

レールの破断箇所を 車上から検知する



細田 充
Mitsuru Hosoda
軌道技術研究部
レールメンテナンス研究室
主任研究員



相澤 宏行
Hiroyuki Aizawa
軌道技術研究部
レールメンテナンス研究室
研究員



山本 隆一
Ryuichi Yamamoto
軌道技術研究部
レールメンテナンス研究室長

はじめに

現在、鉄道の多くの路線では、レールに流れる信号電流を利用した軌道回路により、列車の位置を検出しています¹⁾。これにより、ある区間に列車が存在していれば、[図1](#)に示すようにほかの列車を進入させないよう、信号が「赤」になることによって、安全な列車運行が保たれています。また、軌道回路のもう一つの重要な機能として、レールの破断検知があり、レールが破断すると信号回路が途切れて「赤」信号になることで、異常を知らせます。

一方で、無線式の列車位置検知手法が開発され、一部の鉄道事業者ですでに導入されています。無線式のシステムを導入し、軌道回路が取り外された場合、軌道回路に代わるレール破断検知手法が必要となります。[帰線電流](#)²⁾や超音波センサー等の地上設備を利用する手法も提案されています²⁾が、長大な線路に対して、地上に新たな設備を構築するのは大きなコストがかかります。

[帰線電流](#)

電気車から帰線路を経て変電所に戻る電流。

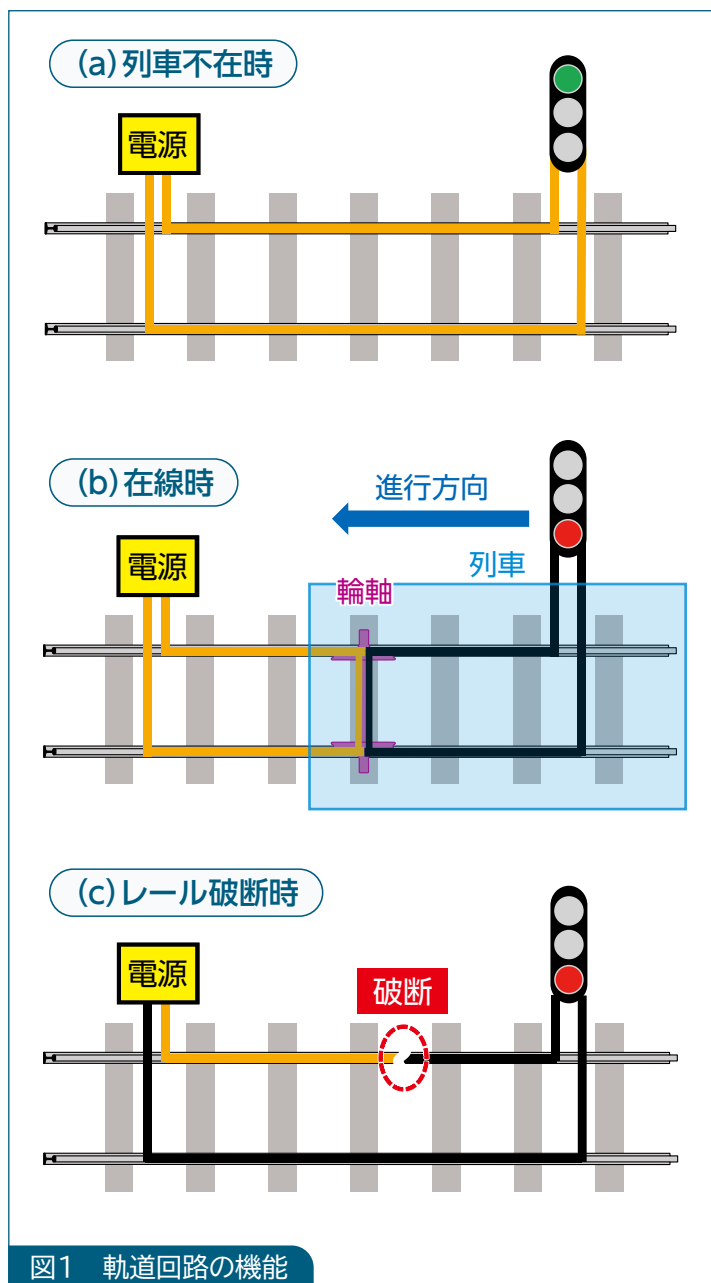


図1 軌道回路の機能

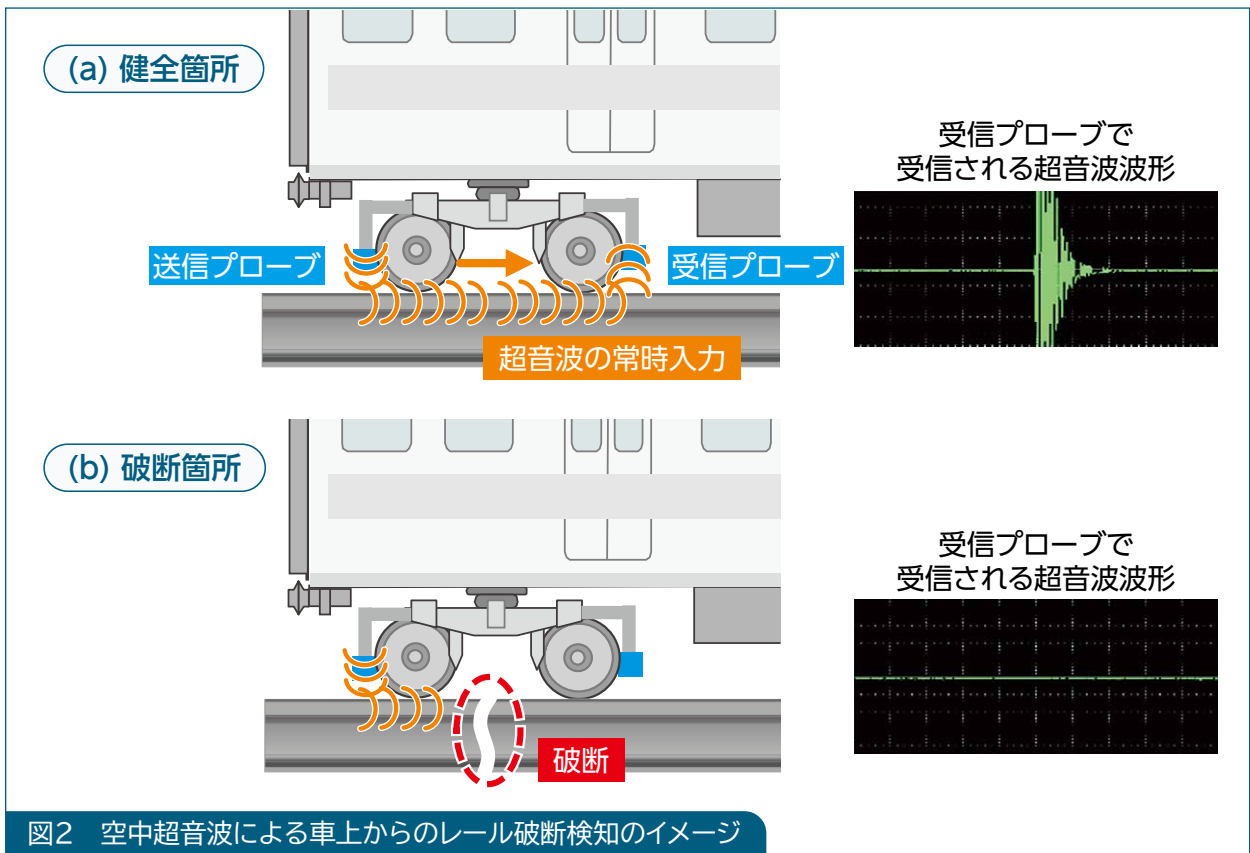


図2 空中超音波による車上からのレール破断検知のイメージ

そこで、ここでは、非接触空中超音波センサー（以下、「空中超音波」といいます）を車両に搭載し、車上からレールの破断を検知する手法を検討したので以下に紹介します。

空中超音波による レール破断検知手法の検討

車上からレール破断を検知するために適用するセンサーについては、

- ①車両に取り付け可能かつレールに対して非接触で、一定の応答が得られる
 - ②レール破断部で明確な異常応答が得られる
- の2つが求められます。

これらに対応できるものとして、超音波を利用した技術があげられます。超音波を利用した技術については、レールにガイド波^{でんぱ}を伝播さ

せて、レールが破断した場合に超音波が遮断される原理を利用した方法が国内外で検討されています²⁾。しかし地上設備を前提とした開発が主であり、コスト面に課題があります。

レール破断検知への適用を想定した空中超音波システムは、図2に示すように鉄道車両の台車枠に取り付けた超音波センサーからレールに非接触で超音波を送信し、輪軸を挟んで同様に台車枠に取り付けた超音波センサーにて受信するものとなっています。以下では、超音波を送信および受信するためのセンサーを、それぞれ「送信プローブ」および「受信プローブ」といいます。非接触で入射された超音波はレールを伝播していくため、健全な箇所であれば受信プローブで超音波を連続して受信できます（図2(a)）。一方で、レール破断が発生した箇所では、超音波が途中で遮断され受信プローブに伝わらないため（図2(b)）、レール破断を検知することが可能になります。

ガイド波

長大な構造物の部材などに対し、その長さ方向に伝達する超音波などの波。

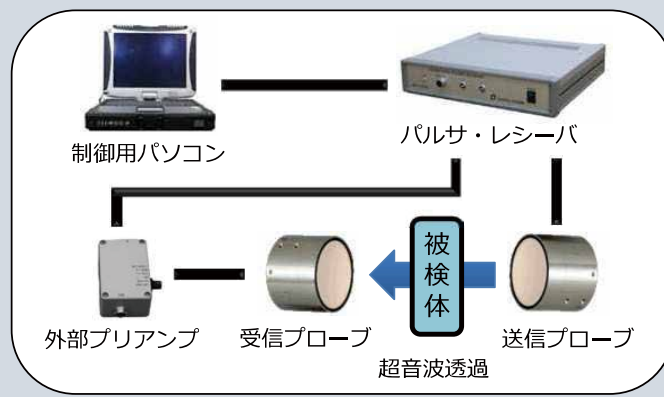


図3 空中超音波システム³⁾

表1 各媒質の密度, 音速, 音響インピーダンス

媒質	密度(kg/m ³)	音速(m/s)	音響インピーダンス(N·s/m ³)
空気	1.3	340	410
水	1000	1500	1.44×10 ⁶
レール(鋼)	5900	7874	4.65×10 ⁷

ただし, 通常, 超音波でレールなどの部材中の欠陥や傷などの存在を検査する場合には, 超音波プローブを部材に接触させて超音波を入力しますが, 空中超音波は非接触でレールに超音波を入力するため, 空気中で大きく強度が減衰します。そこで, 一般の超音波探傷器では感度不足となるため, 強力な超音波を送受信できる高出力, 高感度のパルサー・レシーバー(超音波送受信器)と外部プリアンプ(信号増幅器)を使用する必要があります。本研究で使用した空中超音波システムは, 図3に示すように制御用パソコン, パルサー・レシーバー, 外部プリアンプおよび送受信プローブで構成されています³⁾。

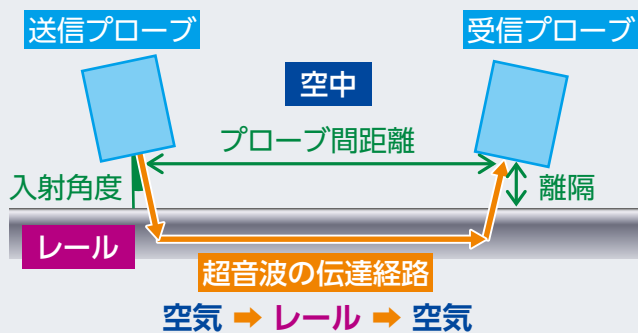
さらに, 空気とレールでは音響インピーダンス⁴⁾が大きく異なるため, レールに超音波を伝える際には, 空気からレールへの入射角度が著しく制限されます。これは, 例えば, 空気から水に音や光などの波を入射した場合に, 屈折し

て水に伝わり, 入射角が一定の限界の角度を超過すると全反射を起こすのと同種の現象です。これが水ではなく, レール, すなわち鋼を対象にする場合, 水以上に空気との音響インピーダンスが大きく異なるため, 全反射を起こしやすくなるためです。基本的に音響インピーダンスは, 密度と音速で求めることができ, 表1に示すような値となります。

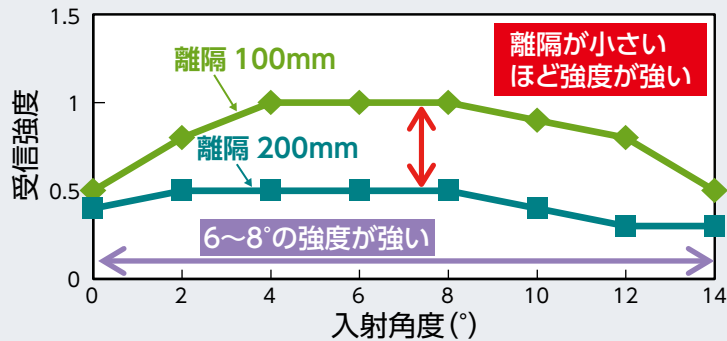
そのため, 図4に示すように室内試験で, 超音波プローブとレール間の離隔と, 入射角度が受信プローブで得られる超音波の強度(以下, 「受信強度」といいます)に及ぼす影響について検証しました(図4(a))。その結果, 離隔の大きさに応じて受信強度が低下し, 入射角度は8°程度より角度が大きくなると受信強度が低下することがわかりました(図4(b))。さらに, レール破断を模擬した開口部を設定し, 送信プローブと受信プローブが開口部を挟んだ場合に, 超音波を伝達した際の受信強度の変化を検証した結果, 著しく受信強度が低下することを確認しました(図4(c)(d))。これらの結果に基づき, 台車に実際のシステムを搭載する場合の超音波プローブの設置位置などの条件を絞り込んでいきました。

4) 音響インピーダンス

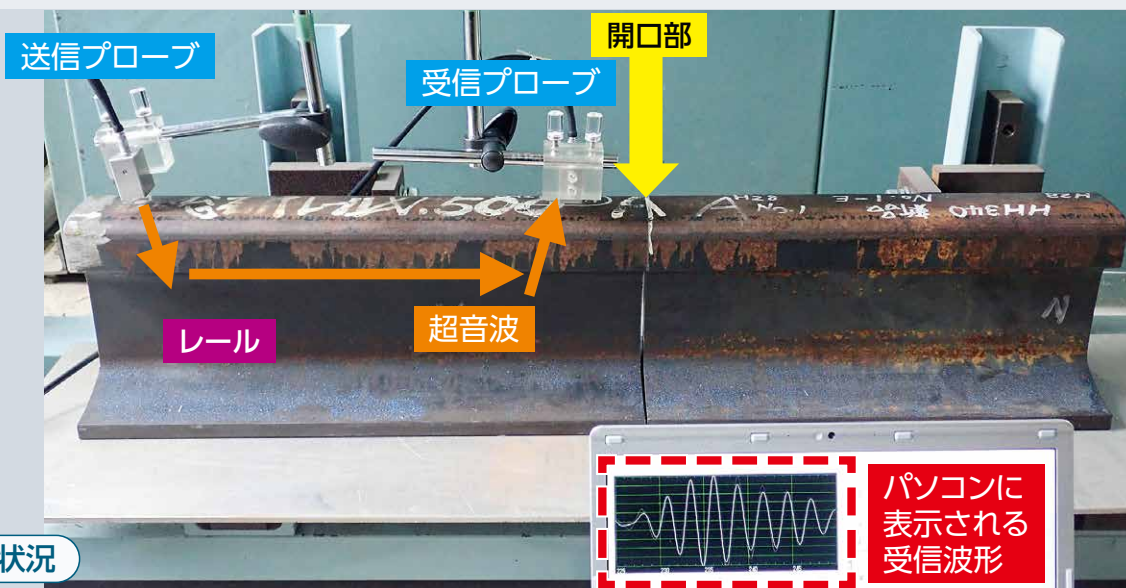
物質の境界の音圧と体積速度の比。簡略化すると, 媒質の密度×音速で表されます。媒質間の音響インピーダンスの差が大きいほど超音波が反射, 小さいほど透過する傾向があります。



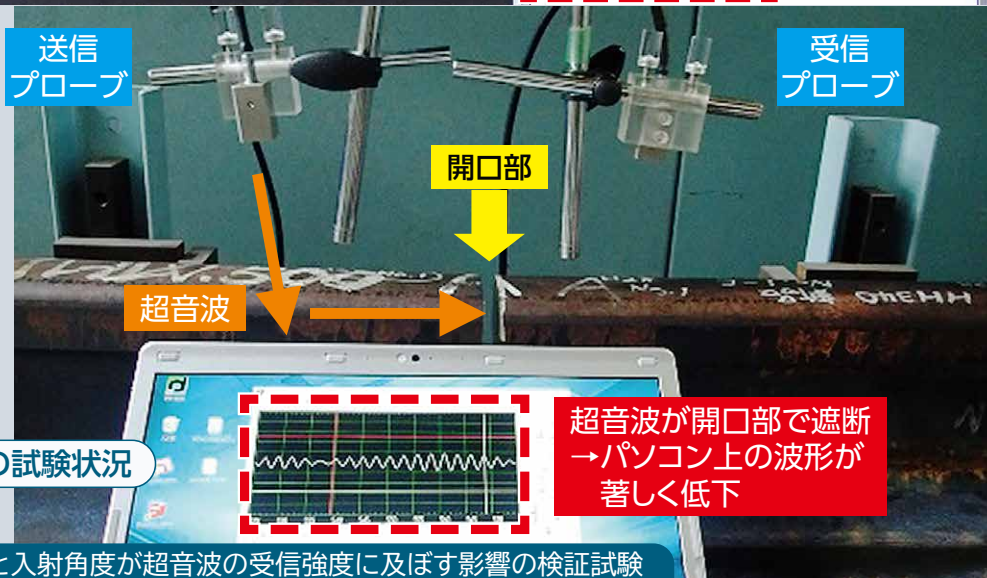
(a) 試験のイメージ



(b) 試験結果の例



(c) 試験状況



(d) 開口部での試験状況

図4 離隔と入射角度が超音波の受信強度に及ぼす影響の検証試験

提案した手法の試験線における検証試験

提案した手法が実際にレール破断を検知可能か検証するため、試験車両に空中超音波システムを搭載し、試験線で走行試験を行いました。図5に空中超音波システムを搭載した試験車両の台車の外観を示します。台車の前後に送信プローブおよび受信プローブを設置し、超音波を

送受信しながら試験走行しました。試験線は10～25m程度の間隔で継目があり、その区間を400m程度走行しました。また、レール破断を模擬するため、図6に示すような開口部を設定しました。これにより、健全部、継目部および開口部を通過した際の受信強度を分析しました。



図5 空中超音波システムを搭載した台車の外観

図7に示すように、健全部と継目部や開口部では波形が大きく異なります。試験車両の走行位置と超音波の受信強度の関係を図8に示します。健全部では、十分な受信強度が得られており、提案したシステムによるレールへの超音波の送信およびレールからの受信が走行中においても可能であることがわかります。また、継目部や開口部が存在する位置では、健全部の0.4倍以下に受信強度が低下しています。走行区間

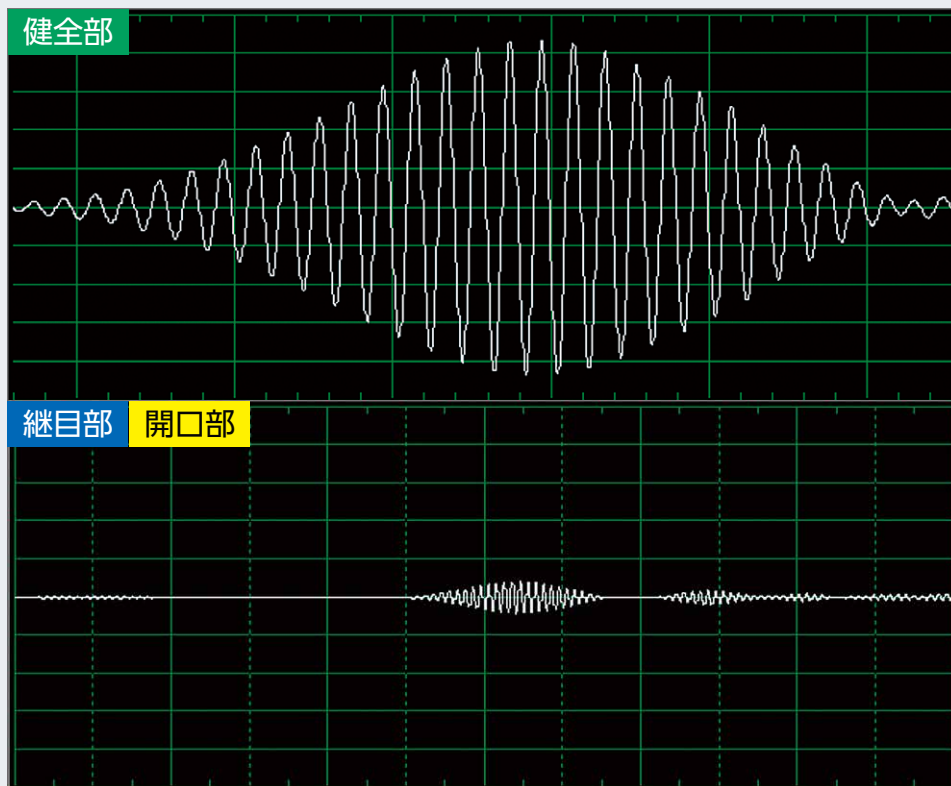
には13箇所の継目部があり、12番目(⑫)と13番目(⑬)の継目部の間においてレールを切断して開口部を設けています。そのため、継目部および開口部を合わせて14箇所の不連続部が存在し、いずれの不連続部においても、受信強度が0.4以下になっています。このシステムによって、レール破断の判定を行うためには、例えば、検査する区間の継目部の数をあらかじめ把握しておき、検査走行した際に受信強度が一定値以下となる箇所をカウントして比較することによって、後者の数が多くなっている場合、レール破断部が存在していると判断できます。また、車上に取り付けた加速度計などのセ

きしり音

レールと車輪が擦れ合って生じる、摩擦振動音のことです。生じる場所は急曲線区間であることが多いです。



図6 開口部の外観図



超音波波形

図7 得られた波形例

ンサーと組み合わせることによりレール破断の判定をより高精度で行えると考えられます。ただし、曲線部においてきしり音[※]が発生している場合は超音波の波形が著しく乱れることもわかっており、今後の実用化への課題といえます。

術開発について紹介しました。今後は、本技術を応用し、レール破断を未然に防ぐ車上からのレール損傷検知手法の研究開発に取り組んでいきます。**RRR**

まとめ

ここでは、車上からレール破断を検知する手法を確立することを目的として実施した、車両に搭載した非接触空中超音波センサーによる技

文献

- 1) 寺田夏樹：軌道回路, RRR, Vol.71, No.5, pp.28-31, 2014
- 2) 元好茂, 本間健一：レール損傷検知システム(超音波方式, 帰線電流方式)の開発, 新線路, Vol.66, No.11, pp.33-35, 2012
- 3) ジャパンプローブ：ジャパンプローブ (online), <https://www.jp-probe.com/> (入手日：2020年9月15日)

図8 試験車両の走行位置と超音波の受信強度の関係

