

衝撃振動試験の高性能無線計測システム 「IMPACTUS」を開発しました

公益財団法人鉄道総合技術研究所は、橋りょう下部構造物の検査で行われる「衝撃振動試験」において、健全度評価指標である橋脚の固有振動数の推定を支援する高性能計測システム「IMPACTUS（インパクトゥス）」を開発しました。

水晶を用いた双音叉構造の加速度検出素子を採用することにより、従来のセンサーよりもノイズが低減し、固有振動数の推定が容易になりました。また、従来のセンサーに比べて小型軽量であり、可搬性・作業性に優れています（[図1](#)）。

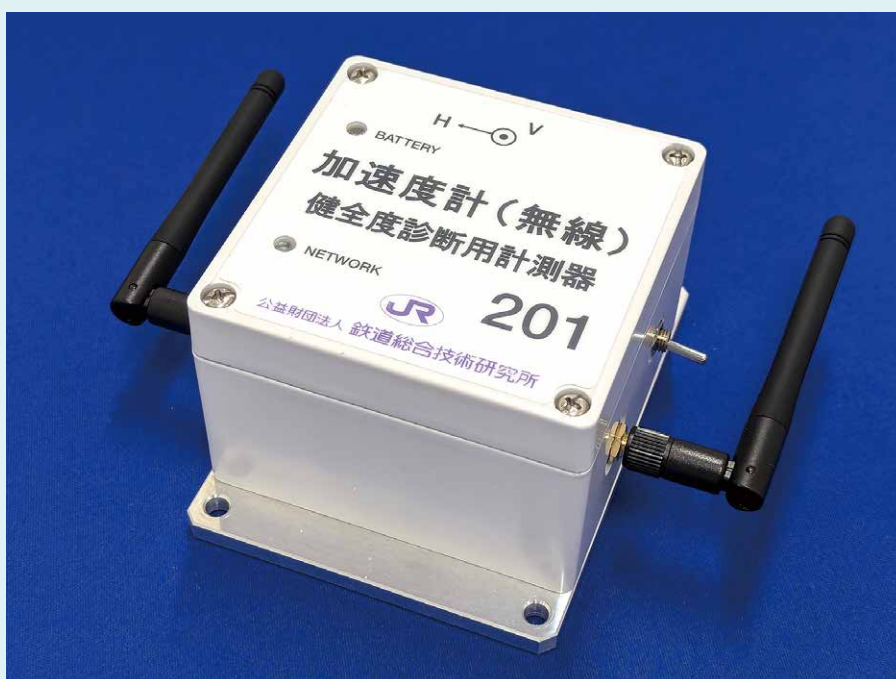


図1 IMPACTUSセンサー
寸法：115×90×66 mm（突起部除く） 質量：約0.9 kg

1. 開発の背景

橋りょう下部構造物の維持管理は、目視による検査が基本となりますが、通常地中にある橋脚の基礎部分は、直接目視できません。そこで、橋脚の頭部に重錘^{すい}などを用いて衝撃を与え、発生した橋脚の振動から固有振動数を推定し、健全度を評価する「衝撃振動試験」（[図2](#)）が広く行われています。

鉄道総研では、衝撃振動試験用の振動計測システムとして「IMPACT」シリーズを展開していましたが、橋脚の形状によっては、収録した振動波形の周波数解析結果にて位相のばらつきがあり、固有振動数の推定が難しいことがありました。そこで、さらなる精度向上を目的とし、高性能なセンサーを用いた、新しい計測システム「IMPACTUS」を開発しました。

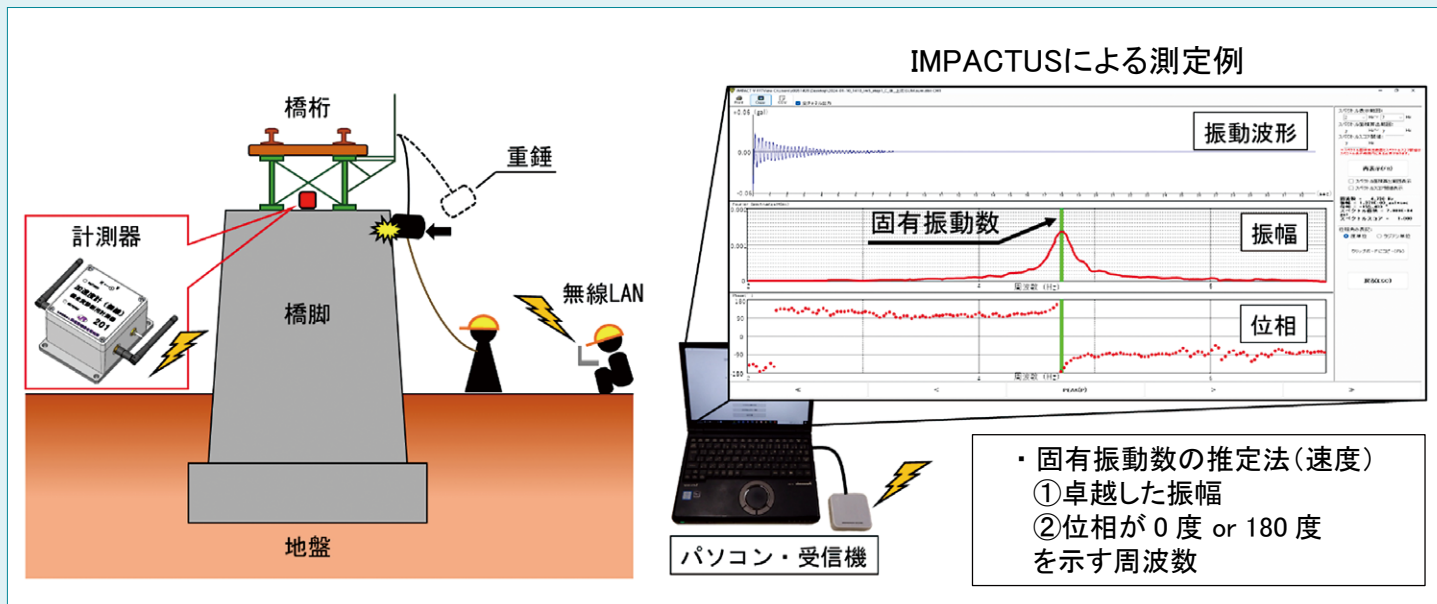


図2 衝撃振動試験の模式図

2. IMPACTUSの概要と効果

「IMPACTUS」用のセンサーとして新たに採用した加速度計は、従来の圧電型加速度計に対して、素子に水晶を用いたことで振動時のエネルギー損失や温度変化に伴う周波数変動が少なくなり、測定値の精度および再現性が向上しています。さらに測定された振動を直接デジタル変換することで高感度・低ノイズ性能を実現しました(図3)。また、この加速度計は460Hzまでの振動計測が可能であり、橋脚よりも固有振動数が高い土留め壁へも適用できます。

- 本計測システムは、センサー(図1)と解析プログラム(ノートPC)からなり、計測プログラムにて、センサーによる測定値のデータ数が自動で16384個以上(従来の2倍)となる処理を実装したことで、従来品よりも細かな波形表示が可能となりました(図4)。
- 従来は、センサー内に持たせていた積分機能を解析プログラムに実装することにより、従来のセンサーよりも小型(体積46%減, 重量60%減)となり可搬性と作業性が向上しました。

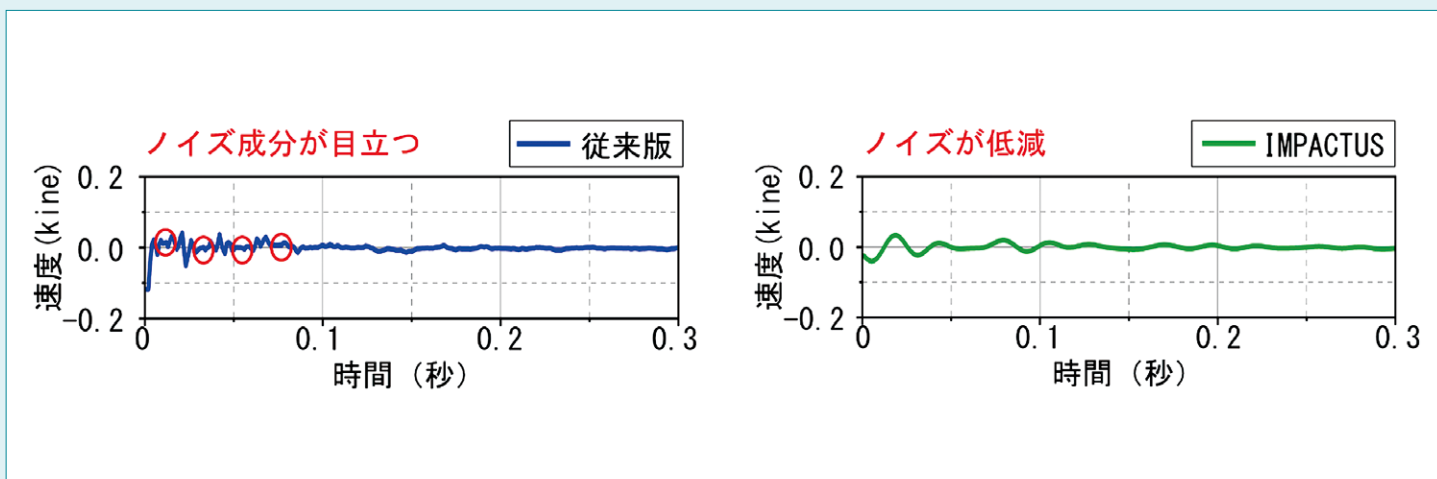
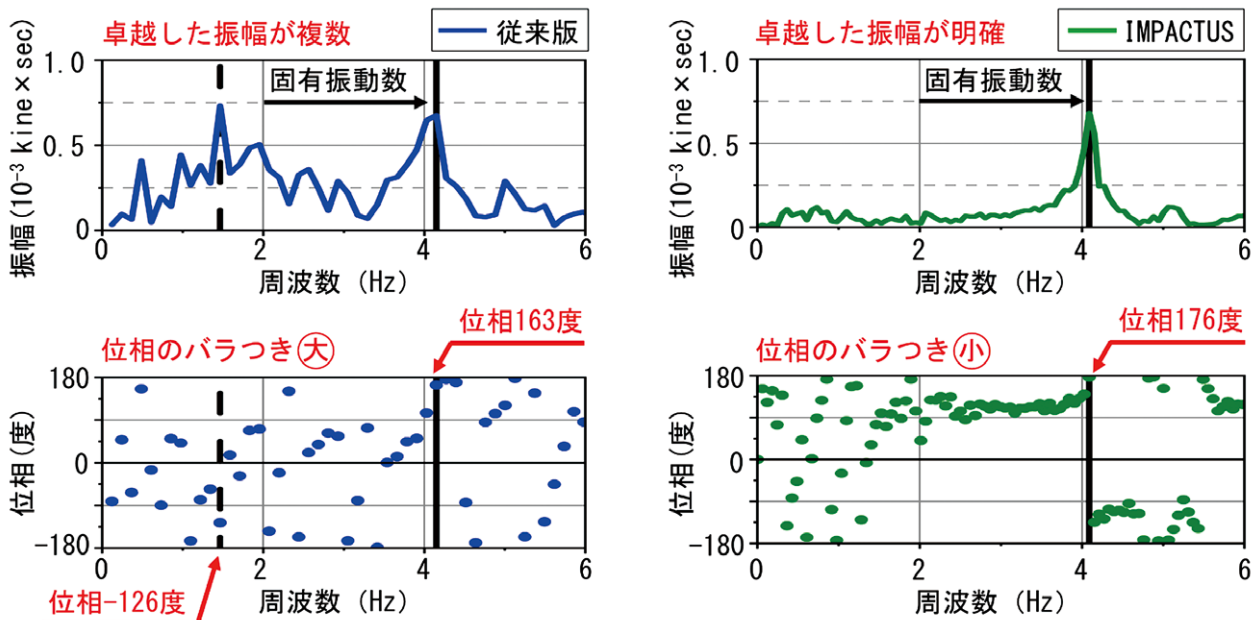


図3 振動波形収録時のノイズ低減効果比較(壁式橋脚打撃時の計測結果)



・卓越した振幅が2箇所あり、位相もバラついているため、どの周波数が固有振動数なのか決めづらい

・卓越した振幅が1箇所、かつ位相も180度に近い値を示しているため容易に固有振動数を決めやすい

図4 図3で収録した振動波形の周波数解析結果比較（壁式橋脚打撃時の計測結果）

3. その他

- IMPACTUSでは改良したセンサーにより分解能の高い計測ができることから、新たに洗掘による橋脚の振動モードの微細な変化を捉えることが可能となり、洗掘による支持地盤の流失範囲（図5のx）を基礎幅に対し±5.0%の精度で推定出来るようになりました（図5）。
- 新たな機能として常時微動計測時に、2方向計測（鉛直・水平方向）が可能となりました。追加ソフトのインストールにより、重錘による衝撃振動試験を実施することなく、常時微動計測から固有振動数を算定できるようになります（2025年7月販売予定）。
- 「IMPACTUS」は、2024年6月から販売を開始しました。

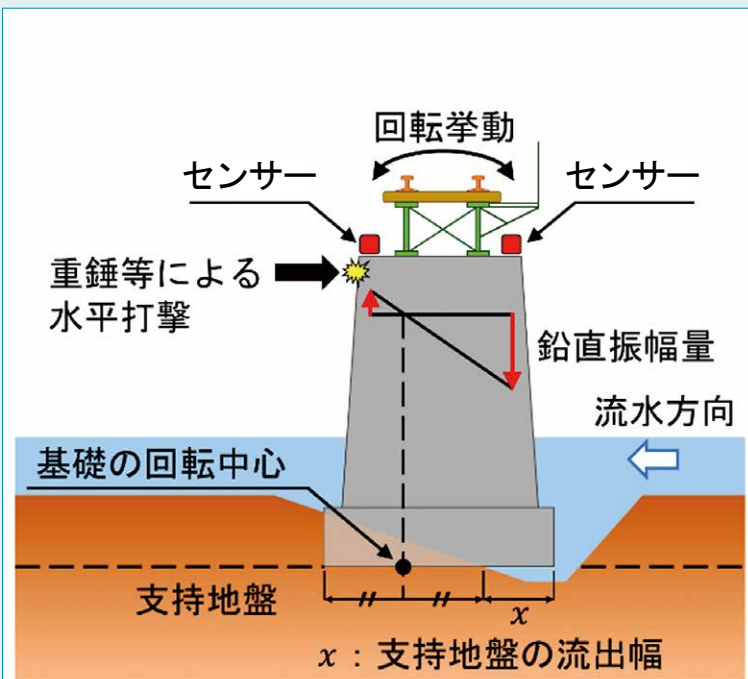


図5 支持地盤の流出範囲評価手法の概要図

運転曲線作成システム「SPEEDY」の追加機能として「閉そく割り検討機能」を実用化しました

公益財団法人鉄道総合技術研究所は、列車ダイヤ作成に必要な駅間運転時分を算出するうえで重要な情報である運転曲線を作成する運転曲線作成システム「SPEEDY」の追加機能として、「閉そく割り検討機能」を実用化しました。本機能により、新駅設置などに伴う線形改良や新線建設の際に検討が必要となる「閉そく割り」（閉そく区間の設定と信号機の配置）案の作成を大幅に効率化できます。

1. 運転曲線作成システム「SPEEDY」

駅間を走行する列車の変化する速度と走行位置との関係や走行時間の経過を表す曲線である「運転曲線」は、車両や地上設備、運転などに関する幅広い知識等を有する熟練の担当者が、時間をかけて作成していました。この運転曲線をもとに、駅間運転時分を算出します。

鉄道総研では、この作成作業の効率化を図るため、車両・設備のデータと基本的な走行条件を入力すれば、運転曲線を速やかに作成できるシステム「SPEEDY」(System for train PErformance Evaluation, Drawing and anAlysis)を1992年に開発しました。その後、継続的に機能向上を進め、現在では、列車ダイヤ作成に必要な運転時隔（先行列車との運転間隔）の算出にも活用されています。このたび、運転時隔が算出できる部分を発展させ、閉そく割り検討機能を開発しました。

2. 閉そく割り検討機能開発の背景

新駅設置や新線建設など、運行条件が大きく変化する際には、必要となる列車本数を確保できるように目標とする運転時隔（以下、目標運転時隔）を定めて、適切な閉そく割りを定める必要があります。

閉そく割りの検討では、信号機の配置

案をもとに、先行列車の走行位置に基づいて信号機のR（赤）・Y（黄）・G（緑）の移り変わりを示した図（信号現示系統）を作成し、これをもとに運転時隔を求めます。そして、この運転時隔が目標よりも短くなり、かつなるべく信号機数が少なくなるように信号機の配置案を繰り返し調整していきます（図1）。都市部の数キロ程度の区間に対する閉そく割り案を1つ作成する場合で、専門知識

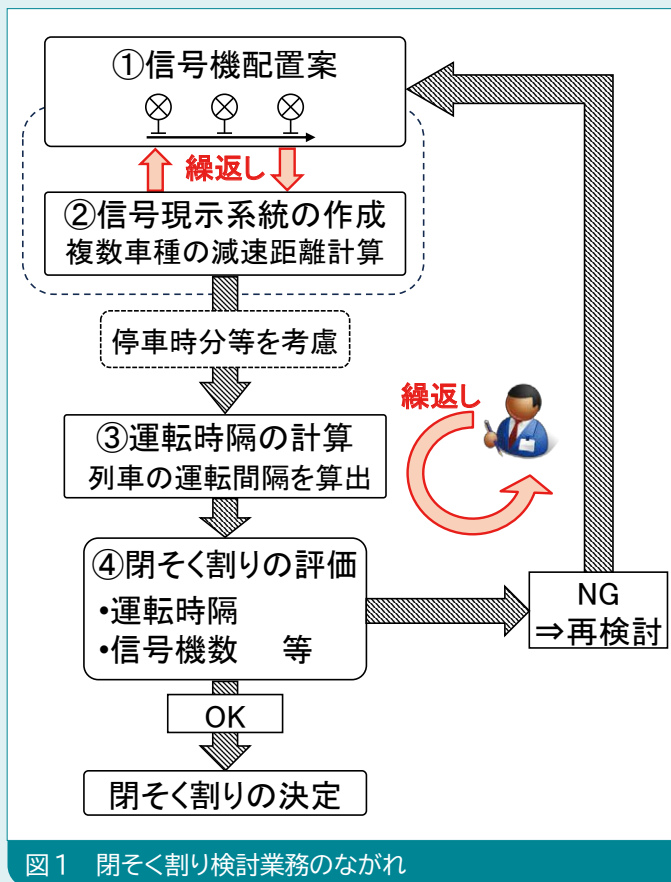
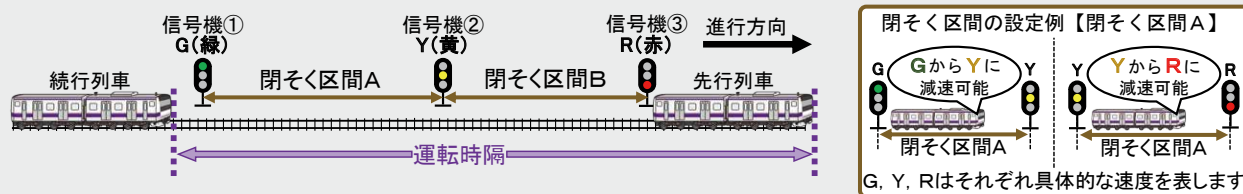


図1 閉そく割り検討業務のながれ

信号機の配置によって列車の運転間隔が決まり、この運転間隔を時間で表現した値が運転時隔になります。
 なお、閉そく区間は、信号機の色の変り変わり(信号現示の変化)に応じて減速できるように設定してはなりません。



参考【信号機の配置と運転時隔（先行列車との運転間隔）】

を持った担当者が2～3日間を必要とするなど労力を要していました。

そこで、閉そく割り検討作業の省力化と脱技能化を実現するため、閉そく割り案を迅速に検討できる手法を開発し、SPEEDYの追加機能として実用化しました。

3. 開発した閉そく割り検討機能の概要と特徴

本機能は閉そく割りの作成を支援し、迅速に評価・編集するものです(図2)。数十キロの路線長の場合、閉そく割り案の評価結果を数秒で出力できます。より適切な閉そく割りを決定するため、原案となる閉そく割り案に対し、信号機位置の微

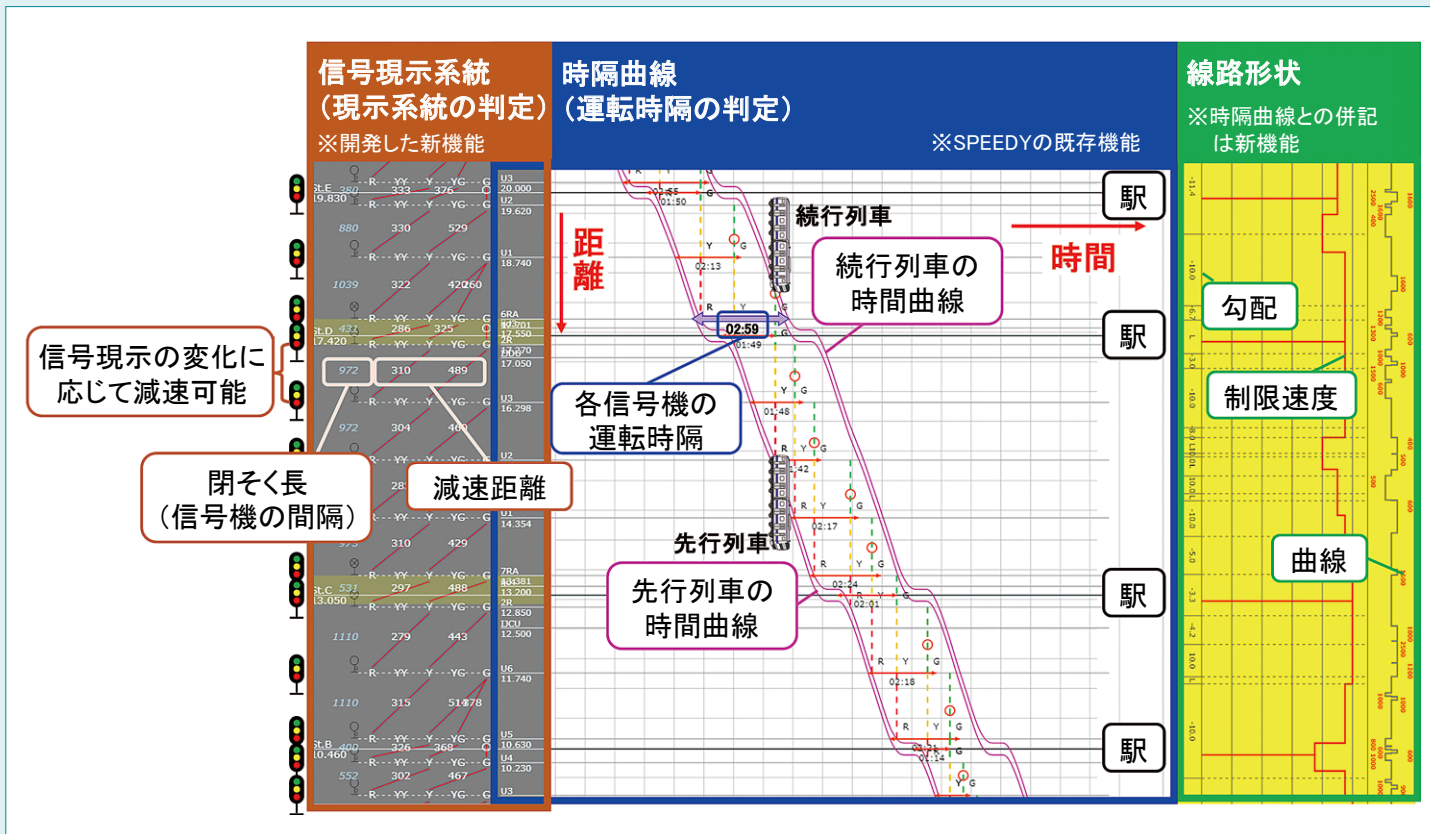


図2 閉そく割り検討機能 評価結果画面

調整などを行い、再度評価を行うプロセスを繰り返します。

本機能には以下の特徴があります。

- 信号現示システムの判定結果（信号現示に従って減速した場合に決められた速度を超過しないか）、運転時隔の判定結果（各信号機での運転時隔が目標運転時隔よりも短くなっているか否か）と線路形状を1つの画面上で確認できます（図2）。このため、判定結果を参考に信号機の追加、移設、削除や信号現示システムの変更・比較を容易に行うことができます。
- 信号現示システムの判定と運転時隔の判定では、車両条件（最高速度、加速性能など）および線路設備条件（勾配、速度制限など）、走行条件（各駅の通過または停車、使用する番線など）を、それぞれの判定に応じて個別に条件設定した運

転曲線を用いて行います。

- 信号現示が3現示（信号機の表示がR・Y・Gの3段階）の区間の場合、車両・設備のデータと基本的な走行条件等に基づき、指定した目標運転時隔を満たす閉そく割り案を自動的に提案できます（図3）。

4. その他

本機能はSPEEDYの追加機能として、株式会社ジェイアール総研情報システムから販売されています。

なお、開発品で用いた技術は特許取得済みです（特許第7329465号）。

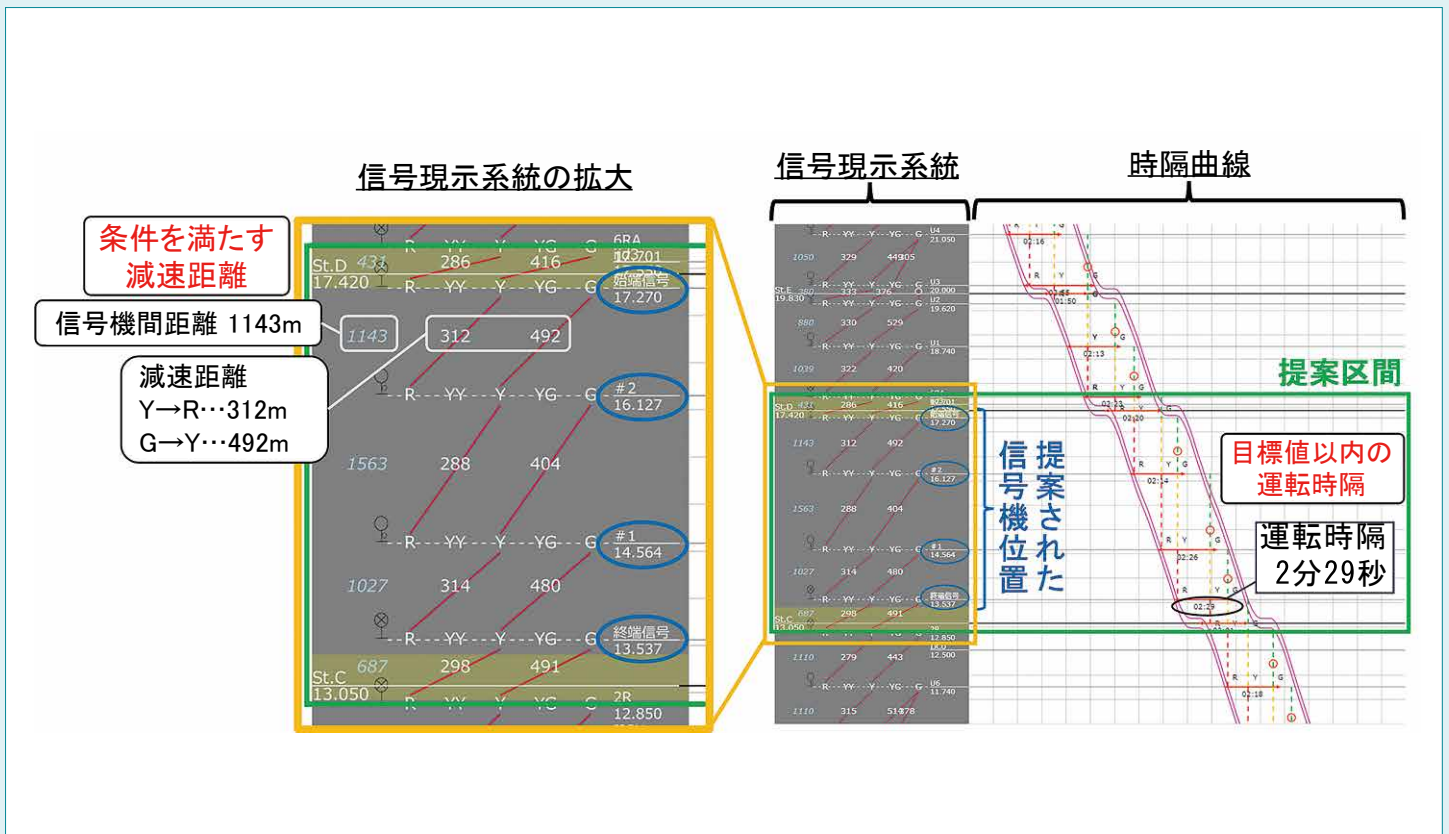


図3 閉そく割りの提案例（目標運転時隔を2分30秒とした場合）