

フェーズドアレイ超音波法によるレール広断面探傷装置

An Ultrasonic Flaw Detection System for Rails Covering Wide Area by a Phased Array Technique

櫛田 靖夫 KUSHIDA Yasuo JFE スチール 西日本製鉄所(福山地区) 制御部制御技術室 主任部員(課長)
竹正 峰康 TAKEMASA Mineyasu JFE スチール 西日本製鉄所 鋼材商品技術部形鋼室 主任部員(副課長)
飯塚 幸理 IIZUKA Yukinori JFE 技研 計測制御研究部 主任研究員(課長)・工博

要旨

JFE スチール 西日本製鉄所福山地区形鋼工場におけるレールの品質保証体制強化のため、超音波探傷機の更新を行った。本装置は、従来の装置よりも大幅に欠陥検出能力を上げるとともに、複雑な形状をしたレールに対して、その有効探傷領域を拡大させるためにアレイ探触子を用いたフェーズドアレイ探傷法を採用し、レール探傷への適用技術を開発した。また、探傷能力向上にともない相対的な影響が大きくなるノイズへの対策を行うことにより、良好な検出性能を得た。本装置は 2001 年より稼働を開始し、新幹線をはじめとして、各種レールの品質向上に大きく寄与している。

Abstract:

An ultrasonic flaw detection system for rails has been renewed at Shapes Plant, West Japan Works, JFE Steel to upgrade its quality assurance capability. To enhance detectability and expand the detection area for rails having a complicated cross section, an ultrasonic flaw detection system applying a complicated technique has been newly developed. In addition, by taking appropriate measures to improve its signal-to-noise ratio, good flaw detection performance has been obtained. This flaw detection system has been put into on line in 2001 and has greatly contributed to the quality improvement of various rails including for Shinkansen.

1. はじめに

レールの品質は、交通輸送機関や輸送設備の安全を確保する上で非常に重要である。近年、レール品質に対する要求もますます厳しいものとなってきており、製造メーカーにおける検査体制の充実が強く望まれているところである。これらの要求にこたえるべく、JFE スチールにおいても従来から自動超音波探傷装置を導入¹⁾して品質保証体制の強化を図ってきたが、さらなる厳格化要求への対応が必要となってきた。また、従来の探傷装置は稼働以来 17 年を経過し機構部をはじめとした設備劣化も顕在化してきていた。このような背景から、超音波探傷機を更新するとともに探傷性能の大幅な向上を図ることとした。以下に今回開発、導入したレール自動超音波探傷装置の概要について紹介する。

2. 開発の背景

2.1 レール製造工程

ここでレールの製造工程について、その概要を簡単に紹

介する。**Fig. 1** は JFE スチール 西日本製鉄所福山地区形鋼工場のレイアウトを示したものである。素材の鋼片を加熱炉で加熱し、BD ミル、粗ミル、仕上げミルで圧延して所定の形状とした後、熱間鋸断して冷却床にて冷却する。その後、矯正機により曲がり角を矯正した後、検査工程へと進める。検査工程においては、搬送中のレールに対して表面検査を行った後、超音波探傷装置により内質の検査を行う。

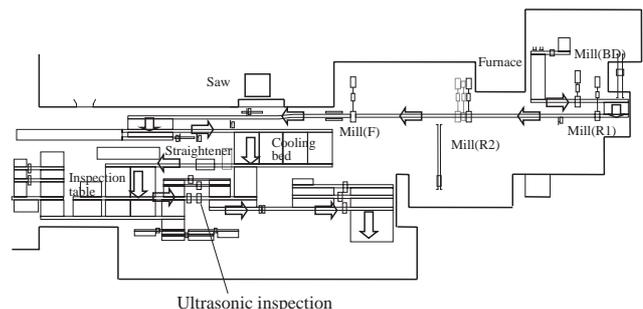


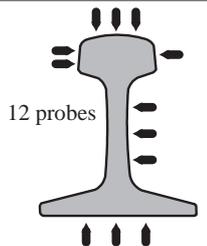
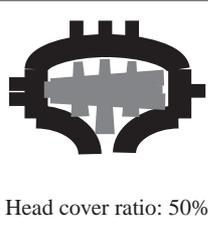
Fig. 1 Layout of shape mill

Table 1 Standard request for rail

	North America	China	Europe
	(unit: mm)		
Head	1.6φFBH	1.4φFBH	2.0φFBH Cover ratio: 70%
Web	2.4φFBH	2.0φFBH	2.0φFBH
Flange	12.7L×1.6d	40L×1.0d	10L×2.0W

FBH: Flat bottom hole, L: Length, d: Depth, W: Width

Table 2 Efficiency of old device

	Flaw detection point	Detection cover area
Probes position		
	12 probes	Head cover ratio: 50%

2.2 開発目標

Table 1 に世界の各地域における、レールに関する要求探傷能力を示す。特にヨーロッパにおいてはレール頭部の探傷カバー率を70%以上とすることが求められるようになった。なお、ここで探傷カバー率とは被探傷断面のうち、有効探傷断面の面積比率であり、複雑な形状をしたレールに対する、探傷カバー率の向上は従来よりの課題であった。

Table 2 は従来装置の構成と探傷性能を示したものである。これより、従来装置は頭部の探傷カバー率が最近の規格要求に対して不十分なものとなりつつあった。そこで、今回の探傷装置の開発にあたっては、以下に示す性能を目標とすることにした。

- (1) 欠陥検出能力(頭部)：1.4φFBH以下
- (2) 探傷カバー率(頭部)：80%以上

3. 超音波探傷装置

3.1 開発内容

一般的に小さい欠陥を検出するためには超音波ビーム径を小さくすることが有効である。ところが、従来の探傷装置の探傷プローブは **Fig. 2** に示すような構造となっており、円柱状のエリアが探傷領域となるが、超音波ビーム径を小さくすると探傷エリアも小さくなる。その結果、今回のもうひとつの目的である探傷カバー率向上を行うためには、多数の探傷プローブを配置する必要があり、設備的に大規模・複雑な装置になる。また、レールの頭部は複雑な形状をしているため多数の探傷プローブを配置しても、探傷できるエリアには限界があり、従来技術の延長線上では、上記で述べた目標を達成することは困難であった。そこで、

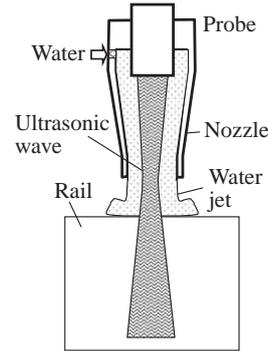


Fig.2 Old flaw detection device

これら2つの課題を満足させる、すなわち探傷ビーム径を小さくし、かつ探傷エリアを拡大する技術として、多数の微小振動子を配置したアレイ探触子によるセクター探傷方式を採用し、レールへの適用技術を開発した。

3.2 探傷方式

Fig. 3 は今回開発したセクター探傷方式を模式的に説明したものである。この図に示すとおり、本方式においては探触子内に多数の振動子をアレイ状に配置する。ここで **Fig. 3(a)** のように振動子を同時に発振させると、音波の波面は探触子に対して垂直に進行する。また、**Fig. 3(b)** のように、振動子を一定の時間間隔で順次発振させると、音波の波面は探触子に対して所定の角度で進行することとなる。このように振動子の発振タイミングを制御することにより、任意の方向に音波を照射することが可能であり、探触子を起点として扇形のエリアを探傷することが可能となる。

この方式を利用してレールの頭部を上面から探傷する際の探傷エリアのイメージを **Fig. 4** に示す。またレール頭部を側面より探傷する際の探傷エリアのイメージを **Fig. 5** に示す。その結果、この両者の探傷エリアを合成すると、探傷カバー領域は **Fig. 6** に示すような領域となる。従来の装置に比べ大幅に探傷カバー率を上げることが可能となり、当初目標の探傷カバー率80%以上を達成した。

Fig. 7 は以上紹介したレール頭部に加え、その他の部分も含めた探傷プローブの配置を示すものである。この図で示すように、レール頭部、腹部、底部にそれぞれにアレイ探触子を配置し、特に頭部と底部の中央部分には今回開発

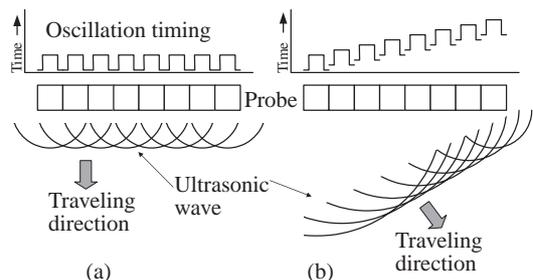


Fig.3 Phased array technique

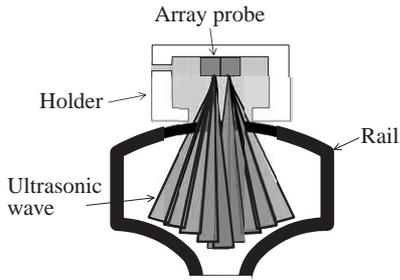


Fig. 4 Flaw detection of head

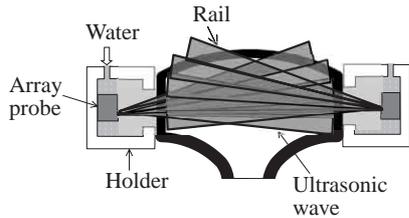


Fig. 5 Flaw detection of head

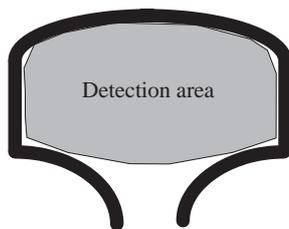


Fig. 6 Flaw detection area of head

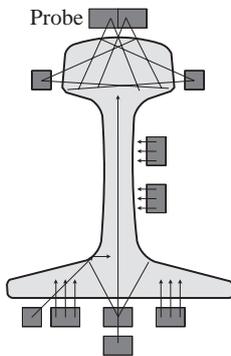


Fig. 7 Flaw detection probe arrangement

したセクター探傷方式を適用することにより、探傷エリアの拡大を図っている。

本技術の開発にあたっては、アレイ探傷法に特有のサイドローブによる擬似エコーの発生を抑えるため、素子サイズ・ピッチ、入射角度、励振タイミングなどを最適化することで実用化を達成した。

その他、底部断面を探傷するためのシングル型斜角探触子、底部から頭部までを探傷するためのシングル型垂直探触子も設けることによって、より密度の高い探傷を行うようにしている。ここで後者については探傷距離が長くなることから、チャープ波パルス圧縮方式²⁾を導入して高S/N

を確保した。

3.3 探傷装置

Fig. 8 は今回設置した探傷装置のレイアウトを示すものである。被探傷レールはまず予湿装置により適度の水膜を付与するとともに浮いた汚れ、スケールなどを洗い流す。次に、レールは長尺であるため、探傷装置入側および出側のサイドガイド、ピンチロールによりレールを拘束する。また、探傷装置においては、レールの先端を検出すると、順次各プローブを被探傷部に着材させ、探傷を開始する。なお、ここで探傷装置の各プローブはレールの動きに追従して常に探傷プローブが被探傷部と一定の距離、角度を維持できる機構としている。また、探傷装置においては装置が常に適正な検出性能となっていることを確認、調整することが重要であるが、これを確実にを行うため専用の校正装置を設けている。本装置においては、レールの規格が変わるごとに探傷装置を校正装置にセットし、校正用レールを走行させて探傷を行うことにより、性能の維持管理を図っている。

Photo 1 に本装置の外観を示す。

3.4 ノイズ対策

圧延されたレールはデスケラなどによりスケールが除去されるが、完全に除去されるものではない。このため、たとえ微小なものであっても、スケールが剥離して探傷装置のプローブ内に侵入してしまうと、ノイズ源となってしまう探傷性能に大きな影響を与えてしまう。

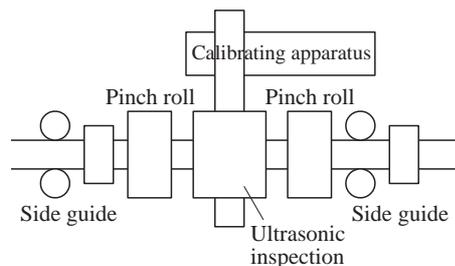


Fig. 8 Layout of the rail inspection system

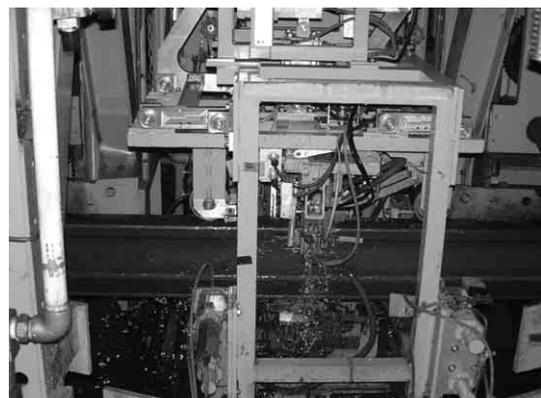


Photo 1 Flaw detection machine appearance

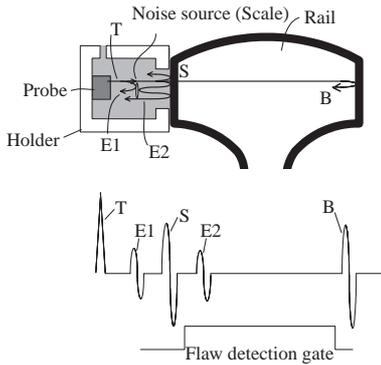


Fig. 9 Noise occurrence reason

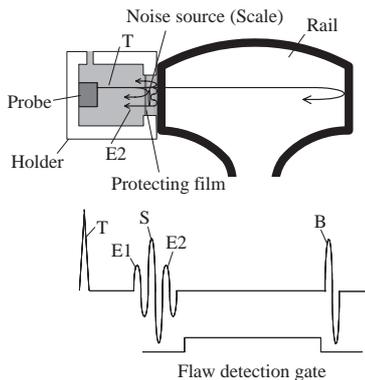


Fig. 10 Noise cancellation measure

ここで、スケールによるノイズの発生原理を Fig. 9 を用いて説明する。探触子より発せられた音波は被探傷材の表面および底面で反射し、それぞれ Fig. 9 で示す反射波 S および B として現れる。このため反射波 S から B までの間に探傷ゲートを設定し、この間の反射波を欠陥として検出している。ここでもし探傷プローブ内にスケールなど音波を反射する物質が侵入した場合、この物質で反射した音波はまず E1 として観察されるが、この反射波は探傷ゲート内に入っておらず問題となることはない。しかし、音波がこの物質と被探傷材表面で多重反射した場合は E2 として現れ、探傷ゲート内であるために欠陥信号と認識される。

このようにして、探傷プローブ内のスケールはノイズとして探傷性能に大きな影響を与えることとなる。

そこで、本装置においては、Fig. 10 に示すとおり、探傷プローブ内に音波が透過し、かつ十分な耐久性を持った膜を設け、この膜によりスケールの侵入を防止している。なお、ここで膜と被探傷材表面間は、たとえこの中にスケールなどが侵入してもそのスケールなどとの間で起きる多重反射波が探傷ゲート内に入らないような間隔としている。

3.5 実探傷例

本装置稼働後、実探傷により検出性能を評価したところ当初目標を達成していることが確認できた。

本装置により検出した人工欠陥の例を Photo 2 に示す。

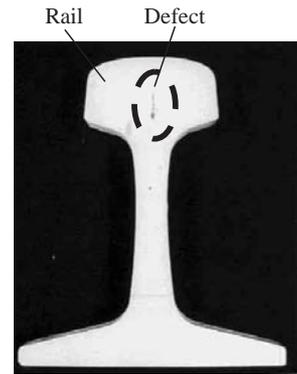


Photo 2 Defective detection example

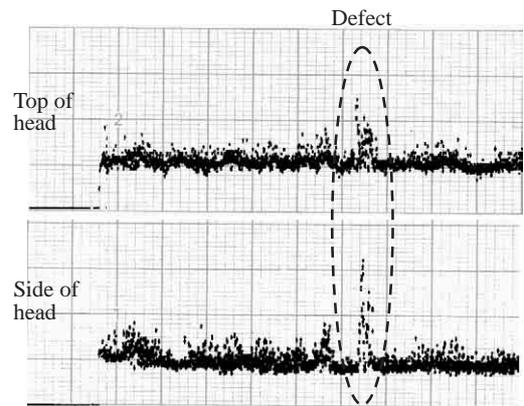


Fig. 11 Defective detection chart example

またこの人工欠陥の探傷チャートを Fig. 11 に示す。

4. おわりに

本装置は 2001 年に設置され、以後順調に稼働しており、新幹線をはじめとして、各種レールの品質向上に大きく寄与している。

参考文献

- 1) 前田孝三ほか、日本鋼管技報. no. 107, 1985, p. 98-100.
- 2) Iizuka, Y. High signal-to-noise ratio ultrasonic testing system using chirp pulse compression. Insight. vol. 40, no. 4, 1998, p. 282-285.



梶田 靖夫



竹正 峰康



飯塚 幸理