

「つなげる力」を先進化して 「つくる力」を強化する

日本製鉄は最新のデジタル技術を積極的に評価・導入することで、精度の高いデータに基づくプロセス制御・自動化によって「つなげる力」を先進化し、「つくる力」を強化しています。日本製鉄グループの製造現場への展開を視野に入れて積み上げられている製鉄所のDX知見を紹介します。



東日本製鉄所君津地区原料ヤード



自己給電型無線カメラ

無線カメラ × 鉄

原料ヤードの遠隔監視で生産ロスを防ぐ

長距離通信技術LPWAを活用する

鉄鋼製品の原料となる鉄鉱石や石炭は、オーストラリアやブラジルなどの海外から大型船で運ばれてきます。製鉄所の原料専用バースに大型船が到着すると、アンローダーと呼ばれる大型重機で荷揚げし、コンベアで原料ヤードへ運んで、山積みになります。蓄えられた原料は、さらにコンベアで運ばれて事前処理されたあと、高炉で還元され、溶けた鉄鉄となります。

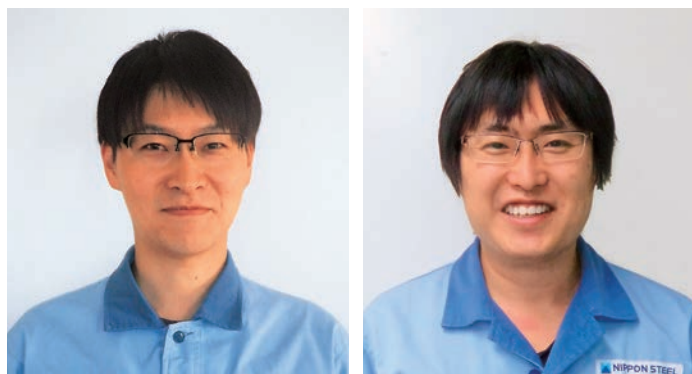
東日本製鉄所君津地区では数百本のコンベアが稼働しています。総延長は延べ約80キロメートルにも及びます。コンベアの乗り継ぎ箇所や終点箇所などでは、ベルトから落下した原料が堆積しがちです。コンベアの緊急停止による生産ロスを防ぐため、作業員が定期的に巡回し、堆積状況を目視で確認して、適宜落鉱を回収しています。その点検・監視業務の効率化を図るため、自己給電型無線カメラを開発しました。

ワイヤレスカメラで落鉱堆積状況を遠隔監視できるように、LPWA (Low Power: 省電力、Wide Area: 広域エリア) と呼ばれる無線通信技術を活用しています。原料ヤードは電気を供給する配線の設置工事が困難なため、太陽光発電とバッテリーの併用による完全自己給電型に設計しました(設備・保全技術センター システム制御技術部・深見慎太郎主査)

原料ヤードは粉じんが舞うため、装置の汚れや損傷が懸念されたものの、設置後に故障することなく、順調に稼働しています。また逆光や影などの影響により、

落鉱堆積状況の検知が難しいケースがあったものの、画像フィルタリング手法の強化などで自動検知を可能にしています。こうして定点観測した画像から落鉱高さを計測できるようになり、日々の定期的な巡回を省力化し、点検・監視業務の効率化に貢献しています。

「今回は現場のニーズを技術開発部門と共有し、点検・監視業務の効率化の可能性を見出すことができました。今後IoTやAIなどのデジタル技術を積極的に応用していき、東日本製鉄所のみならず、原料ヤードを持つ全社の工場で活用いただけるよう横展開にも努めていきたいと考えています」(東日本製鉄所・小林剛主幹)

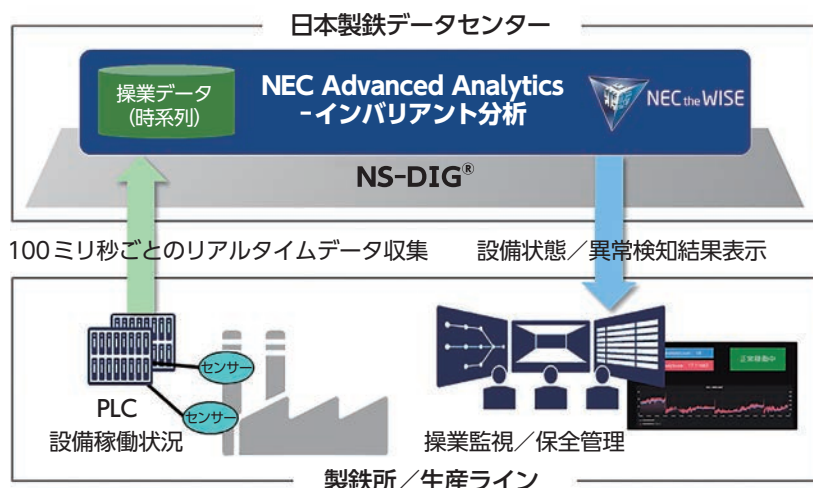


日本製鉄(株)
東日本製鉄所
製鉄部 製鉄技術室
小林 剛 主幹

日本製鉄(株)
設備・保全技術センター システム制御技術部
システムエンジニアリング室
深見 慎太郎 主査

AIによる製造設備の稼働監視が始まる

日本製鉄はAI開発・適用可能なプラットフォームNS-DIG®を整備し、安全操業への支援、予防保全による安定生産、品質向上などを推進しています。今回その一環として日本電気(株)(NEC)のAI技術を活用し、東日本製鉄所君津地区で設備状態のオンライン監視における長期間運用テストを2021年1月に開始します。熱延工場の各所に設置した500点の物理センサーから収集したデータを含む2,000以上の計測項目データをもとに、設備や装置の振る舞いをAIに学習させモデル化することで、トラブルを未然に防ぎ、設備点検・稼働監視の効率化を図ります。



PLC: Programmable Logic Controllerの略。制御装置。

リアルな仮想空間で新人技術者を教育する

360°映像で計装機器の仕組みを理解

日本製鉄には毎年、次代を担う新入社員が数多く入ってきます。4月から3カ月間、共通の新入社員教育を受けたあと、電気技術系の新入社員は仕事環境や職種についての理解を深めるため、千葉県富津市の技術開発本部REセンターで基礎教育の強化を図るE-IC（電気・計装・計算機）研修に参加し、技術者として必要なスキルを身につけていきます。

「E-IC研修は、今後の業務に深くかわる各種電気・計装機器の原理や使用方法、プロセス制御システムの仕組みを覚えてもらうことを目的としています。これまで計装の研修では模擬プラントを用いた実機動作確認や温度制御実習を行ってきました。これらは研修生の理解度を高めるものの、限られた研修期間のなかでは座学講義のなかで実機の動作や制御をいかに体験し理解してもらうかが大きな課題でした。そこで着目したのがVR（※）です。日本製鉄で実用されている温度計や圧力計、流量計をVRを通じて講義室で体感できるシステムをつくり、研修生の座学理解度をさらに高めたいと考えました」（設備・保全技術センターシステム制御技術部・柴本浩児主査）

例えば製鉄所の主要設備である高炉には、炉体の周りの温度やガスの圧力の状況を計測する計装機器が1000点以上も設置されています。高炉では、鉄鉱石とコークス（石炭を蒸し焼きにしたもの）

を炉頂から交互に装入し、炉の下部にある送風羽口から1300℃の熱風を吹き込むことで、コークスが燃焼して還元ガスが発生します。還元ガスは激しい上昇気流となって炉内を吹き上がり、鉄鉱石を溶かしながら酸素を奪っていきます。その温度は最高で2000℃にも達し、溶けた鉄は豪雨のように流れ落ち、炉底に溜まっていきます。このダイナミックな還元反応を安定して行うため、高炉操業において計装機器は重要な役割を果たしています。計装機器は転炉、連続铸造、圧延などの設備においても同様に設置されており、各種の知識は製鉄所の計装設備技術者に欠かせません。

「昨年度の研修生として感じた経験をもとに、今年の1月ごろからVRの適用を検討し始めました。VRは上下左右360度見渡せる特徴があるので、現場を歩く際に気づきにくい頭上や足元の機器を見せたいと思い、納得のいく映像が撮れるまで現場に何度も足を運びました。研修はグループに分かれて機器がどこにあるかを探してもらってから、講師より機器の解説や関連問題を出題する講義形式としました。計装機器は日本製鉄の工場の至る所に点在しますが、VRであれば移動時間もなく、かつ安全に複数の現場に行くことができ、使用環境や機器の様、外見の変化についても見せることができます。研修生からは『計装機器は

1つ1つ意味があつてこの形状になっていることがわかりました』などの感想も寄せられ、座学の理解度アップや集中力の持続につながるできたと思います。来年度以降の研修でも引き続きVRを上手に活用し、今後一緒に製鉄所を支える新人に計装機器の重要性和奥深さを伝えていきたいです」（設備・保全技術センターシステム制御技術部・岩田理彩スタッフ）



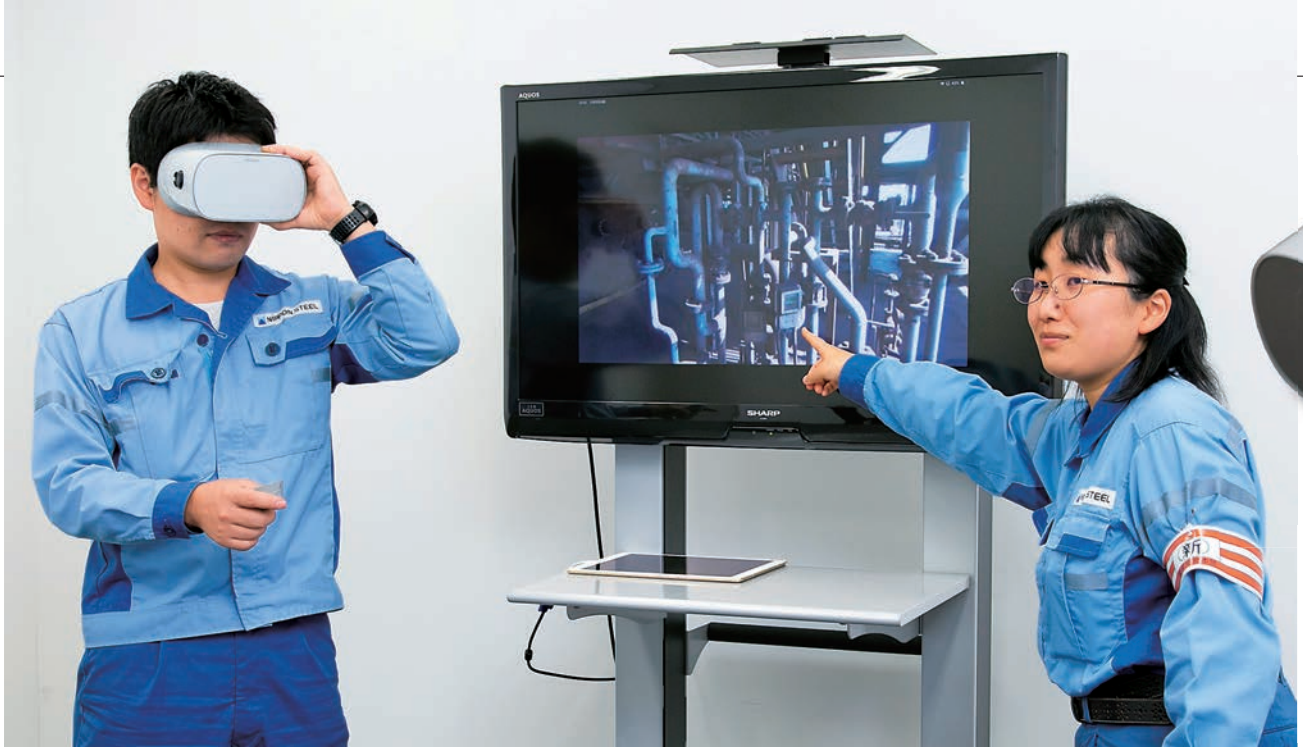
日本製鉄(株)

設備・保全技術センター システム制御技術部
計装エンジニアリング室
岩田 理彩 スタッフ

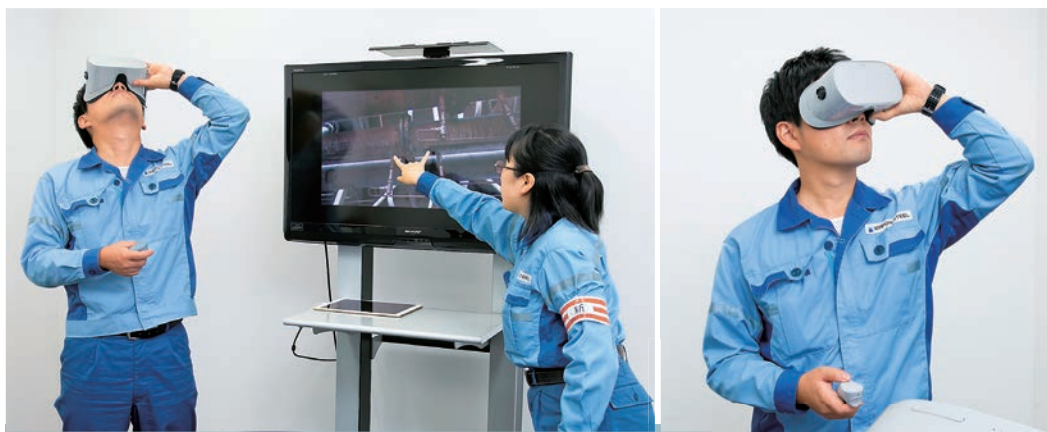


日本製鉄(株)

設備・保全技術センター システム制御技術部
計装エンジニアリング室
柴本 浩児 主査



VR映像をモニター投影することで、多人数に対して講義することができます。



見上げることで頭上の機器も見ることができます。



東日本製鉄所君津地区第4高炉
高炉には1000点以上のセンサーが設置されています。



スマート製鉄所化を加速する

自営無線網の適用検証を開始

DX実現の重要な技術の1つといえるのが、高速・大容量、低遅延、多数端末接続が可能となる5Gネットワークです。日本製鉄と日鉄ソリューションズ(株)は、北海道の室蘭製鉄所でローカル5Gを見据えた自営無線網の適用検証をスタートさせています。

ローカル5Gは、高速の無線網を自社専用に運用することで、容量無制限にデータ通信が行え、社外通信網を通らないことで外部へのデータ流出の心配がなく、高いセキュリティが確保できます。また製鉄所には高さ100メートルほどの高炉をはじめ大きな設備や工場建屋が数多くあり、公共無線では電波の届きにくい場所がありますが、自社で無線基地局を設置することによって、広い敷地内の隅々まで通信が可能になります。室蘭製鉄所ではローカル5Gの免許申請に向け、現行の4Gを使った適用検証に2020年8月から着手しました。

「高炉で鉄鉱石からつくられた鉄鉄を運ぶトビードカーをけん引するディーゼル機関車の遠隔運転を想定し、搭載した高精細4Kカメラの映像の伝送・分析や、高精度測位(RTK(Real Time Kinematic)測位)の適用による車両位置の精度向上など、実用化に向けた技術課題の洗い出しを行っています。検証地に室蘭製鉄所が選ばれたのは、敷地面積が433万平方メートル(札幌ドーム約79

個分)で実験に適切な規模であることと、高周波帯を使う5Gは雪や雨の影響を受けやすいと考えられるので自然環境の厳しい場所であることも理由です。

ローカル5G周波数帯の免許申請は2020年末に予定されています。それに先駆けて、日本製鉄は4Gの自営無線網における事前適用検証を行うことで、迅速な5G化を図りたいと考えています。今回ディーゼル機関車を対象としたのは、5Gの特長である大容量・低遅延を検証するには動画のモニタリングが最適であること、通信品質を検証するためには移動体が良いこと、鉄路を走るディーゼル機関車の遠隔操作は比較的難易度が低く実現性があることがあげられます。特に人手不足が課題となっている輸送現場での作業の効率化、さらに将来的には無人運搬の実現も見据えています。

ローカル5Gの自営無線網は、デジタルツイン化、スマートファクトリー化を通じて、製造現場のDXを間違いなく推進してくれる技術だと確信しています。製鉄所のなかでそれを価値あるものとして活かせるようにしっかり検証していきます。そして室蘭で得られた知見が、日本製鉄の他製鉄所やグループ各社の製造現場にも展開され、競争力のさらなる向上につながるように頑張っていきたいと考えています」(室蘭製鉄所・桐石俊幸室長)

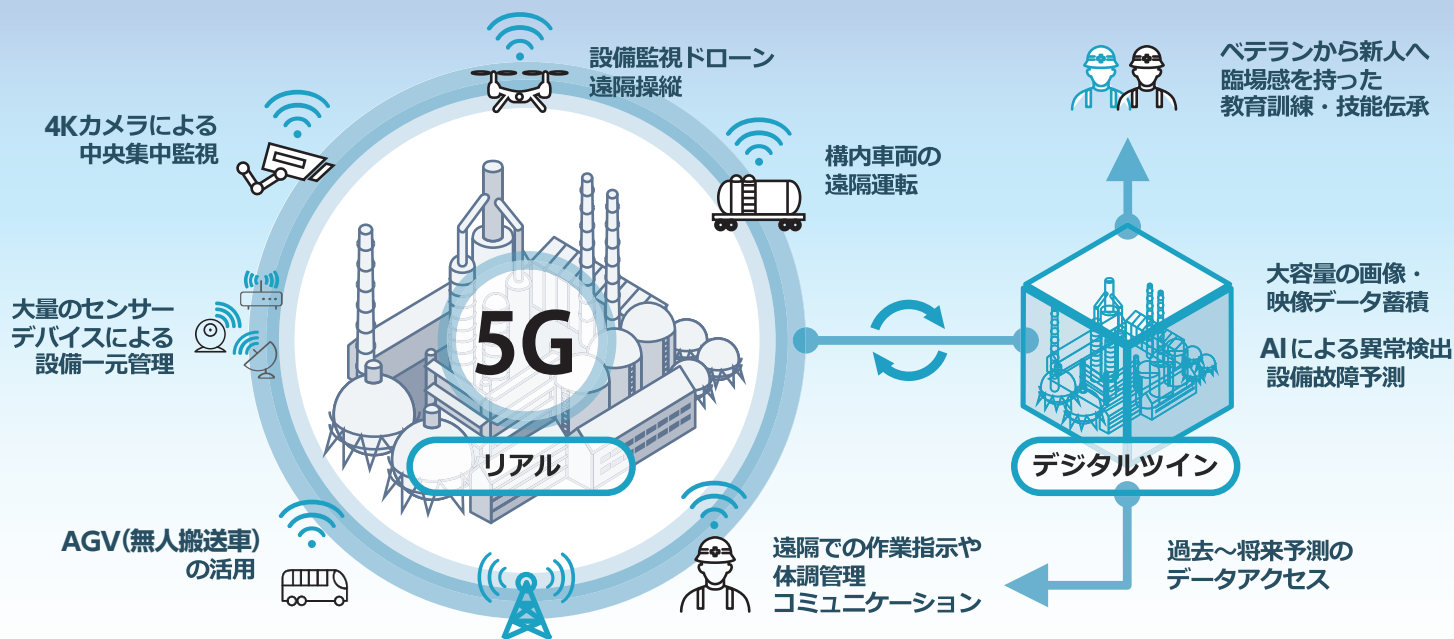
通信システムの歩み

世代	年代	変化
1G	1980年代	自動車電話やショルダーフォンなどに採用
2G	1990年代	携帯電話でメールやインターネットが使えるようになる
3G	2000年代初め	モバイルネットワークやスマートフォンの登場
4G	2012年	スマートフォンを一気に高機能化させる
5G	2020年	超高速・大容量化でIoT時代のコミュニケーションツールへ

「G」という記号はGeneration(世代)の頭文字で、無線データ通信網の技術革新を表したものとと言えます。現在さらに世界中の研究機関が6Gの2030年商用化に向けた研究開発に挑んでいます。通信領域は海や空、宇宙にまで広がり、遠隔地にいる人を3D映像として別の場所に移動させることもできるようになります。技術革新がより豊かな暮らしや社会を実現していきます。



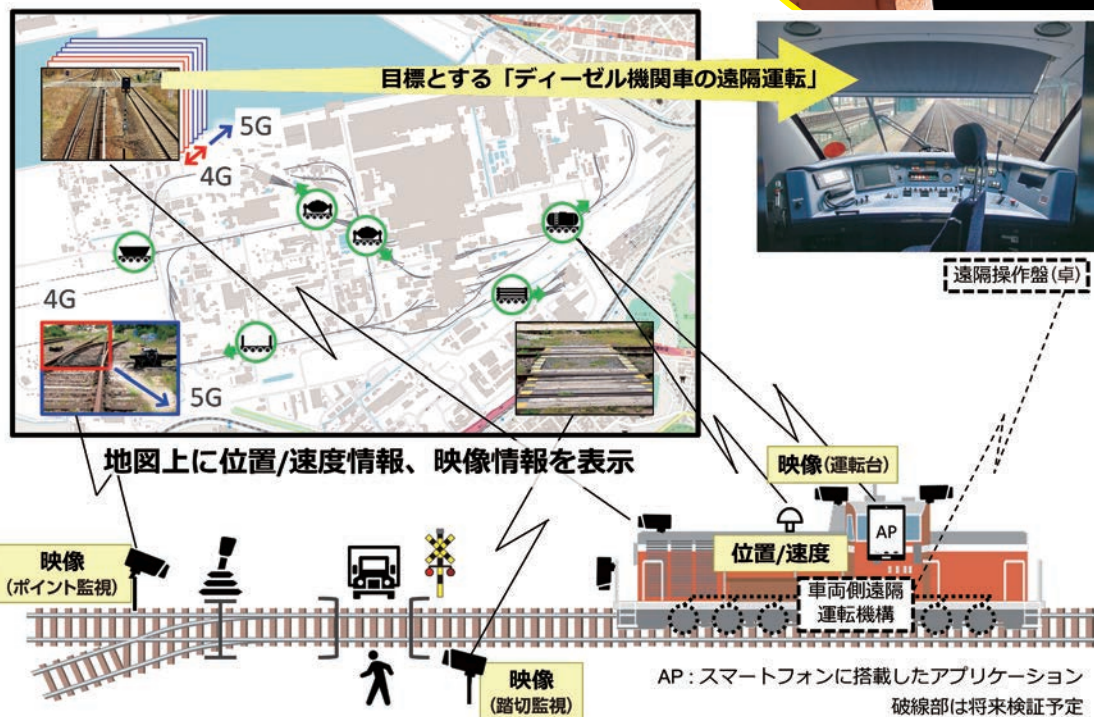
日本製鉄(株) 室蘭製鉄所
生産技術部 システム室
桐石 俊幸 室長



ローカル5Gを活用した製鉄所像



高精細4Kカメラ搭載のディーゼル機関車



室蘭製鉄所における4G自営無線網の適用検証イメージ

物流のさらなる効率化に挑む

LoRaWAN™を用いた通信基盤と IoT機器を組み合わせたシステムの構築で、鋼片台車を見える化する

高炉でドロドロに溶かされた鉄鉄は、製鋼工場に送られ、強靱な鋼につくり込まれます。工場で作られた半製品のスラブやブルーム、ビレットは、最終製品別にそれぞれ加工するため次の工場に運ばれます。一部の鋼管製品については、ブルームを圧延加工してビレットにするため、ディゼール機関車を使い鋼片工場に運ばれていきます。

「関西製鉄所和歌山地区では1日約3000トンにのぼるビレットを30台の搬送台車に載せて運んでいます。これまで搬送量が増えてくると、空き台車の位置がわからずフル活用できなかったため、稼働率や運用効率などの課題を抱えていました。そこで、GPS機器を台車に取り付けて位置情報を把握する仕組みが構築できれば稼働率が高まると考え、LoRaWAN™を用いた通信基盤の構築による鋼片ビレット台車の見える化に取り組みました。また今回の場合、容量の通信は不要であるため、その面でもLoRaWAN™を採用しました」(関西製鉄所・原田吉規スタッフ)

LoRaWAN™とは、LPWA(Low Power: 省電力、Wide Area: 広域エリア)と呼ばれる無線通信規格の1つで、4Gや5Gなどのセルラー通信に比べて消費電力や運用コストが低く、Wi-Fiと比べて数キロに及ぶ長距離通信を可能にする特徴があり、甲子園球場123個分という広域な範囲を持つ和歌山地区を、

少ない基地局でカバーすることができ、通信セキュリティ面においても、無線局免許が不要な通信規格のため自社で通信基地局(ゲートウェイ)を設置でき、製鉄所内に制限した通信基盤環境のもと機密性の高い収集データを安全に活用することができ、

一方、LoRaWAN™の基地局の設置には1つ課題がありました。製鉄所内には高さ100メートルの高炉をはじめ、さまざまな工場建屋があるため、電波が届きにくい場所があったのです。そこで電波状態を詳細に調べ、数力所の通信基地局を設置することで、所内全域をカバーすることができました。これまで物流事務所以外の職場で鋼片ビレット台車の位置や稼働状況を把握することは困難でしたが、今ではパソコンやスマートフォンから誰もが情報を共有できるようになり、稼働率を30%向上させることができました(図1)。

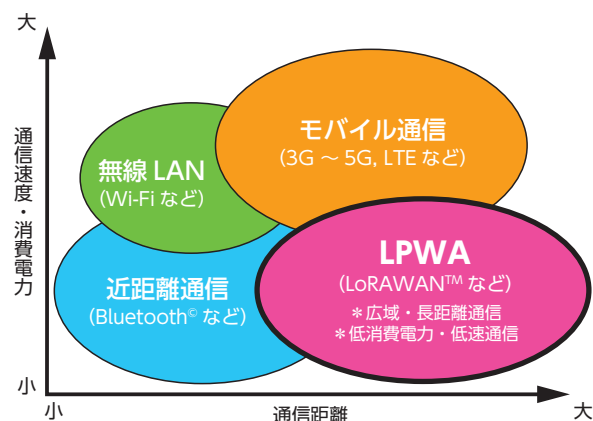
「全長100キロメートルにも及ぶ鉄道レールが敷設されている和歌山地区では、鋼片台車のほかにもスラブ・ブルーム台車、高炉から溶けた鉄鉄を運ぶトーチカーやこれらを運ぶディゼール機関車を合わせ約500台への適用も進んでいます。LoRaWAN™は、その特性から広大な敷地を有する製鉄所では非常に有効な技術であり、製造現場への適用をさらに進めていきます」(デジタル改革推進部・小嵐慶一 上席主幹)



日本製鉄(株)
デジタル改革推進部
小嵐 慶一 上席主幹



日本製鉄(株) 関西製鉄所
生産技術部 システム室
原田 吉規 スタッフ



LPWAの位置づけ



鋼片ピレット台車へのGPS機器取り付け状況



トーピードカー



ディーゼル機関車



スラブ台車

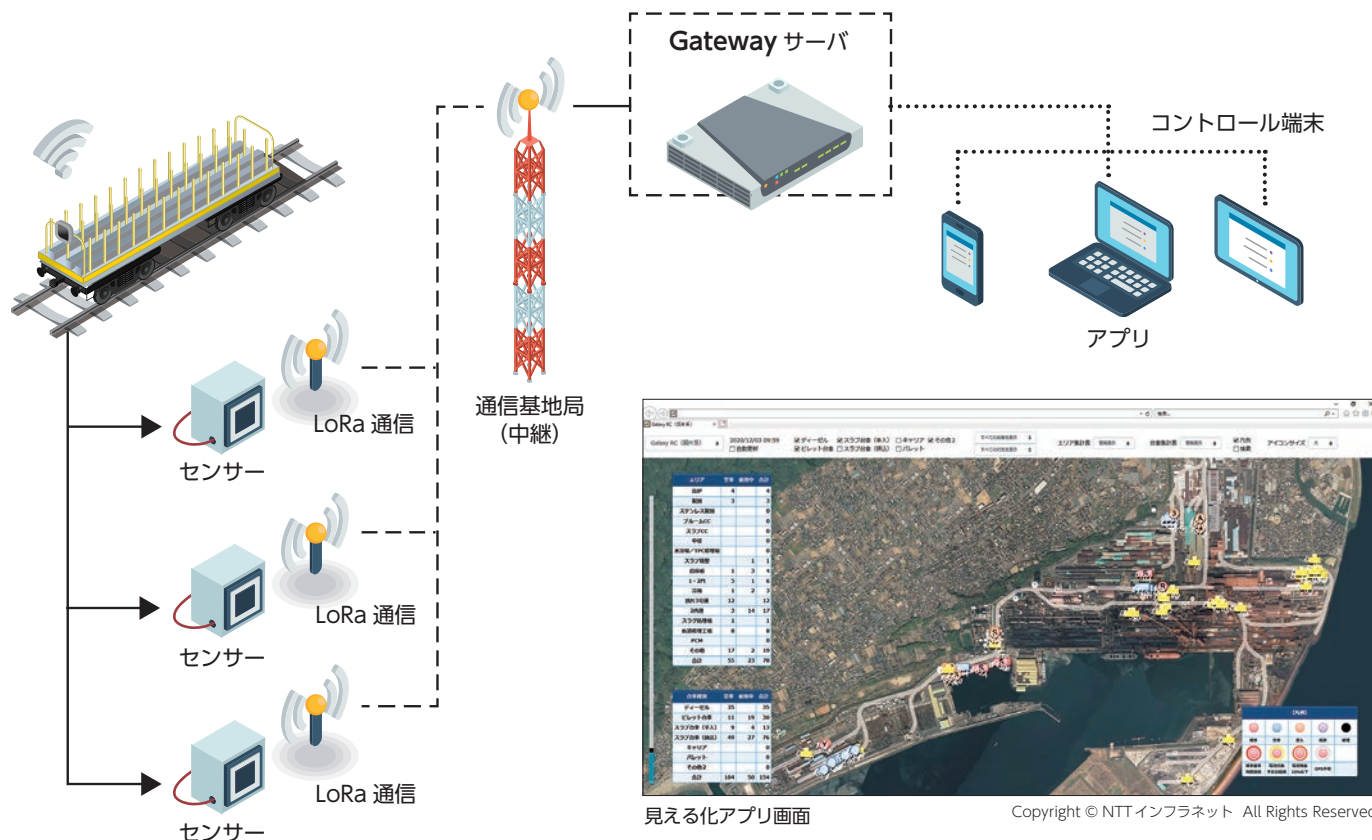


図1 鋼片ピレット台車の見える化システム構成

台車に取り付けたIoT機器のGPS位置情報を通信基地局で受信し、線路地図上に台車の位置表示と稼働情報を表したアプリケーションを構築することで、台車のリアルタイム管理が可能になりました。

薄板コイルの品質を向上する

緩衝材の配置や欠落の状態を AI に学習させる

自動車、洗濯機、冷蔵庫(電化製品)、鋼製家具、飲料缶や缶詰などに使われる薄板は、厚さ250ミリの鋼片を複数の圧延機で0・15～3・20ミリ程度まで薄く押し延ばし、コイル状に巻き取っています。薄板コイル1梱包の直径は60～150センチメートルほど、重量は5～20トンにもなります。完成した薄板コイルは工場から倉庫に運び込まれ、クレーンで段積みし、自動搬送されて、次の活躍の場に向かうべく出荷を待ちます。

「薄板コイル同士が直接接触するとキズや凹みができるため、薄板コイルの間に樹脂の緩衝材を挟んでいます。しかしクレーンで段積みをする際、緩衝材がずれたり欠落したりするケースが稀にあります。これまで、作業者を定期的に巡回させ、目視で緩衝材の欠落によるコイルのキズや凹みを確認・検査してきましたが、死角で見えづらくともありました。定量的な把握も困難であったため、コイル同士の接触前に緩衝材の欠落を自動検知する仕組みをつくれなかと考えました」(名古屋製鉄所・園田貴之(主査))

緩衝材のずれや欠落を検知する仕組みとして、最初にレーザースキャンやードタグによる無線読み取り、画像処理の3つの方式を検討しました。レーザースキャ

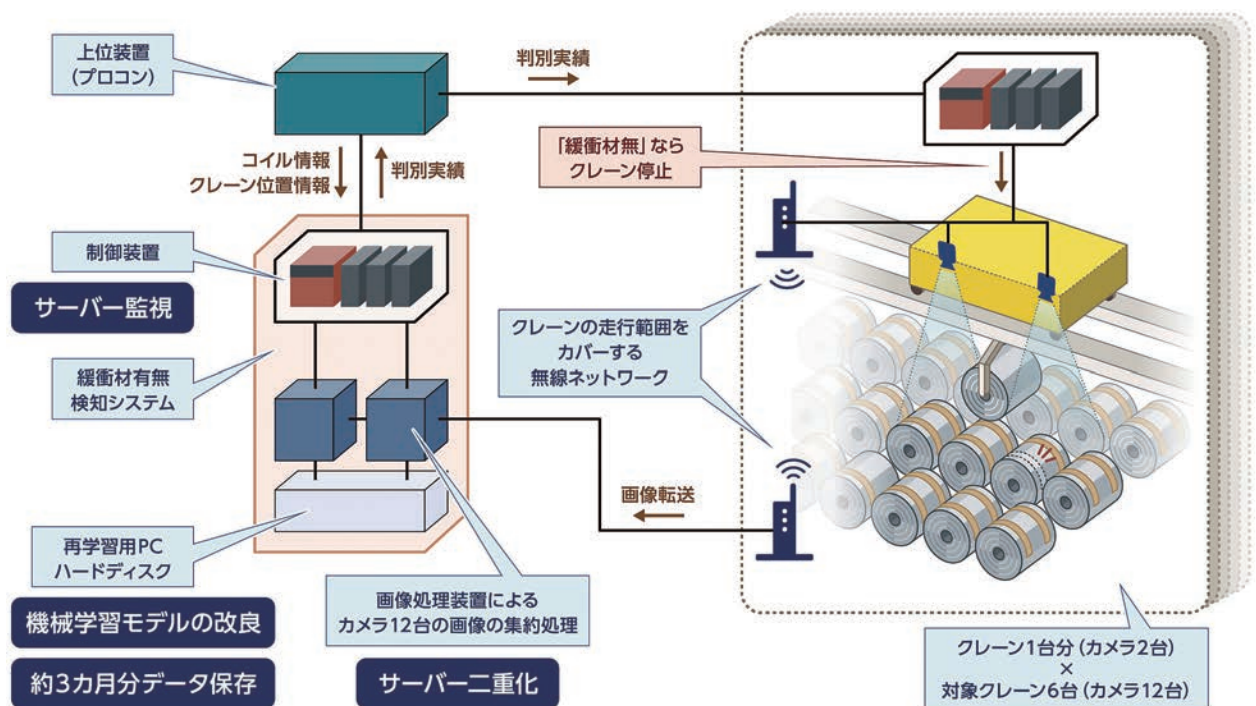
ン方式は緩衝材の厚みを検知して判別する仕組みですが、梱包のシワやバンドの厚みが妨げとなって正確な判別が困難でした。また、ードタグによる無線読み取り方式は、梱包ベルトにードタグを埋め込んで読み取り機で判別する仕組みですが、段積みしているほかのチップを誤認するケースもあり精度の面で納得いくものではありませんでした。

そのなかで最も検出精度が高いと考えられたのが画像処理方式でした。しかし、場所によって照明の明るさや色が異なること、コイルの大きさに複数の種類があること、緩衝材の種類も多岐にわたることなど、さまざまなケースに対応しなければなりません。そこで着目したのが、AIでした。ディープラーニング(深層学習)技術を使って、緩衝材の配置や欠落状態の特徴を何パターンにもわたりAIに学習させました。

まずはAIに画像認識させるため、クレーンにカメラ1台を設置して検証を行いました。しかし、カメラの画角によって対象外の薄板コイルなど不要な情報が入り、学習の精度を上げることが難しいことがわかりました。さらに、時によって薄板コイルの段積み高さや寸法が異なることから、カメラの画角を都度調整す

ることが難しく、画像を単純に入力するだけでは効率的に学習精度を向上できなかったことに加え、緩衝材の欠落状態を示す画像は極めて多岐にわたり、すべての状態を網羅することも不可能でした。そこで、撮影した画像から学習させるだけでなく、デジタル加工でデータを数十倍に増やすことによって、1万種類以上の画像を用意しました。それらのデータをAIに学ばせた結果、事前シミュレーション上においては、緩衝材有無の識別率はほぼ100%を実現する画像認識の基盤を構築しました。

こうした実証を経て、薄板コイルを運搬する6カ所のクレーンにそれぞれ2台ずつカメラを設置し、撮影した画像を無線で1台のサーバーに送って集約処理をする緩衝材有無検知システム(図)が完成しました。システム稼働以降も、正確な判定の妨げとなる未学習の状態がありましたが、学習モデルを改良することで、緩衝材欠落状態の検出率は現在80%に達しています。一方、緩衝材が配置されているのに欠落と判定してしまう過検出が増え、ラインを止める回数が増え、生産性が落ちてしまいましたが、過検出率は0・02%に抑えることに成功しました。



緩衝材有無検知システム

NEC のRAPID 機械学習を採用し、AIに緩衝材の配置や欠落の状態を学ばせ、薄板コイル同士が接触する前に緩衝材の欠落を自動検知する仕組みを開発しました。



日本製鉄(株) 名古屋製鉄所
設備部 制御技術室
園田 貴之 主査

「画像認識の仕組みの開発に1年弱かかりましたが、実装自体は10カ月という短期間で実現できました。ディープラーニングのメリットは、データが増えれば増えるほど精度が向上する点にあります。しかし、間違ったデータや不要なデータを学習すると逆効果になってしまいます。私たち運用サイドがディープラーニングの特性を理解するとともに、継続的かつ容易に学習モデルをレベルアップできる環境をつくることが重要です。今後も、日々蓄積していくデータや新たなアイデアによって検出率のさらなる向上を目指しています。これからも最先端技術を駆使して生産現場の課題解決を進めていきたいと考えています」(園田主査)