベアリング潤滑システム
- ・地下室換気システム、防火スプリンクラーなど

### 5. 10 その他

#### 5.10.1 ヒューム排気システム

ヒューム排気装置は、TCMの駆動側で冷延コイルヤード内に設置されている。圧延機の駆動側および出側リール付近から吸引されたヒュームは地下のコンクリートダクトを通じ、エリミネーターへ送られる。エリミネーター内はヒュームを補足するためのバスケット型のろ布が配置されており、捕捉されたヒュームは蒸気により洗い落とされる。ヒュームが除去された空気は2台のヒュームファンにより建屋外へ排気される。

Table 5 Construction schedule.

Calendar	2014		2015				2016				2017		
Month	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7
Construction, election stage	Basic design												Plan
	Detail design												Act
	Manufacturing, Assembling, Test (PTJ)						Training in Kudamatsu			Training at site			
	Manufacturing, Assembling, Test (T&T)						Shipment						
	Excavation, Foundation, Building, Crane						Election						
Commissioning stage													No Load Test, Cold run
													Hot run, Fine tuning
													FAT (Unexecuted)

### 5. 10. 2 パルピット

TCMパルピットは2F構造でカラーゼリールのほぼ正面に設置されている。酸洗セクションと同じく、少人数作業で人の目が行き届きにくい地下室やクーラント室、圧延機の駆動モーター側などをITVで監視できるようになっている。

## 6. PL-TCMの建設および試運転

### 6. 1 建設スケジュール

PL-TCMの建設工程計画および、設備の据付工程以降における推進・実行状況をTable 5に示す。2014年9月の契約完了後、設備の基本設計、詳細設計および機器の製作が予定通り開始された。

建設工事は、岩盤の硬さから掘削や整地が思うように進まず、設備の据え付けまでに大幅な時間を費やしたことや、ロールショップ含む工場の全12ラインおよびユーティリティなどの付帯設備工事をほぼ同時並行で進めなければならない、手直し工事やクレーン待ちなど、多くの工期遅れ要因もあったが、ポリプロピレン製酸洗槽の適用による酸洗セクションの据え付け工期の短縮や設備メーカーとの工程の調整などにより、据え付けが完了した機器から無負荷試験を行うことで試運転から営業生産までの期間を短縮し、最終的に3ヶ月まで遅れを取り戻すことができた。建設状況の写真をFig.9～11に示す。設備の建設中、2015年12月から2016年3月にかけて、現地で採用された総勢40名のエンジニアおよびフォアマン（作業長クラス）を下松事業所に派遣し、各製造ライン別、生産管理や品質部門毎に2週間程度の事前教育を行い、試運転開始までの工事期間中は現地に派遣された下松の製造ラインの職長を中心に、技術、設備スタッフおよび設備メーカーと共に実地設備の操業指導（コールドラン開始までは実設備の操作訓練はできないため、運転方案の説明、操作盤およびHMIと呼ばれる操作画面の操作の仕方、操業条件の説明や設備管理の方法を中心に指導）を行ったことにより、2017年4月には現



Fig.9 PL entry section.



Fig.10 Pickling tank.



Fig.11 Mill housing.

地オペレーター単独で営業生産を開始することができた。次節では主に設備据え付け後の無負荷試験、コールドラン、ホットランについて個別に説明する。

## 6.2 試運転

### 6.2.1 無負荷試験

PL-TCM設備における単独機器の無負荷試験は、2016年10月より開始された。Table 5に示すように、設備の据付工事と無負荷試験の期間が数ヶ月間重複しているが、これは酸洗セクションの設備は先行して据え付け工事が完了していたため、酸洗出側設備、TCM側設備の据え付け工事と並行して酸洗セクションの無負荷試験を酸洗セクションの入側から開始したことによるものである。当初の計画ではPL-TCM全体の据付工事完了後にコールドランおよびホットランを続けて行う試験計画であったが、少しでも計

画の遅れを取り戻すための処置である。以上のような工程計画の調整により、酸洗側の無負荷試験を2017年1月に完了することができ、TCM側設備の無負荷試験は2017年1月から3月中旬にかけて行われた。

### 6.2.2 コールドラン

PL-TCMのコールドランは、酸洗槽に温水を張った状態で、他工場ですべてに酸洗されたコイルを用いて行う総合運転試験である。酸洗セクションは2017年1月に無負荷試験が完了したため、1月中に酸洗設備のコールドランを行い、1月末には塩酸を使用した酸洗済鋼板を製造するためのホットランを行った。これにより2月下旬から酸洗単独モードの運転が可能となった。

その後、TCM側設備の無負荷試験も完了し、PL-TCM全体としてのコールドランを2017年3月に開始することができ、PL-TCMの全体モードの操業が可能となった。

### 6.2.3 ホットラン

酸洗槽に塩酸を使用したPL-TCMのホットランを2017年3月下旬に開始した。開始当初は設備の調整不良等によるライン停止を懸念してコールドラン用酸洗済コイルを使用しホットランを行ったが、2月にホットコイルの酸洗単独モード運転を経験していたことから、酸洗済コイルを使用した圧延試験の直後に、黒皮付きホットコイルを用いたホットランも開始することができた。

またホットランでは製造条件の微調整および現地オペレーターの操業スキルの向上を行いながら、下工程の試運転で使用するための冷延コイルの製造を進めた。

酸洗および冷延におけるファーストコイルはそれぞれ2017年2月13日および3月20日となっている。

## 6.3 営業運転

2017年3月下旬より、下工程の試運転で使用される冷延済コイルの製造を、製造条件の微調整を行いながら進めた。その結果、2017年4月中に営業生産を開始することができた。ホットランから営業生産開始当初にかけて、自動設定機能の調整不足やオペレーターのスキル不足により切断が多発したものの、タンデム圧延機を中心に操業条件の調整、オペレーターのスキルアップが進むにつれ切断事故も徐々に低下させることができた。

## 7. 生産および品質状況

前章までに示したように、2017年1月から3月にかけて行われた試運転の直後より、下工程の試運転用コイル生産および営業生産を開始し、ほぼ垂直的にPL-TCMを立ち上げることができた。6月以降は下工程の立上進捗状況によるものの、当初計画量の70%以上の通板量を達成し、立ち

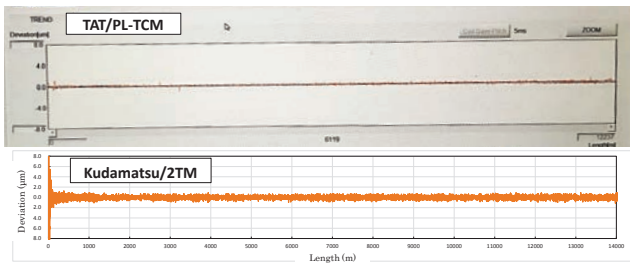


Fig.12 Thickness accuracy.

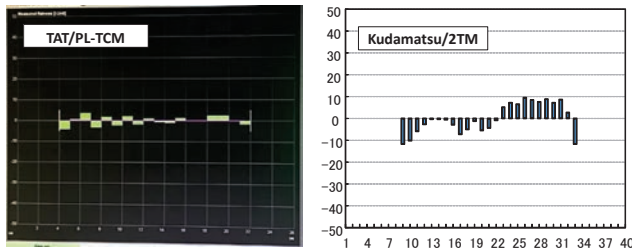


Fig.13 Shape accuracy.

上がりから6ヶ月後の10月にはフル操業に近い生産量を達成することができた。しかし、生産性や品質上の課題は多く残されている。現在も生産性および品質向上に向けた取り組みが続けられている。

生産性向上と並行し、PL-TCMの品質パラメーターである板厚精度、板形状精度についても評価を行ったので以下に示す。

### 7.1 板厚精度

仕上げ板厚0.17mmにおける全長の板厚チャートをFig.12に示す。比較として、下松2TMのチャートも示している。メーカーの保証範囲である $\pm 1.0\%$ 以内はもちろんのこと、コイル全長に渡り $\pm 0.5\%$ 以内に板厚制御可能であることが分かる。しかし、コイル先端部はホットコイル特性のばらつきによってオフゲージが発生することがあるため、ホットコイル長手方向の特性の安定化も必要である。

### 7.2 形状精度

板形状出力をFig.13に示す。メーカー保証範囲である10l-unit以内となっていることが分かる。

## 8. 結言

当社とTosyali Holdingsの合併によって設立されたTAT社において、冷延鋼板、ならびにぶりき、溶融亜鉛めっきおよびカラー鋼板といった表面処理鋼板まで生産可能な一貫生産工場の建設プロジェクトが2014年から進められ、2017年8月に全ラインの営業生産を開始することができた。

PL-TCMについては設備納入メーカーであるPTJ、(株)日立製作所の協力を得て、2017年4月の営業生産を開始し、数ヶ月後には当初計画量の70%以上の通板を行うことができた。本報ではPL-TCMの主要設備および技術の説明、建設開始から営業生産に至るまでの過程について述べたが、設備および技術に関して、マザー工場である下松の2CPL、2TM設備との違いを中心に説明を加えた。今後もPL-TCMの品質および生産性向上活動を継続するとともに、下松事業所においてもマザー工場としての設備の再構築を進める必要がある。

最後にPL-TCMの建設、早期立上げから安定稼働に至るまでの期間において、下松事業所冷延鋼板工場の皆様、生産技術部の皆様には下松事業所での操業指導訓練ならびに現地操業調整などで大変お世話になり、早期のライン立ち上げを果たすことができました。また本設備の建設および操業にあたり多大なご尽力をいただいた(株)プライメタルズ・テクノロジーズ・ジャパン、(株)日立製作所をはじめ、関係者各位に、この場を借りて心より感謝申し上げます。

### 引用文献

- 1) 小松富夫, 菅沼七三雄, 江藤孝治, 内藤肅, 土井克彦, 広畑和宏: 川崎製鉄技報, 18 (1986), 243.
- 2) 吉本健一, 中島正明, 原口一成: 日立評論, 70 (1988), 631.
- 3) 西村邦雄, 古賀守, 福山敏, 井原信之, 奥村英典, 野村政功: 東洋鋼板, 31 (1998), 15.
- 4) 辻孝誠, 中司龍輔, 末盛秀昭, 丹原正雄, 水田桂司, 松田直彦: 三菱重工技報, 53-4 (2016), 51.