

技術報告

新レーザー溶接技術の導入（新コイルビルドアップライン設置）

Introduction of New Type Laser Welding Technology (Installation of New Coil Build-up Line)

小原 紳一*
Shinichi OBARA兵頭 健司
Kenji HYOHDOH富田 茂
Shigeru TOMITA高藤 雄介
Yuusuke TAKAFUJI山崎 賢之
Takayuki YAMASAKI

抄 録

日鉄ステンレス(株)山口製造所光エリアの薄板工場は、2基のバッチ式リバースミルと老朽化した3基のミル付帯工程のコイルビルドアップライン(CB)により、ステンレス鋼板の製造を行っている。レイアウト効率化や新型レーザー溶接技術導入等により、従来比2倍以上の大幅な生産性向上を達成し、老朽化した従来の3基のCBラインを廃止し、高能率新コイルビルドアップライン(LCB)1基に集約した。大単重仕様のLCB設置により、大単重製造化によるリバースミル等のバッチラインの生産性向上、製品歩留向上、LCBの前工程との生産連動化による納期競争力強化等の薄板製造一貫の体質強化を実現した。

Abstract

The cold rolling mill at the Hikari Area Yamaguchi Works, Nippon Steel Stainless Steel Corporation manufactures stainless steel by using two batch-type reversing mills and three aging CB (coil build-up) lines. Making the equipment layout more efficient and introducing laser welding technology made it possible to more than double the productivity of CB. We abandoned the existing three CB lines and integrated them into one LCB (Light new coil build-up) line. With a capacity of large coil unit weight, LCB also increased the productivity of a batch line and boosted the production yield. By interlocking the previous process of LCB, the process time has been shortened and it led to enhance the competitiveness in delivery date management. Accordingly, the new LCB line has enhanced the consistent manufacturing ability.

1. 緒 言

日鉄ステンレス(株)山口製造所光エリアの薄板工場は、2基のバッチ式リバースミルにより、ステンレス鋼薄板の製造を行っている。

リバースミルは、入側リールに挿入したコイルの先端を出側リールに巻き付けた後に張力を付与し圧延を行うため、リールからミルまで長さのオフゲージが発生する。このため、ミル付帯工程のコイルビルドアップライン(Coil build-up: CB)をミル通板前に通板し、コイルの先端及び後端に、上記オフゲージ長さ相当のダミー材を溶接することで、ミルのオフゲージを抑制している。

表1は、CBラインの主な設備仕様で、1960~1970年稼働の1CB、2CBラインはコイル単重が14.5トン以下であるため、コイル単重27トンの圧延が可能な2基のリバースミルの生産性低下の要因になっていた。

そこで1989年に、コイル単重13トン以下の2コイルを溶接し、ダブルコイル化(13トン×2コイル=26トン)しコイル単重アップを行うダブルコイルライン(Double coil line: WCL)を設置し、ミルの生産性向上を図ってきたが、

表1 CBラインの主な設備仕様
Spec of main equipments in CB line

Item		1CB	2CB	WCL
Operation start		Jan-1964	Apr-1970	Aug-1989
Strip spec	Thickness	Max 6.0 mm	Max 6.0 mm	Max 6.0 mm
	Width	Max 1320 mm	Max 1320 mm	Max 1600 mm
	Weight	Max 13.5 t	Max 14.5 t	Max 27 t
Line spec	Welder	Plasma	TIG, MIG SAW	SAW
	Trimmer	With	With	Without
	Line speed	Max 49 mpm	Max 65 mpm	Max 130 mpm

TIG: Tungsten Inert Gas welding MIG: Metal Inert Gas welding
SAW: Submerged Arc Welding

* 日鉄ステンレス(株) 製造本部 山口製造所 光エリア 薄板工場 薄板技術室 上席主幹 山口県光市大字島田3434 〒743-8550

依然として、1CB及び2CB通板材は、リバースミルの生産性低下の要因となっていた。

又、1CB及びWCLは、主幹制御装置・駆動系の電気品寿命のため、大規模な電気品更新が必要な状況であった。

このようにCBラインは、小ロット・多品種を効率よく生産できるリバースミルの特徴を生かすための重要なミル付帯工程であるため、上記2ラインの電気品更新のタイミングで、老朽化した3ラインのCBラインを廃止し、大単重仕様の高能率LCB (Light new coil build-up) ライン1基に集約、新設し、CB工程、リバースミルを含めた製造一貫工程の生産性向上及び付帯物流の効率化を図った。

LCBは、旧設備の機械設備を一部流用・改造しつつ、レイアウト効率化、新型レーザー（ディスクレーザー）溶接技術導入等により大幅なCBラインの生産性向上を図るとともにスケジュールフリー通板が可能になることから前工程との生産連動化（前工程の生産スケジュールに合わせてLCBの生産実施）により薄板製品の一貫納期競争力強化を図った。

本報では、LCBラインの機能及び改善効果について述べる。

2. LCB設計の方針（LCBの特徴）

ライン1基に集約するため、高能率LCB設計において、以下の観点より取り組んだ。

- 1) 設備基本仕様最適化及び設備レイアウト効率化
 - ・ダブルコイルが可能な大単重ライン化
 - ・高速通板化（既設WCL通板速度同等以上）
 - ・コイル通板と並行してダミー材段取りが可能な設備レイアウト効率化により、ダミー材段取り時間短縮及びスケジュールフリー化
- 2) レーザー溶接技術導入による高機能溶接化
 - ・高速溶接、溶接自動化による溶接能率向上及び溶接品質安定化
 - ・多鋼種のスケジュールフリー溶接化
 - ・コイルとダミー材の異厚溶接範囲拡大によるダミー材薄手化（ダミー材コスト削減）
- 3) 世界初のディスクレーザー溶接機導入による設備メン

テナンスフリー化

- ・設備安定稼働化及び溶接品質安定化

3. 設備仕様及び設備概要

3.1 設備仕様

LCBの主仕様を表2に示す。ダブルコイル化が可能な単重仕様最大27トン、LCBダミー材溶接最小板厚は、冷間圧延厚1mmに圧延後、品質不合格になった材料を0.6mm以下の薄物へ救済圧延する際に、救済圧延におけるオフゲージが抑制できるように1mmとした。

溶接機は世界初の新型ディスクレーザー溶接機（容量6.6kW、CO₂レーザー8kWと同等の溶接性能）を適用した。

ライン速度及び張力は既存設備の設備仕様相当とし、トリマーは2CBトリマー流用など、3ラインの流用可能な設備を有効活用し安価化を図った。

3.2 設備レイアウト効率化

LCBのダミー材溶接作業は、①ライン内にコイル先端用ダミー材を通板、②ホットコイル通板、③コイル先端のダミー材溶接、④TRに巻き付け・ライン運転・コイル後端尻抜け、⑤コイル後端用ダミー材を通板、⑥コイル後端のダミー材溶接、⑦TRに巻き取り・払い出しの作業フローで行われる。上記フローの通り、1コイル処理するために、コイル・ダミー材2式の段取り及び2回の溶接を行うので、コイル・ダミー材の段取り時間短縮と溶接時間短縮が重要な要素である。

図1にLCBの設備レイアウトを示す。主な構成は、ペ

表2 LCB設備主仕様
Spec of main equipments in LCB

Item	Spec	
Strip spec	Thickness	1.0-6.0 mm
	Width	635-1600 mm
	Weight	Max 27 t
Line spec	Welder	Disk laser Max power: 6.6 kW, max speed: 10 mpm
	Line speed	Max 140 mpm
	Tension	Max 15 t
	Trimmer	Thickness: 2.0-6.0 mm

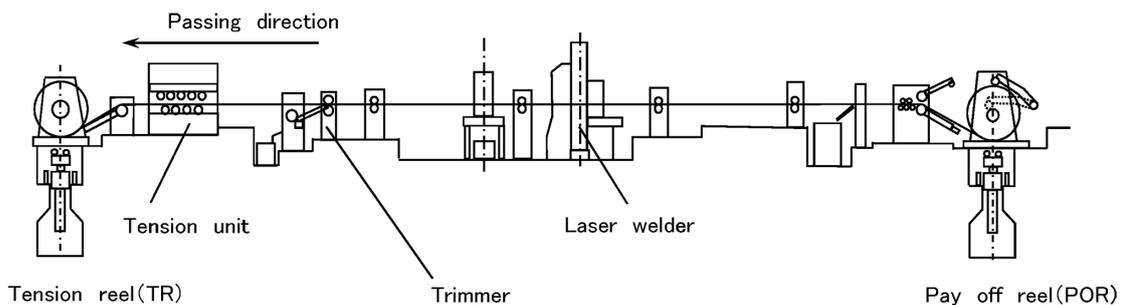


図1 LCBの設備レイアウト
Layout of LCB

イオフリール (POR), レーザー溶接機, トリマー, テンションユニット, テンションリール (TR) である。

ダミー材供給は, 上記ライン内の通板作業と並行してダミー材の段取りが可能とした。

段取りの効率化とレーザー溶接機機能を合わせて LCB スケジュールフリー通板化を可能にした。

これらのコイル, ダミー材の段取り作業は自動運転にて並行作業が安定してできるようにしている。

TR 入側のテンションユニットは, 上側 5 本, 下側 4 本のロールでコイルに曲げ変形を加え, TR 巻き取りの際の張力を付与する装置で, POR よりコイル後端が尻抜け後の巻き取り張力を確保することで, 次工程のリバースミルの張力差による巻き締め疵を防止した。

3.3 レーザー溶接技術導入による高機能溶接化

図 2 に, 2CB・WCL で適用していた MIG 溶接機, SAW 溶接機と LCB に適用したレーザー溶接機の溶接フローを示す。

2CB ラインの溶接作業は, MIG 溶接機のローラーシャーで, コイル及びダミー材先端を同時に切断し, 切断面を突き合わせた後に MIG 溶接の自動運転を行う。溶接開始タイミングで遮光保護面をつけて溶接状況を目視観察し, 溶接電流等の調整を行うことで一定の溶接品質を確保していた。

MIG 溶接機の溶接部は, 凸形状となるため, 溶接機出側約 4m の位置にあるビード研削装置でビード形状を確認しながら手動でビード研削することで溶接部の平滑化を行い, フェライト系ステンレス鋼においては, 更に 3m 出側のガスバーナーで焼鈍することで溶接品質を確保していた。

このように対策前の溶接作業は, 溶接機, ビード研削装置, ガスバーナー装置まで手動で溶接部をその都度搬送し, 溶接, ビード研削, 焼鈍作業もほぼ手動にて行っていた

item	before	after
welding method	MIG, SAW	Laser
flow of welding	butting (manual) welding (auto) grinding (manual) annealing (manual)	butting (auto) welding (smoothing, annealing) (auto)
butting position (thickness direction)	coil dummy strip bottom	coil dummy strip center

図 2 レーザー溶接機設置効果
Installation effect of laser welder

め作業能率が低く, 溶接品質を保つためには, 高いオペレータースキルが必要な状況であった。

図 3 に, レーザー溶接機略図を示す。レーザー溶接機は高剛性の昇降式シャーにより, コイル及びダミー材先端を同時に高精度で切断し, 切断面の突き合わせを自動で行う。

その後, 板幅方向に溶接機が走行しながら, ①前方圧下ロールで突き合わせ部の平滑化, ②レーザー光照射による溶接 (必要に応じて, 溶接部品質向上のためフィラーワイヤー挿入), ③後方圧下ロールで溶接部の平滑化, ④誘導加熱装置で焼鈍 (フェライト系ステンレス鋼他) までの溶接及び付帯作業を 1 サイクルの自動運転にて高能率で行う。

溶接速度, フィラーワイヤー挿入速度等の溶接条件は, 材料諸元 (突き合わせる材料の鋼種, 板厚の組み合わせ) から最適なプリセット条件にて自動で設定される。

エネルギー密度の高いレーザー溶接機は, 高速溶接ができ, この高速溶接中に並行して溶接後の表面凹凸平滑化, 焼鈍等の溶接付帯作業を行うことができるので, 図 2 に示す従来の溶接方式に比べ, 大幅な能率向上が図れる。

又, 多鋼種を溶接条件変更 (フィラーワイヤー挿入速度, 焼鈍条件等の溶接条件変更) により自動溶接が可能であるためスケジュールフリー通板化及びオペレータースキルフリー化も図れる。

図 4 にプラズマ溶接とレーザー溶接の溶接部断面略図を示す。高エネルギー密度で溶接するレーザー溶接機は, 溶融部 (DEPO) 及び熱影響部 (HAZ) の幅が, 従来の溶接方式に比べ非常に狭く溶接品質が高い。

更に, レーザー溶接機は, 突き合わせる材料の板厚センターが一致するように調整して溶接を行うため, 従来の溶接機の板厚下面合わせ溶接に比べ, リバースミルのデフォルムでの溶接部の曲げ強度向上も図れる (図 2 参照)。

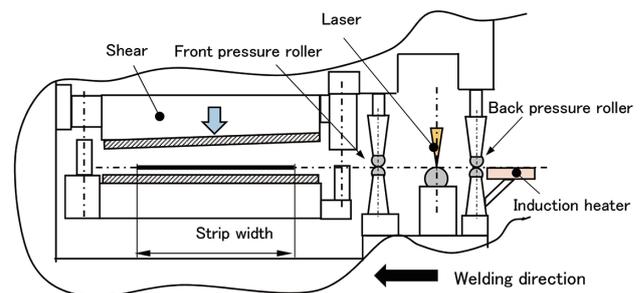


図 3 レーザー溶接機略図
Diagram of laser welder (welding unit)

Welder	Plasma	Laser
Cross-section		

図 4 プラズマ溶接とレーザー溶接の溶接部断面略図
Cross-section diagram of plasma welder and laser welder



写真1 LCB 全景
Overall view of LCB

この高い溶接品質を有効活用し、異厚溶接範囲拡大（コイルとダミー材の板厚差拡大）及び異幅溶接範囲拡大（1240mm 幅のコイルに1020mm 幅のダミー材を適用等）を行い、ダミー材コスト削減を行った。

以上、設備概要を述べたLCBの全景を写真1に示す。

4. ディスクレーザー溶接機導入によるメンテナンスフリー化

薄板の溶接用レーザーは、8~16kW 相当の高出力が可能で、2kW 以下の低出力のレーザーには、YAG（イットリウム・アルミニウム・ガーネット）レーザーが、ファイバー伝送で柔軟性があること、更にメンテナンスフリーに使用できることから多く適用されている。

図5に16kW 相当まで高出力化が可能になったディスクレーザーとYAG ロッドレーザーの比較を示す。

従来のYAG ロッドレーザーは、ロッドの側面より励起、側面から冷却してレーザーを発振させるため、ロッド内中心部の温度が高く、放物線状の温度分布となり、熱レンズ効果等の影響で高出力化ができなかった。

ディスクレーザーは、薄いディスク状のYAG 結晶の表面を励起してレーザーを発振させ、ディスクの背面から冷却することで、結晶内の温度勾配はほぼ均一にすることができるため、高出力化が可能となっている。

表3は、CO₂ レーザーとディスクレーザーの性能比較表で、ディスクレーザーは、CO₂ レーザーに対して、以下の点が優れている。

- 1) 溶け込み性が約1.3倍。
(ディスク：6kW とCO₂：8kW は、ほぼ同等の溶接性能)
- 2) 板表面の水分影響を受けにくく、安定溶接可能。
- 3) 溶接電力、加工ガス等の溶接コストが1/3以下。
(プラズマ影響抑制のための高価なHeガス不要)
- 4) 発振器はメンテナンスフリー。

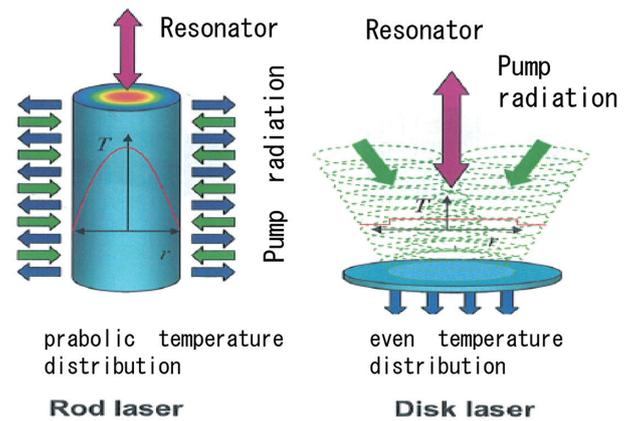


図5 YAG ロッドレーザーとディスクレーザー比較
Comparison of YAG-rod laser and disk laser

表3 CO₂ レーザーとディスクレーザーの性能比較
Performance comparison of CO₂ laser and disk laser

Item	CO ₂ Laser	Disk Laser	
Wave length	10.6 μm	1.03 μm	
Spec	Absorptivity	5% (at normal temperature) (100% at after melting)	40% (at normal temperature) (100% at after melting)
	Standard	Standard	1.3x weld penetration
	Spatter	Standard	Large
	Moisture	Affected	Not affected
Cost	Standard (necessary He gas)	Less than 1/3 (unnecessary He gas)	
Maintenance	Oscillator	Mirror, vacuum tube: periodic maintenance Adjust the optical axis after replacing a mirror	Maintenance-free
	Laser path	Mirror: periodic maintenance Adjust the optical axis after replacing a mirror	Maintenance-free
	Head	Mirror: periodic maintenance	Guard glass: periodic maintenance

5) 光路系、加工ヘッドともほぼメンテナンスフリー。

CO₂ レーザーの波長：10.6μm は、ファイバー内伝送できないため、窒素ガスパーズ配管内をバンドミラー反射にて直線経路で伝送が必要。加工ヘッドのレーザー光フォーカス機構も放物面鏡で行っており、光路系、加工ヘッドともミラー手入れ、交換、光軸調整等の高度なメンテナンスが必要。

ディスクレーザーの波長：1.03μm は、ファイバー内伝送ができ柔軟に伝送可能（ファイバーを曲げて伝送可能）。

加工ヘッドのレーザー光フォーカス機構はフォーカスレンズで行うので、加工ヘッド系外の保護ガラスの手入れ・交換以外はメンテナンスフリーで操業が可能（表

3及び図6参照）。

このようにディスクレーザーは、優れた性能があるが、実機適用の課題は、溶接時のスパッタ抑制対策と鉄鋼業界にて溶接機適用の実績がないことであった。

図7にレーザーの波長と各材料の吸収率を示す。常温の鋼のレーザー光吸収率は、ディスクレーザー：約40%、CO₂レーザー：約5%であり、この吸収率の影響により溶接時のスパッタ発生量に差が生まれている。

この課題に対し、東芝三菱電機産業システム(株)、多田電機(株)と加工ヘッドの保護ガラスにスパッタが付着しにくい長焦点距離のフォーカスレンズを適用した溶接機にて、レーザー照射条件及びArガス流量・方向等の溶接条件変更によるスパッタ抑制対策試験を行った。

図8は、CO₂レーザー、ディスクレーザー対策前後の溶接中のスパッタ飛散状況を示したもので、溶接条件最適化

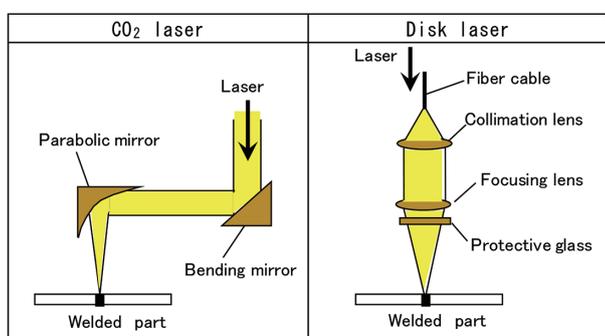


図6 加工ヘッドのレーザー光のフォーカス機構略図
Focusing mechanism of laser beam

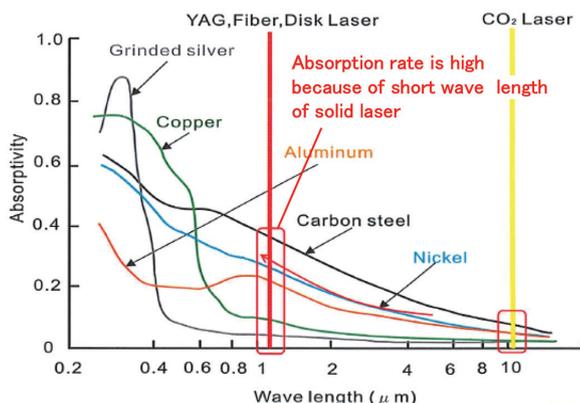


図7 レーザーの波長と吸収率との関係
Relation between laser wave length and absorption rate

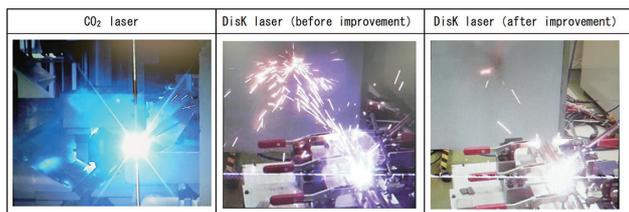


図8 溶接中のスパッタ飛散状況
Welding spatter

により、大幅にスパッタ低減が図れ、CO₂レーザー溶接同等の溶接品質を確保することができた。

又、ディスクレーザー発振器の信頼性について、共振器強度、反射光影響、設備自己診断機能装備状況より検討を行い、十分な強度があり、発振器本体から加工ヘッドまで充実した設備自己診断システムにより信頼性が高いと判断できたので実機適用を行った。

5. LCBによる改善効果

- 1) 最大27トンの大単重化（ダブルコイル大単重化、ホットコイル大単重化による能率向上）、設備レイアウト効率化（ホットコイル及びダミー材の段取り能率向上）、レーザー溶接技術導入（高能率自動溶接化）等により、従来比2倍以上の大幅な生産性向上を達成し、老朽化した従来の3ラインを廃止し、高能率LCBに集約した。
- 2) 完全自動溶接化により、オペレータースキルに依存しない溶接品質安定化が図れた。
- 3) 新型ディスクレーザー溶接機を導入することで、発振器、光路系、加工ヘッドまでのメンテナンスフリー化による溶接機の設備安定化及び溶接品質向上が図れた。
- 4) レーザー溶接機導入による異厚溶接範囲拡大に加え、リバースミル圧延時のコイル内巻きの折れが回避可能な異幅溶接範囲拡大により大幅なダミー材コスト削減を達成した。

図9に、対策前後の4ft幅、板厚3mm、6mmコイルとダミー材溶接における、ダミー材断面積比率（コイル断面積に対する比率）を示す。

コイル板厚3mmでは、ダミー材断面積比率を100%（コイルと同厚、同幅のダミー材を溶接）から約55%へ、ダミー材コストを半減させた。

- 5) これまで薄板一貫製造における大単重製造ネックはCB工程であり、大単重仕様のLCB設置により、薄板工場の大単重製造化を推進した。大単重化製造拡大により、リバースミル等のバッチラインの生産性向上及び一貫製品歩留向上が図れた。
- 6) 既設2CBライン撤去場所を熱間圧延コイル受け入れ置き場として活用することで、物流効率化を行った。

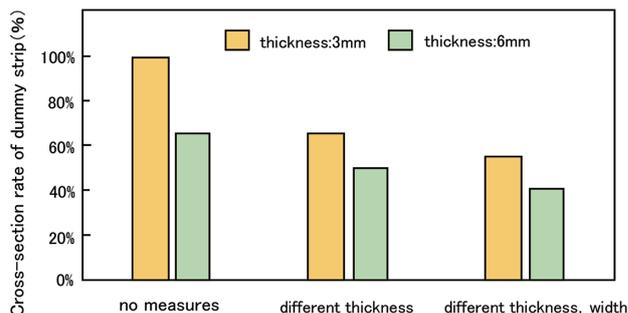


図9 異厚、異幅溶接の効果（コイル幅4ft）
Effect of different thickness and width (coil width: 4ft)

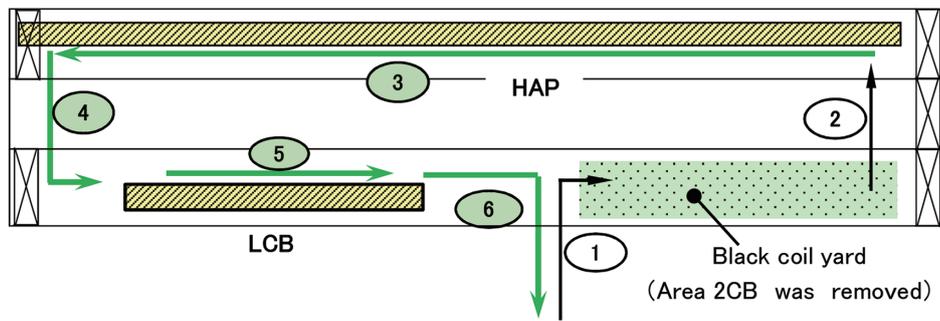


図 10 熱間圧延コイル受け入れから LCB までの物流フロー
Logistics flow of hot rolled coil from acceptance to LCB

図 10 に、他所から船輸送により光岸壁で荷下ろしした熱間圧延コイルの薄板工場受け入れから LCB 作業までの物流フローを示す。

2CB ライン撤去場所を熱間圧延コイル受け入れ置き場として活用することで、岸壁から薄板工場への専用輸送車でダイレクト搬送化（これまでの屋外置き場での仮置き、リフトカーでの工場受け入れ作業を省略）を行った。

- 7) スケジュールフリー通板が可能な LCB 機能を活用して前工程との生産連動化により、薄板製品の一貫納期競争力を強化した（図 10 の③ → ④ → ⑤ → ⑥を連動して操業することで製造工期短縮）。

6. 結 言

高能率・高機能のミル付帯工程 LCB ラインの新設により、CB 工程の生産性向上、コスト削減を図るとともに、ミルを含めた一貫のバッチライン生産性向上、一貫製品歩留向上、熱間圧延コイル受け入れから LCB 作業までの工期短縮、物流効率化を実現した。

今回の対策により、特殊鋼、特殊サイズ（厚物、極薄、広幅等）の小ロット・多品種を効率よく生産できるバッチミルの競争力強化が図れた。

今後も、レーザー溶接技術を導入するにあたり、世界初の新型ディスクレーザーを適用したチャレンジ精神を忘れることなく更なる競争力強化対策に取り組んでいきたい。



小原 紳一 Shinichi OBARA
日鉄ステンレス(株)
製造本部 山口製造所 光エリア
薄板工場 薄板技術室 上席主幹
山口県光市大字島田3434 〒743-8550



高藤 雄介 Yuusuke TAKAFUJI
日鉄ステンレス(株)
製造本部 設備・保全技術部
プロセスエンジニアリング室長



兵頭 健司 Kenji HYOHDOH
日鉄ステンレス(株)
技術部長



山崎 賢之 Takayuki YAMASAKI
日鉄ステンレス(株)
製造本部 設備・保全技術部 制御技術室
主幹



富田 茂 Shigeru TOMITA
日鉄ステンレス(株)
製造本部 山口製造所 光エリア
設備部長