

ハイテンの高精度製造技術

瞬間的に形状を測り、平坦度を制御する

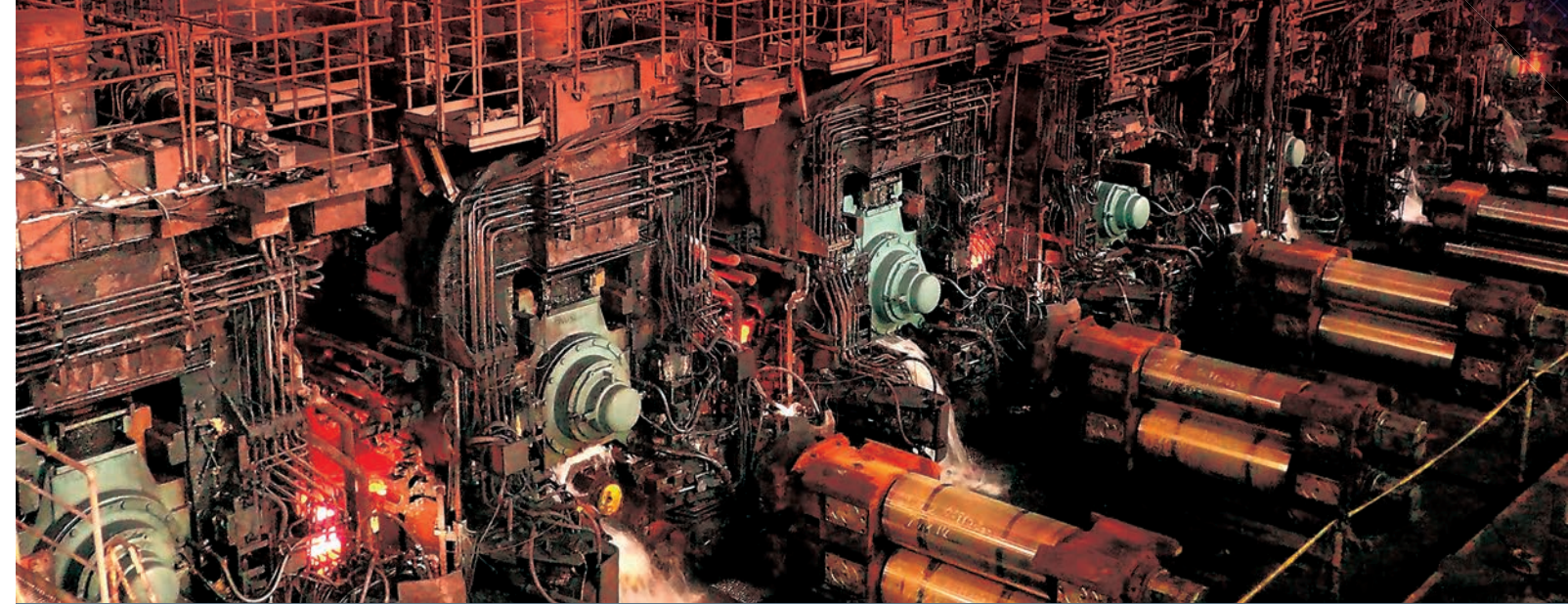
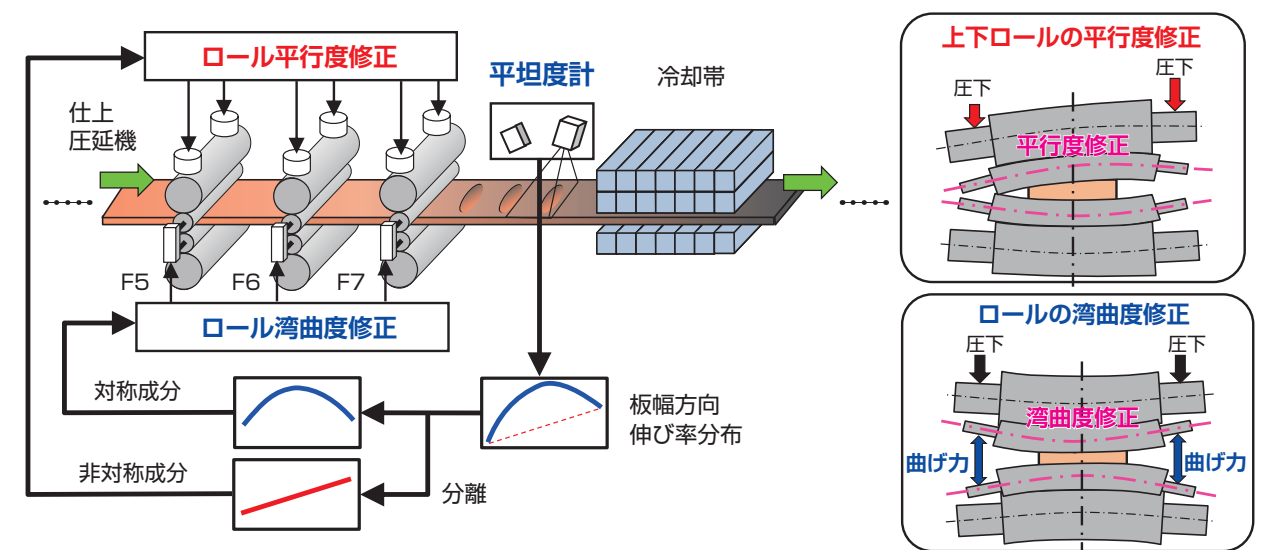


写真1 日本製鉄東日本製鉄所鹿島地区の熱延ライン

約1,200℃に加熱したスラブを、圧延機によって必要な厚さの鋼板に引き延ばしています。その速さは時速約100キロメートルにも達します。

自動車の環境対策として燃費向上が求められ、構造部材を薄くすることで軽量化が可能なハイテンの適用が急速に進んでいます。しかし、材料が硬いハイテンの製造では、熱間圧延時のロールにかかる荷重が高いため、品質低下の原因となる圧延時の平坦度の悪化が課題となっていました。

日本製鉄は「LEDドットパターン投影による圧延中鋼板の高精度形状測定技術の発明」によって、ハイテンの平坦度を大幅に改善し、品質と生産性の向上を図るとともに、鋼板をつくるときのCO₂排出と自動車の軽量化による使うときのCO₂排出の削減に寄与しています。



(一社) 日本鉄鋼協会の「ふえらむ」Vol.026 (2021) No.5からの転用

図1 自動平坦度制御システム

仕上圧延機の下流側に設置した平坦度計の測定結果から、伸び率の板幅方向の分布を解析。解析結果を仕上圧延機にフィードバックし、最適な上下ロールの平行度制御、ロールの湾曲度制御を行うことで、不良発生を大幅に低減しました。

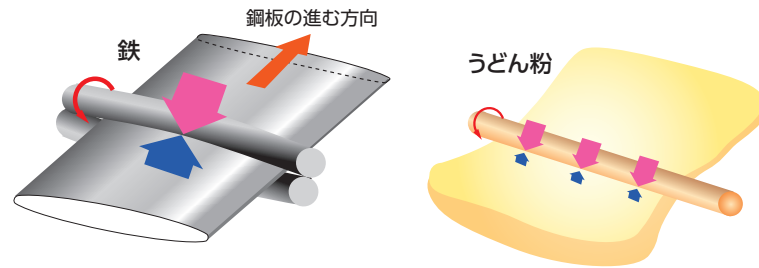
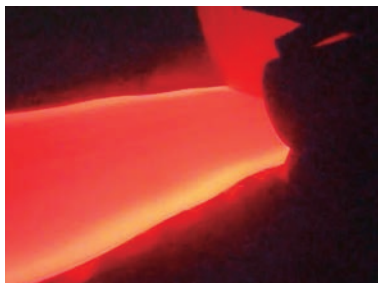


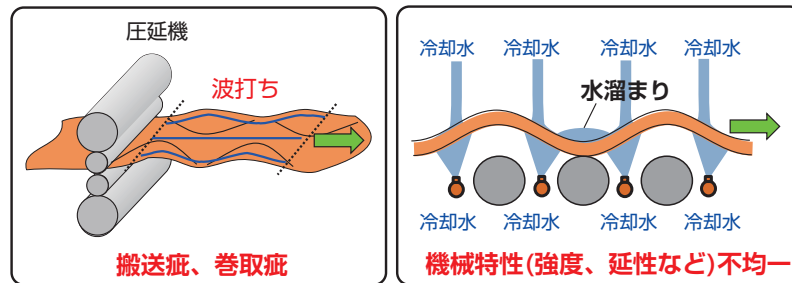
図2 圧延の原理

鉄の圧延(左図)は、うどん粉を麺棒で薄く延ばす(右図)原理と似ていますが、決定的な違いは硬さです。板幅1メートルの鉄の場合、圧延ロールに2,000トンという想像を絶する荷重が生じ、ロールは湾曲します。

平坦度不良時の鋼板



平坦度不良は鋼板の品質を悪化させる



(一社) 日本鉄鋼協会の「鉄と鋼」Vol.105 (2019) No.1からの転用

図3 平坦度の不良と鋼板の品質への影響

伸び率が板幅内で均一であることが理想ですが、板の中央部と端部で伸び率が異なると、鋼板が波打つような形状(左、中央)になる「平坦度不良」が発生します。平坦度不良は鋼板表面疵や不均一冷却(右)を引き起こし、品質低下の原因となります。

不均一が生じやすいハイテン

ハイテンとは、従来の鋼板より薄くても、同じ強度の構造部材を実現できる鉄鋼材料です。ハイテンを自動車で使用することで、燃費向上(CO₂排出削減)を実現したり、衝突安全性を高めることができます。ハイテンは、加熱したスラブに大きな圧力をかけて、必要な厚さまで引き延ばすことによって製造されています。

「原理はうどん粉を麺棒で平らに延ばす場合と同じです(図2)が、圧延ロールの幅1ミリあたり2トン近い荷重をかけています。通常の鋼板よりも強度が高いハイテンは材料が硬いため、より大きな力で圧延する必要があります。そのため、高速で圧延されるハイテンでは、平坦度を保つために熟練したベテランの操作作業による経験と圧延機の状態確認が必要でした(伊勢居良仁課長)。

ハイテンが設計通りの性能(強度や成形性)を発揮するためには、圧延後の冷却が重要です。圧延された鋼板は水をかけて300〜400℃冷やします。そのとき平坦度が均一でないと、鋼板上に水たまりが発生するなどして、均一に冷却できません。不均一な冷却は不良品発生の原因になります(図3)。

「従来はベテランの操作作業が、目視で平坦さを確認して、圧延機を微調整していました。平坦さのほかにも、温度や板幅、板厚など、さまざまな条件を考慮

して、時速約100キロメートルで流れていく鋼板の平坦さをミリ単位で制御するには「匠の技が必要でした」(大杉正洋課長)。

従来は目視で行われていた鋼板の平坦さの確認を、定量的に計測できるようにしたのが、LEDドットパターン投影平坦度計です。

「平坦度の測定は40年以上からの課題でしたが、高温・高速の鋼板の平坦度の測定に適した方法がありませんでした。ハイテンの需要が増加する一方で、ベテラン操作作業が減少し、圧延工程の自動化ニーズが高まってきました。そのため、平坦度計の開発が不可欠でした(伊勢居課長)。



日本製鉄(株) 東日本製鉄所
工程業務部 鹿島工程計画室
大杉 正洋 課長



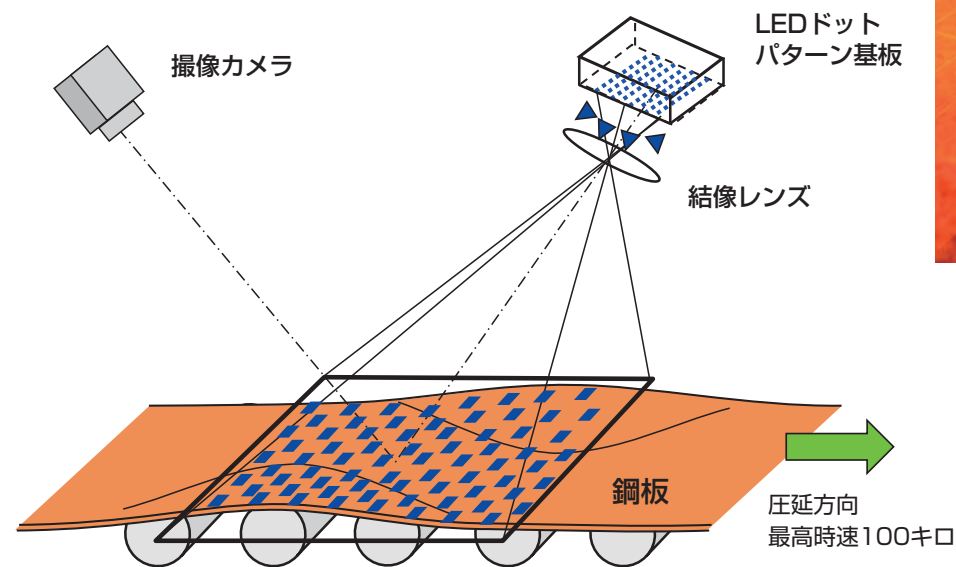
日本製鉄(株) 技術開発本部
プロセス研究所 計測・制御研究部
伊勢居 良仁 課長

千鳥状パターンの撮影画像



パターンつぶれなく明瞭

(一社) 日本鉄鋼協会の「鉄と鋼」Vol.105 (2019) No.1からの転用



(一社) 日本鉄鋼協会の「いえらむ」Vol.026 (2021) No.5からの転用

図4 LEDドットパターン投影方式の平坦度計

高温・高速で流れる鋼板の表面に、千鳥状のパターンを投影することで、鋼板の平坦度を高精度に測定し、品質と生産性の向上を図っています。

LED光源による 高精度な平坦度測定を実現

平坦度測定を難しくしているのは、鋼板が高温で高速移動しているからだけではありません。圧延時の鋼板は蛇行したり、波打つように上下にバタついたりするなど、複雑な動きを見せます。さらに、薄いためにその形状は時々刻々と変化しています。これまでにレーザー光を使用して平坦度を測定する方法などが検討・開発されていましたが、本格的に使用されるまでには至りませんでした。

「鋼板表面に周期的なパターンを投影して、瞬間的な鋼板の形状を測定する方法に着目しました。投影されたパターンをカメラで撮影し、画像解析することで、伸び率の板幅方向の分布、すなわち、平坦度を算出することができます」(伊勢居課長)

従来、パターン投影方式を鋼板の形状測定に適用する際には、強力な光源によりパターンを投影する方法がありました。この方法では、パターンを鋼板の端まではっきり投影するために輝度を上げると、鋼板の中央部分ではハレーションを起してパターンが読み取れなくなるなど、解決すべき課題がありました。

「さまざまな課題を一気に解決したのが、高輝度のLED光源の採用でした。最終的に、スライドを使ってパターンを投影

つくるときから「H」 つくるものが「H」

今回開発したLEDドットパターン投影による高精度の形状測定技術によって、ハイテンの熱間圧延工程の自動化が推進されました。従来はベテラン操作作業者の熟練した技が必要でしたが、若手操作作業者でもベテランと同様の品質で熱間圧延工程での平坦度のつくり込みが行えるようになりました。これによって、ベテラン操作作業者の減少に対応することができました。日本製造業の課題である団塊の世代の引退、労働者人口減少への対応にもつながるといえます。

また、高品質のハイテンを必要な量だけ、自動車メーカーをはじめとしたお客様へ提供できる生産体制の構築を加速。より軽い車体の自動車は、燃費向上によるCO₂排出量の抑制に貢献しています。

さらに、熱間圧延工程の自動化を進めたことで、歩留まりが向上(不良品が減少)し生産性が向上し、鋼板製造時のCO₂排出抑制にも貢献しています。

「低コスト・高精度で平坦度を測定できるこの技術は、より高性能な鋼材やより高精度な鋼材の生産にも役立つ技術です。ハイテンの生産以外にも、さまざまな鋼板製造の現場で活躍していく技術だと期待しています」(伊勢居課長)

するのではなく、パターンを構成するドットの一つ一つをそれぞれLEDで投影する方法にたどり着きました」(伊勢居課長)

開発したLEDドットパターン投影法では、高輝度のLED光源を千鳥配置にして、鋼板の表面に投影しています(図4)。パターンを千鳥状にすることで、高輝度にしても撮影画像のハレーションを抑えることができます。また、それぞれのLED光源の輝度を調整できるので、鋼板の中央部分や端部でそれぞれ最適な輝度で測定できるようになります。

「LEDドットパターンを投影するための、専用のLED光源を開発しました。1200個の素子を搭載した光源を製作してくれるパートナーが見つかったことも幸運でした」(伊勢居課長)

「専用のLEDドットパターンプロジェクトでは発熱を抑える工夫も施したので、小型化だけでなく、寿命も大幅に伸ばすことができました。さらに低コスト化も実現しています」(加藤朋也班長)



日本製鉄(株) 技術開発本部
尼崎研究支援室
加藤 朋也 班長

LEDドットパターン投影による圧延中鋼板の高精度形状測定技術は、令和5年度全国発明表彰発明賞、2021年度第68回大河内記念生産賞、2020年度文部科学大臣表彰科学技術賞(開発部門)、2019年度第8回ものづくり日本大賞優秀賞など数々の賞を受賞し、高く評価されています。日本製鉄は今後とも熱間圧延の精度向上を図る革新的な技術を開発し、鋼板製造時と自動車走行時のCO₂排出を削減して、カーボンニュートラル社会の実現に貢献していきます。