

# さまざまなセンサーで 信号設備の検査を自動化する



前田 梨帆

Riho Maeda

情報通信技術研究部  
画像解析研究室  
研究員



長峯 望

Nozomi Nagamine

情報通信技術研究部  
画像解析研究室長



小井手 孝徳

Takanori Koide

情報通信技術研究部  
画像解析研究室  
研究員

## はじめに

信号設備の検査では、電気的な動作の確認だけでなく、外観や取付状態の確認など、さまざまな項目を点検する必要があります。現在は作業員が線路沿いを巡回し、目視や測定器を使って検査を行っていますが、長い沿線のすべての設備を確認するため、長距離移動や多くの人手を必要とするため効率に課題があり、作業負担が大きくなっています。

検査項目のうち電気的な測定については、すでに専用の検査車両（電気検測車）の導入が進んでいるほか、遠隔監視システムも開発されて、現地に行かずに検査を実施できる環境が整いつつあります。一方で外観検査などの目でみて判断する項目はいまだに自動化が進んでおらず、検査の効率化や人手不足への対応が課題となっています。

そこで本研究では、近年性能向上や小型化・低価格化が進んだカメラや各種センサー技術を鉄道分野に応用し、車両にこれらを搭載して走行しながら設備を自動的に測定・確認する検査システムの開発に取り組んでいます<sup>1)</sup>。高解像度化や高感度化が進んだカメラ，ならびに高精度かつ安定して距離情報を取得可能なセンサーの登場により，従来は人手による現地確認が必要であった設備検査を，走行しながら実施する

ことが可能となりつつあります。

本システムでは、走行中に収集した画像や距離情報をPCで確認できるため、現地に出向くことなく設備の状態を把握でき、検査作業の効率化や省力化が期待されます。本研究ではこうした検査の実現に必要なシステムの要件を整理し、その要件を満たすカメラやセンサーを選定しました。さらに、検査の自動化を見据え、取得データを解析するための要素技術の開発に取り組みました。

## システムの要件

信号設備の多くは線路内や線路脇に設置されているため、列車にカメラやセンサーを搭載して走行しながらデータを取得できれば、効率よ

表1 検査対象設備と項目

種別	検査対象設備	検査項目
信号設備	転てつ機 レール絶縁 装着電施設 信号機 特殊信号発光機 地上子 踏切遮断機 踏切制御子 レールボンド トラフ（沿線、軌間） インピーダンスボンド 沿線電話機	<ul style="list-style-type: none"> <li>・外観良否（破損、劣化など）</li> <li>・設置位置</li> <li>・傾斜</li> <li>・部品の脱落</li> <li>・異常な発熱</li> <li>・遮断桿の嵌合（踏切設備）</li> <li>・レールとの上下/左右離れ（地上子）</li> </ul>
建築限界	各種沿線設備	・建築限界支障有無

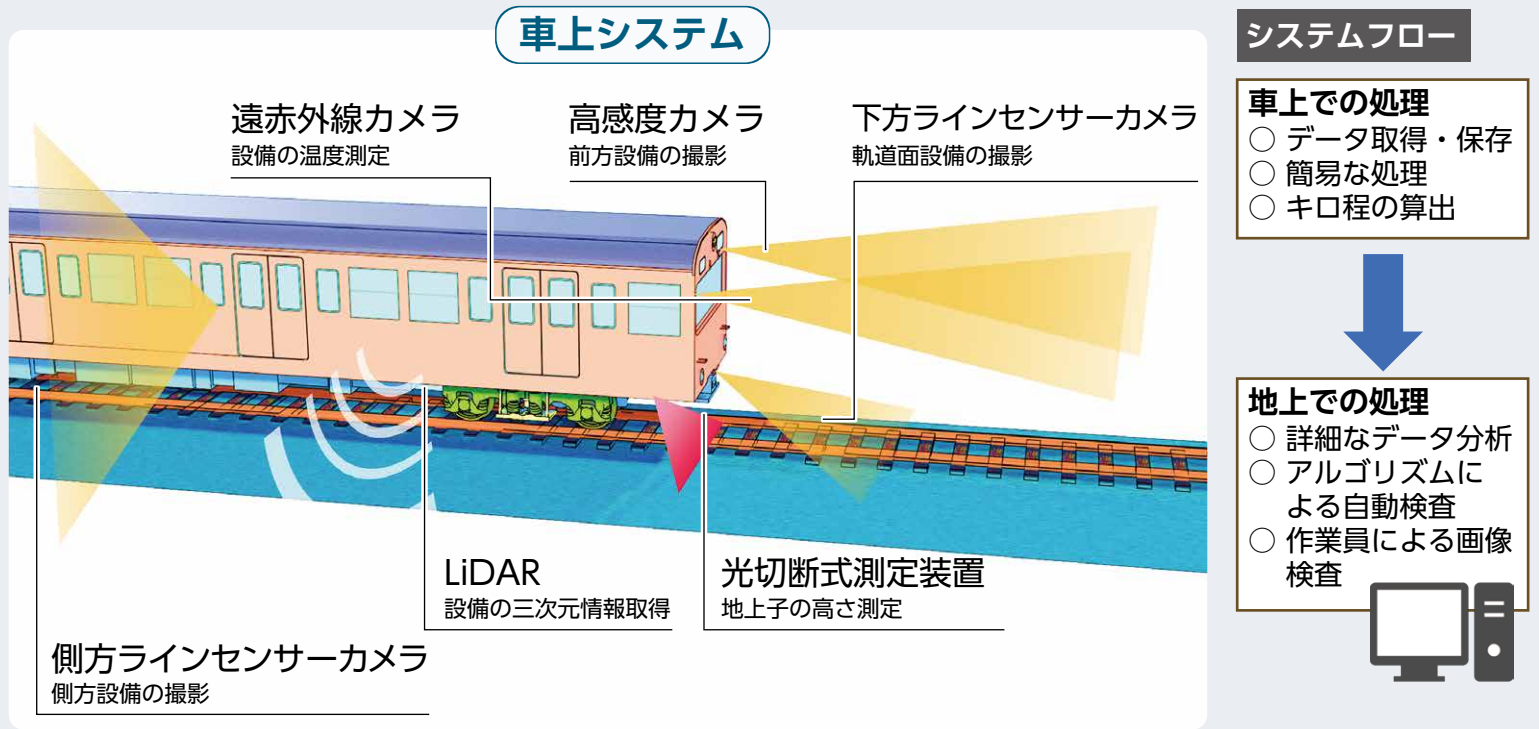


図1 信号設備の車上検査システムの構成図

く検査に必要な情報を集めることができます。そのため、本研究では走行中の列車から確認できる設備を検査対象としました。対象となる設備には、信号機や踏切設備、レールボンドなどを含んでいます(表1)。

しかしこのような設備は高さや設置位置がさまざまであることから、異なる方向を撮影できる複数のカメラやセンサーを組み合わせる必要があります。これらをすべての営業車両に搭載するのは現実的ではないため、本研究ではすでに検査目的で運用されている電気検測車に搭載することを想定しました。電気検測車には日中だけでなく、夕方や夜間など暗い時間帯に高速で走行しても安定して画像やデータを取得できる性能が求められます。

これらの要件に基づき、本研究では適切なカメラ・センサーの選定を行い、システム構成を設計しました。

## 提案システム

### 全体概要

本研究で提案するシステムの全体構成を図1

に示します。本システムでは車両の前方・側方・下方の3方向に、それぞれ目的に応じたカメラ・センサーを配置し、設備の状態を総合的に確認できるようにしています。

このシステムでは次の4種類のデータを取得できるようにしました。以降の節でそれぞれのデータの詳細を説明します。

種別	内容
可視光画像	設備の外観を確認するための画像
近赤外面像	夜間や暗所での撮影に適した画像
3次元点群	設備の位置や形状を立体的に取得したデータ
温度画像	設備の温度分布を表す画像

### 可視光画像

設備の見た目(外観)を確認するために可視光カメラを使用して取得します。列車の前面には周囲の状況を広く記録するためのカメラを設置し、夜間でも撮影できるように高感度なカメラを選んでいきます。図2に示すように、夜でも黒くつぶれたりノイズが発生したりせず、十分な明るさで撮影できていることがわかります。

また、車両の下向きにもカメラを搭載してい



図2 前方の夜間撮影画像の例

ます。ここではラインセンサーカメラ<sup>®</sup>と呼ばれる、細かな部分まで撮影できるタイプのカメラを使用することで鮮明な画像を得られるように工夫しています。これにより、ボルトの緩みやレールのサビや汚れなど、小さな変化も確認することができます。

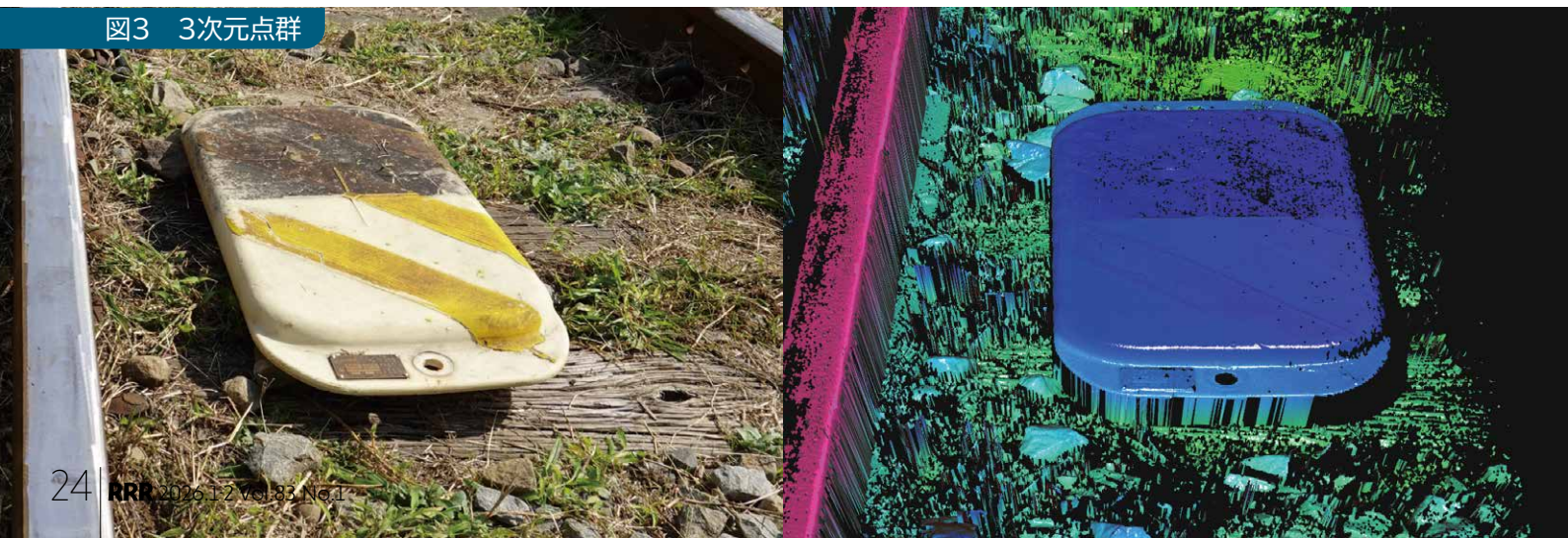
### ■ 近赤外線画像

一方で、設備の側面は前方のカメラだけでは十分に撮影できないため、横方向にもカメラを追加しました。カメラと同様に横方向に通常の照明を追加すると沿線周囲の人に影響を与えてしまうため、ここでは人の目に見えない特殊な

### ☞ ラインセンサーカメラとは？

一般的なカメラは、画像全体を一度に撮影するために光を受けるセンサー部分が長方形になっています。それに対して、ラインセンサーカメラは細長い1本の線状のセンサーで画像を取り込む方式になっています。この方式では、被写体を平行移動させ、線のような細い画像を連続的に読み取りながらつなげていくことで、最終的に1枚の画像を作ります。そのため、高速で動くものの撮影に適しており、列車のように走行しながらでもブレの少ない鮮明な画像を取得できるという特長があります。

図3 3次元点群



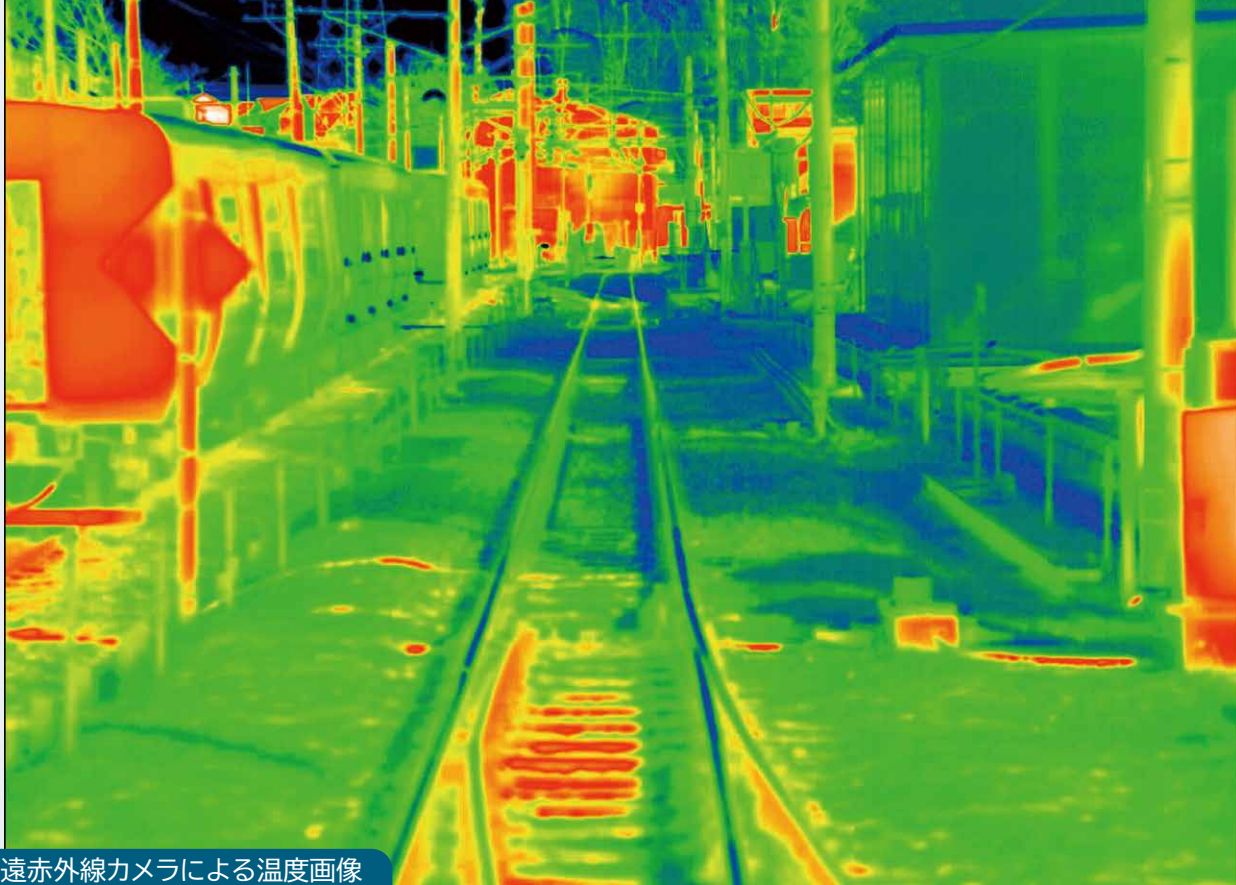


図4 遠赤外線カメラによる温度画像

照明を使い、周囲の人にまぶしさや迷惑を与えずに撮影できるよう工夫しています。この特殊な光を捉える専用カメラを用いることで、設備の側面の状態も撮影することができます。

### 3次元点群

設備の立体的な形や高さ、傾きなどを調べるために、本システムではLiDAR (ライダー) と呼ばれるセンサーを使用します。LiDARはレーザー光を照射して距離を測る装置で、これにより、列車の周囲360度の立体構造を計測し、設備が正しい位置に設置されているか、傾いていないかなどを確認できます。

しかし、例えば地上子<sup>1)</sup>のように1ミリ単位の高い精度で測定する必要がある設備には、LiDARだけでは精度が足りません。そこで、本システムでは列車の下向きに光切断式測定装置を追加しました。光切断式測定装置は、レーザーの光を細い線の形で照射し、その線が物体の表面でどのように変形するかをカメラで捉えて高さや形を測る装置です。レーザー光が当たった位置のずれを計算することで、物体の高

さや断面形状を高い精度で測定できるという特長があります。図3に示すように、レールや地上子を密度の高い点群として記録できています。

### 温度画像

設備の温度異常を確認するために、温度を画像として表示できる遠赤外線カメラを使用します。この遠赤外線カメラを列車前方に設置すると、設備が異常に熱を持っていないかを調べることができます。例えば、インピーダンスボンドなど電気が流れる設備は、故障の前兆として発熱することがありますが、このカメラを使えばその異常を早期に検知することができます(図4)。

### 地上子の位置測定

線路上に設置されている地上子は、列車側に搭載された車上子と連携して、位置や信号機の現示といった情報を伝える役割を持っています。この情報のやり取りには、コイルを使った電磁的なはたらきを使っています。地上子は列車制御に関わる重要な設備であり、設置位置がわずかにずれるだけでも運行に影響を与える可能性があります。そのため、地上子の位置は1ミリ単位の精度で厳密に測定・管理されています。

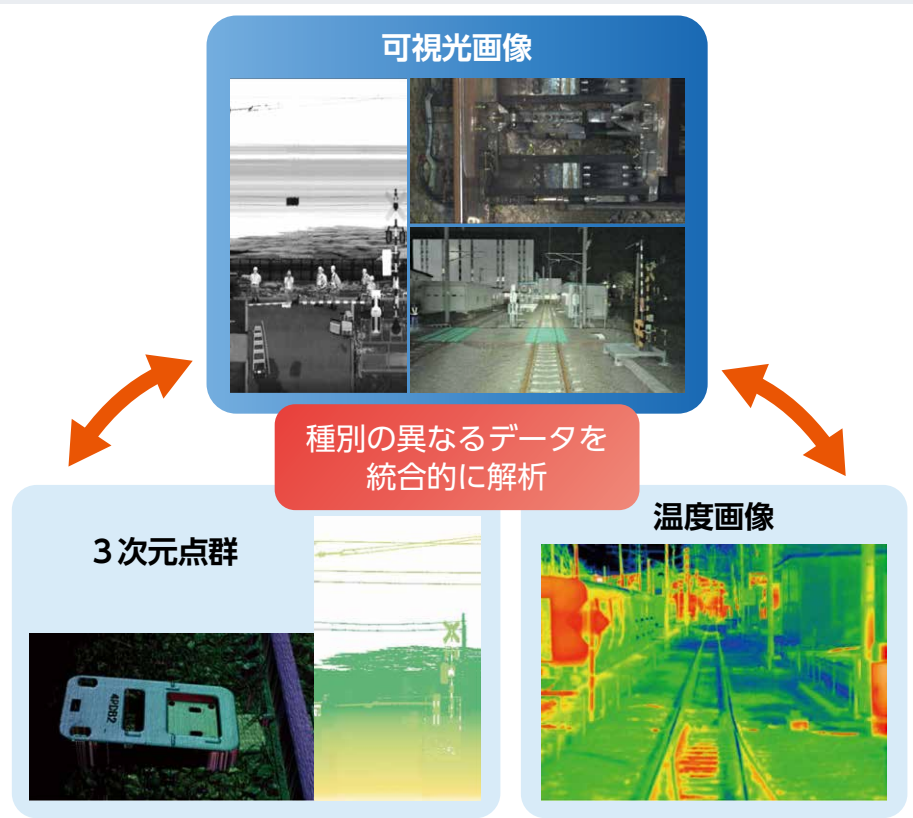


図5 取得データ連携の概念図



図6 列車前方面像に対する設備認識結果



図7 設備領域の抽出結果

## 検査自動化に向けた要素技術

カメラ・センサーで取得したデータを使ってさらなる検査の省力化を実現するためには、人の確認をできるだけ減らし、検査を自動化する仕組みが必要です。そこで、各データから総合的な分析ができるよう、[図5](#)に示すような、画像と3次元データ、温度データを連携するための以下の4つの要素技術を開発しました。

### 1. 設備認識

可視光画像に対して、物体を検出するAIを用いることで、信号機や踏切設備などの設備を自動的に見つけます([図6](#))。

### 2. 設備領域の抽出

認識された設備の画像から、背景を取り除き、必要な設備だけを切り出す処理を行います([図7](#))。これにより、設備の形に合わせた分析が可能になります。

### 3. 3次元情報による評価

画像で見つけた設備に対応する3次元点群データを使って、高さや傾き、位置のずれなどを分析します。これにより、設備が正しく設置されているかを測定できます。

### 4. 温度画像解析

可視光画像と対応づけた

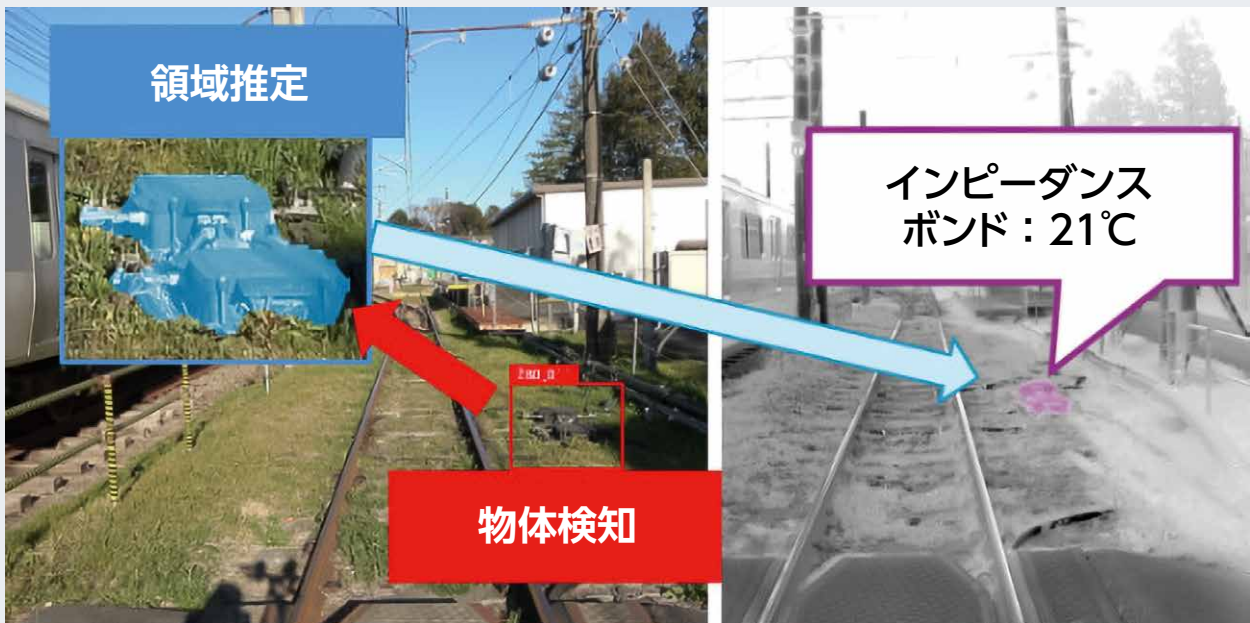


図8 可視光画像と温度画像を組み合わせた設備温度の測定例

温度画像を使い、設備ごとの温度を測定します。

実際にこれらの技術を組み合わせて、可視光画像と温度画像を組み合わせた設備温度の測定手法を開発しました(図8)。この手法では、まず設備を画像から認識し、設備部分の領域を抽出します。その後、4つめの要素技術である温度画像解析を使って画像どうしを対応付け、温度画像から設備部分の温度データだけを取り出します。このようにすることで、周囲の背景とは異なる設備本体の温度を正確に把握できるようになります。

### おわりに

本研究では、鉄道の信号設備の外観や取付状態の確認などの検査作業を省力化することを目

的として、車両にカメラとセンサーを搭載して検査を行うシステムを開発しました。このシステムを使うことで、1回の走行で設備の外観・位置・温度などの情報をまとめて取得できるようになりました。

さらに、検査の自動化に向けて、画像や3次元データ、温度データを組み合わせて解析するための要素技術の開発を行いました。その中で、異なる種類のデータを連携させることで、画像だけではわからない情報を補う検査手法を提案しました。

今後はシステムの実用化に向けて、さまざまな環境条件での性能を評価していきます。また、AIを活用して、部品の脱落のような異常を発見するアルゴリズムの高度化に取り組んでいく予定です。RRR

### 文献

- 1) 前田梨帆, 長峯望: カメラとセンサによる車上からの信号設備検査手法の基礎検討, J-RAIL, 2022