

(論文)

加古川製鉄所の溶銑機関車衝突警報システム

Collision Warning System for Locomotives Carrying Molten Pig-iron in Kakogawa Works



岩谷敏治*¹ (博士(工学))
Dr. Toshiharu IWATANI



桂 寛*²
Hiroshi KATSURA



田村昌弘*²
Masahiro TAMURA

This paper describes a collision warning system for locomotives that carry molten pig iron in the Kakogawa Steel Works of Kobe Steel. This system comprises a process computer that stores the positional information for locomotives, determined by the GPS, along with their railroad track information in order to generate warnings. The railroad tracks laid in the steel works are more complicated than those of railroad companies and may cause various types of collisions. Hence, the railroad tracks were represented in a computer on the basis of graph theory to establish an algorithm for predicting collisions accurately and quickly. The newly developed warning system has been utilized continuously, promoting the safety of locomotive operation.

まえがき = 本稿では、当社加古川製鉄所の溶銑地区を走行する機関車の安全強化のために構築した衝突警報システム（以下、本システムという）について述べる。溶銑地区の全機関車にはGPSが搭載されており、位置計測が可能である。また、運転者は専用の携帯端末を携帯しており、無線LANによる種々の情報伝達が可能となっている。機関車の衝突回避はこれまで、運転者の目視に基づく注意に依存していた。本システムの開発では、上記の情報設備を活用することで、より安全な機関車運用の実現を目的としている。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、1章では溶銑地区の機関車物流の概要と、その記号による表現方法、そして、機関車の衝突回避問題（以下、本問題という）の重要な対象となる2種類の衝突について述べる。2章では各種乗物の衝突防止技術を紹介し、自動車や航空機用の衝突防止技術が本問題には容易には適用できないことを示す。3章では、一般の鉄道に適用されている列車制御装置と比較することで、本問題特有の課題2点を紹介する。最後の4章では、課題の解決方法と実現したアルゴリズムを示す。

1. 加古川製鉄所溶銑地区の機関車物流

1.1 対象物流の概要

当社加古川製鉄所においては、高炉から出銑された約1,500℃の溶銑はトビードカー（以下、トビードという）に装入され、ディーゼル機関車によって溶銑処理工場などに搬送される。溶銑処理工場で溶銑鍋に移し替えられて空となったトビードは、排滓（はいさい）、地金取り

などの整備を経て高炉に回送され、溶銑装入が繰り返される。溶銑搬送が行われるエリアを溶銑地区と呼ぶ。

図1に溶銑地区で行われるプロセスの概要を示す。溶銑搬送時間はエネルギーコストや鉄鋼の歩留りに影響するため、物流効率化は重要であり、さまざまな施策¹⁾が試みられている。しかし、万一の事故による溶銑漏洩（ろうえい）の被害は甚大となるため、効率化の大前提として安全確保が最重要である。

溶銑地区に敷設された機関車軌道は総延長約25km、合流・分岐点（以下、分岐という）は約100箇所ある。走行する機関車の速度は10km/h未満であり、一般鉄道に比べて低速である。

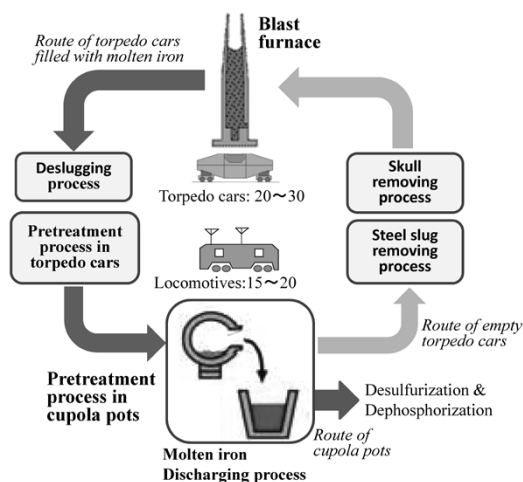


図1 溶銑地区の概要

Fig. 1 Outline of area for molten iron treatment

*¹ 技術開発本部 生産システム研究所 *² 鉄鋼事業部門 加古川製鉄所 制御部

1.2 溶銑地区における軌道とその表現

図2に溶銑地区における実際の軌道を示す。図中の●は分岐(Bifurcation point, 以下BPという)を、また五角形は機関車(Locomotive, 以下LMという)を示す。五角形の先端は機関車の進行方向を示す。

実際には、このように複雑な形状をした軌道に対し、本稿における検討にあたっては記号を用いた軌道の表現(図3)を用いる。分岐は英小文字a, b, cで表し、分岐と分岐の間の軌道(区間(Zone)と呼ぶ)は直線で示してZone A, Zone Bなどと表す。軌道の始点および終点(End Point, 以下EPという)は分岐ではないが、議論の簡略化のため分岐と同様に扱う。

ある分岐に接する全区間が、相互に移動可能という訳ではない。例えば図3で示した分岐aにおいては、区間A, B, Dが接続しており、機関車は区間Aからは区間BおよびDのどちらにも移動できる。また、区間Bあるいは区間Dから区間Aへも移動できる。しかし、区間BからD, あるいは区間DからBへの移動は分岐を鋭角に曲がることになり、移動は不可能である。2台の機関車の衝突を予測するには、この制約を満足した上で機関車が到達可能な分岐、区間を導出する必要がある。

1.3 本問題が対象とする2種類の衝突

一般鉄道の衝突検知では、同一軌道上を同方向に進行する列車間における、後続列車の先行列車への追突防止に力点が置かれている。いっぽう本問題では、そうした衝突以外に2種類の衝突が重要な解決課題となることを本節で示す。

本問題における機関車には「北行き」と「南行き」の2種類の走行方向が定義されており、一般の鉄道における上り、下りと同様である。ただし、図2に示したよう

に並走する複数の軌道がある場合でも、一般の鉄道のような北行き専用、あるいは南行き専用の規定はなく、全軌道が両方向に進行可能である。そのため、図2の機関車4と6に正面衝突の恐れがある。

また、溶銑地区の軌道には数m~数十mの短い間隔で分岐が存在する。分岐では別の軌道から機関車が合流してくる可能性がある。図2では、機関車2と3が合流により衝突する恐れがある。

本問題では、上記2種類の衝突に対する適切な警告発生が重要な課題となる。

2. 既存の衝突回避技術との比較

2.1 既存の衝突回避技術の概要

輸送機一般の衝突回避や警報技術は、航空機や列車を中心に古くから研究されている。また、乗用車の自動運転技術にも衝突回避技術が含まれる。それらの技術は、対象とする輸送機の進行経路の自由度や、衝突回避対象が大きく異なるため、それぞれ独自に発展している。それらの技術の概要を表1に示し、各技術の本問題への適用可能性を検討した。

2.2 航空機の衝突警報技術の本問題への適用可能性

我が国では、客席数20以上の航空機には空中衝突防止装置²⁾(Traffic alert and Collision Avoidance System, 以下TCASという)の装備が義務付けられている。TCASを搭載する航空機間では相互の位置を認識し合っている。距離や高度、航行方向などの情報から衝突可能性が判断された場合は警告が発せられる。

溶銑地区の全機関車はGPSで位置情報を採取、記録しているため、同様の警報システムの構築は可能である。しかし本問題では、他車との距離や進行方向だけでは衝突可能性を適切に判断できない場合がある。

図3に示した3台の機関車のうちLM1は北行であり、LM2, LM3は南行である。区間Hに存在するLM1は区間G, さらには区間Dに移動する可能性がある。そしてこの時、区間Aに存在するLM2も区間D, Gに進入するとLM1と正面衝突する恐れがある。これに対し、区間Bに存在するLM3の移動可能な区間はCだけ(区間Eは鋭角に曲がることになるため進行不可)であり、LM1と衝突する恐れはない。つまり、LM1にとって衝突の危険があるのは、距離が近いLM3ではなく、遠方にあるLM2である。このように、軌道で移動範囲が限定されるため、機関車間の距離を中心とした衝突判断方法は、本問題解決には不十分といえる。

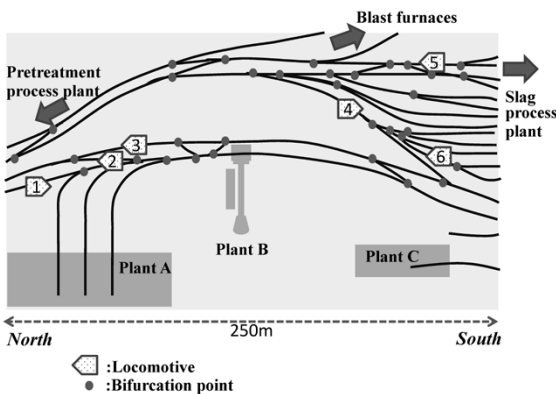


図2 溶銑地区の軌道の一部
Fig. 2 Part of railway track map in Kakogawa Works

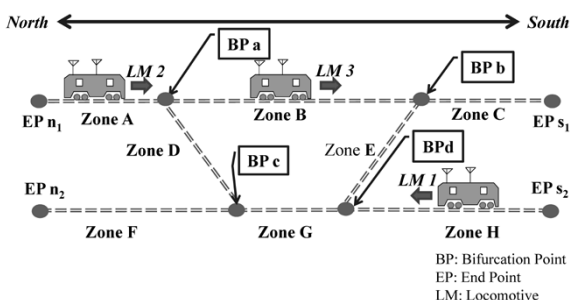


図3 区間と分岐合流点の関係
Fig. 3 BPs, EPs and Zones in rail track map

表1 衝突回避技術の概要
Table 1 Types of technology for collision avoidance

Target	Directions	Collision avoidance targets	Collision avoidance methods
Airplane (TCAS)	3 dimensions	Airplanes (limited)	Change direction, altitude (limited)
Automobile (Automated Driving System)	2 dimensions	Man, car and building (many types)	Breaking, Change direction, etc.
Trains (ATS)	1 dimension	Trains on the same railway (very limited)	Breaking (limited)
Locomotive in steel works(Our developed system)	1 dimension (with many branches)	Locomotives in the same area	Breaking (limited)

2.3 乗用車の自動運転技術の本問題への適用可能性

近年、乗用車の自動運転技術³⁾の発展は著しく、我が国においても公道での走行が数年内に実現されることが予測される。表2に示すように、自動運転技術のレベルは5段階に分類されている。この分類において、レベル3以上だけが自動運転技術と呼ばれ、それ以下は運転支援技術となる。

ここでまず、運転支援技術と自動運転技術との違いを概説する。レベル2以下の運転支援技術では、進行方向の画像を採取して障害物を認識し、その認識結果から衝突事故の発生可能性を判断する。これに対してレベル3以上の自動運転技術では、障害物の認識に加えて高精度な3次元地図情報を備えている。それも、静的な情報だけでなく、交通法規や通行規制に加え、渋滞情報、車両の位置、進行情報などの経時的に変化する情報を統合したデジタル地図を備える。このような地図は、「ダイナミックマップ」と呼ばれており、高難度で大規模な技術課題であることから国家的なレベルで開発⁴⁾が進められている。そして、その情報を活用した空間（軌道、道路など）認識技術と、前述の画像認識結果とを統合することによって正確な衝突危険性の認識が実現され、自動運転が可能となる。

ここで、運転支援技術あるいは自動運転技術を図4の状況に適用した場合を考える。溶銑地区には、図4に示したような湾曲した2本の軌道がほぼ並行に敷設されている箇所が多数ある。このような箇所を2台の機関車がすれ違う時、それぞれの機関車は別軌道上を進行するため衝突の危険性はない。しかしながら、運転支援技術が2台の機関車に装備されている場合、互いの進行方向正面に相手の機関車を認識するため、衝突の危険ありと判断を誤る可能性が高い。これに対し、自動運転機能を実

装できれば、ダイナミックマップの情報を参照することによって正面から進んでくるもう一方の機関車は別の軌道を走行していることが認識できるため、衝突の危険性はないと判断することができる。

運転支援技術における障害物を認識する画像処理技術は、本問題への適用も可能なレベルである。しかし、自動運転技術の中核であるダイナミックマップを実現するには、多様な情報をリアルタイムで正確に更新し続ける必要があり、当社単独での実現は容易ではない。

このように考えると、自動運転技術の一部を抽出して、直接本問題に適用することは困難といえる。そこで、運転支援技術と自動運転技術の中間的なレベルの技術を本問題に特化して開発する必要があると考える。

3. ATCとの比較、および本問題の課題解決方法の具体化

軌道における分岐、および区間の接続情報を活用して適切な衝突警報を表示・鳴動させる仕組みを検討するため、まず、鉄道の自動運転技術^{5), 6)}を概観する。

軌道上の車両を自動停止させる国内初の装置は、1950年代に導入された自動列車停止装置（Automatic Train Stop, 以下ATSという）である。ATSと同様の装置に自動列車制御装置（Automatic Train Control, 以下ATCという）があるが、両者の厳密な区別は難しい。前者は、運転者が既設の地上信号を見落とした場合の補助的なブレーキ動作を行う装置である。これに対して後者の装置は、システムは車両速度を常時監視し、区間に応じて導出された速度を超過したタイミングでブレーキ操作に介入する。したがって、ATCがより高度な機能といえることから、ここでは比較対象をATCに限定する。

3.1 固定閉塞ATCと移動閉塞ATC⁷⁾

ATCには固定閉塞方式と移動閉塞方式とがある。まず、1960年代に実現された固定閉塞方式の例を図5(a)に示す。軌道はあらかじめ区間（Zone）に分割されている。区間Aに車両が存在する場合、それに隣接する区間Bの機関車に対して徐行、および区間Aへの進入禁止の制御を行う。その後方の区間Cは速度上限20km/h、さらに後方の区間Dは速度上限50km/hを設けて制御を行う。区間E以降に対しては特段の制御は行わない。このように、異なる制御を行う目的で設けた一定の区間を「閉塞区間」と呼び、その閉塞区間を固定して制御することから固定閉塞方式と呼ぶ。

固定閉塞方式によって追突の回避は保障される。しかし、機関車が区間A内のどの箇所にも、区間B内の他の機関車は区間Aへの進入は許可されないため、機関車の効率的な運行ができない。その解決のため、固定区間をなくし、時々刻々変化する各機関車の位置に基づいてその車間距離を求め、後続機関車の制御を行う手法が必要となる。そうした制御を2000年代に実現したのが移動閉塞方式ATC⁷⁾である。図5(b)に示すように、機関車の移動に応じてその直ぐ後方に安全区間（safety zone）が動的に設定され、当該区間への他の機関車の進入禁止に加えて、後続の区間には速度制御が行われ

表2 自動運転技術の定義

Table 2 Definition of automatic driving technology

Level	Name	Execution of steering, acceleration, and deceleration	Monitoring of driving environment	Fallback performance of dynamic driving task	System capability (driving mode)
0	No Automation	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driving Assitance	Human driver and	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
3	Conditional Automation	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	System	System	System	Full driving modes

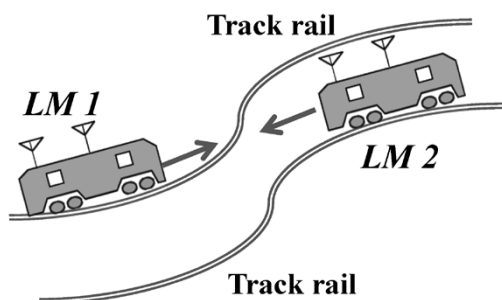


図4 誤警報が想定される例

Fig. 4 Example of possible situation of false alarm

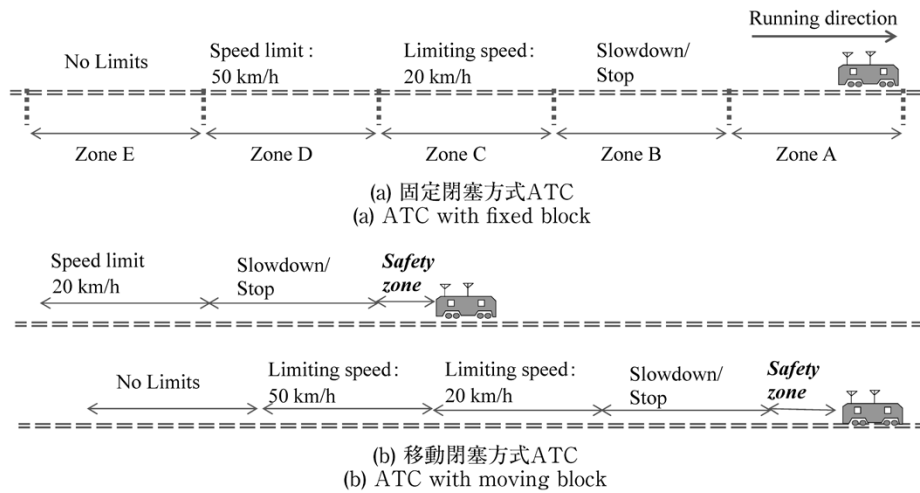


図 5 ATC システムの例
Fig. 5 Example of ATC system

る。これにより移動閉塞方式は、安全を確保した上で、固定閉塞方式よりも機関車間の距離短縮が可能となる。

しかし移動閉塞方式では、機関車位置を遅延なく正確に把握する必要がある。溶銑地区では、大型設備の建屋などによる電波障害などが原因となり、GPSによる位置を100%確実に把握することは容易ではない。したがって移動閉塞方式ATCは実現困難といえる。

3.2 衝突の危険が潜む分岐、区間の探索機能

ATCが用いられる鉄道では、区間の長さはほぼ均等に設定される。その効果で、図5(a)に示した先行機関車の後方の区間の数に基づいた速度制御による安全確保が可能となる。これに対して本稿が対象とする軌道(図2)は、分岐間の区間長さが多様であり、数m~数百mと大きく異なる。そのため、衝突可能性の有無は先行機関車との間にある区間数だけでは決定できない。

そこでまず、軌道の分岐・合流情報に基づいて一定時間内に到達可能な区間・分岐を各機関車に対して全て導出する必要がある。さらに、複数の機関車が到達可能となる区間・分岐があれば衝突危険性ありと考え、警報あるいは1ランク下の注意報の対象と考える必要がある。

3.3 警報アルゴリズムの動的適応機能

溶銑地区の機関車の衝突警報の場合、2台の機関車の衝突可能性の高さは、その2台の存在区間だけでは決定できない。その理由を以下に示す。

トピードを積載する台車はGPSが未搭載であり、機関車の位置のみが採取されている。そのため、台車を連結している場合は、機関車の位置情報に対して台車の長さ分の距離を補正する必要がある。機関車の台車搬送方法は2種類あり、機関車後部に台車を連結する場合と、機関車前部に連結する場合がある(図6)。

種類によって異なる台車の長さは20~30mであり、複数台連結する場合もある。衝突は通常、車列の先頭近辺で発生するため、先頭位置の把握が重要となる。したがって、後方連結の場合の位置補正は不要であるが、前方連結の場合は数十mの位置補正が必要となる。この機関車の進行方向にある台車の長さに相当する距離を「補正距離」と呼ぶことにする。

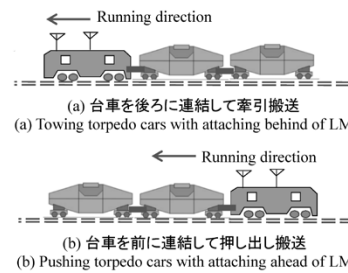


図 6 搬送方法の違い
Fig. 6 Two ways to transport torpedo cars

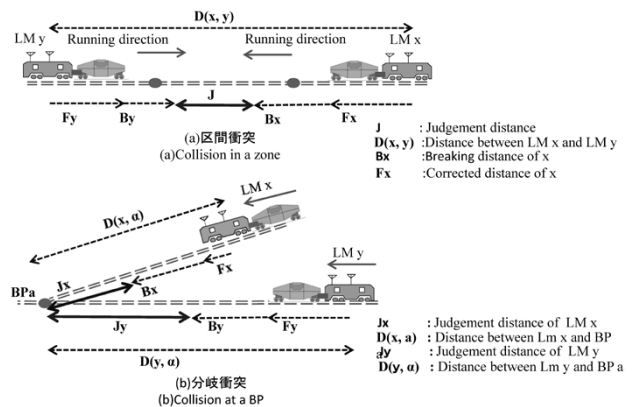


図 7 2種類の衝突
Fig. 7 Two types of collisions of locomotives

また、自動車と同様に機関車にも制動距離があり、ブレーキを掛けても直ぐには完全停止しない。この制動距離は機関車の速度や搬送中の台車重量、あるいは天候に応じて変化し、その差は数十mに上る。そのため、状況に応じた制動距離の補正が必要となる。

3.4 2種類の衝突の回避

1.3節で示したように、本問題で発生する特徴的な衝突パターンは2種類ある。一つは、図7(a)に示すように進行方向が異なる(対面して進行する)2台の機関車が同一区間で正面衝突する場合であり、以後これを区間衝突と呼ぶ。もう一つは、軌道は異なるものの同一の分岐に向かって進行する2台の機関車が分岐周辺で衝突する場合であり(図7(b))、以後これを分岐衝突と呼ぶ。この2種類の衝突に対しては、衝突可能性の判断方法を

変える必要がある。

4. 衝突警報システムの実現方法

4.1 ハードウェア構成

前章で示したように、衝突判断には各機関車の様々な情報が必要となる。また、衝突判断結果を機関車の運転者に示す必要がある。その基盤となるハードウェア構成を図8に示す。

GPSから取得した自車の位置、進行方向、変速機の情報、さらには、前方あるいは後方の台車接続状態の情報が各機関車の無線LANアンテナから送信される。これらの情報は溶銑地区数箇所に設置された地上アンテナによって受信され、溶銑物流用のプロセスコンピュータに送信される。プロセスコンピュータは、溶銑地区の全機関車の情報および軌道情報を保持している。この2種類の情報から、各機関車の衝突危険性を判断し、機関車の運転者が携行する携帯端末に必要な警報を表示・鳴動させる。

4.2 ソフトウェア構成

3.2~3.4節で述べた本問題の解決に必要な機能の実現方法を例題を用いて示す。図9は14個の分岐と15個の区間からなる軌道を記号表現したものである。区間名と対で記した数字は区間長を示す(単位:m)。機関車は3台が運行中であるとした。初期状態として、LM1は北行で台車を連結せずEPs1に位置する。LM2は北行で前(北側)に台車1台を連結してEPs3に位置し、LM3は南行で前(南側)に台車1台を連結してEPn1に位置する。説明の簡便化のため、機関車の初期位置を全て分岐上とするが、本節の議論は初期位置が区間内でも容易に拡張できる。

4.2.1 分岐間距離の事前計算

本問題では、3.2節に示したように各機関車がどの区間、どの分岐に到達可能か、そしてそこに到達するため

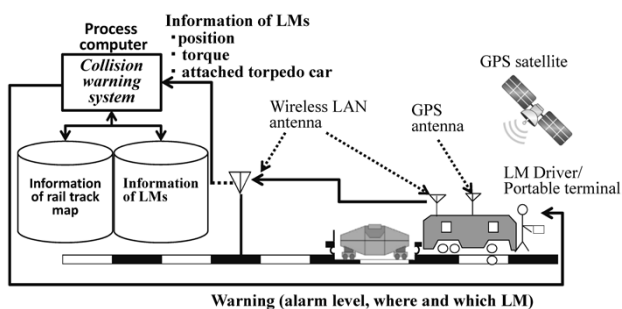


Fig. 8 Hardware configuration of developed collision warning system

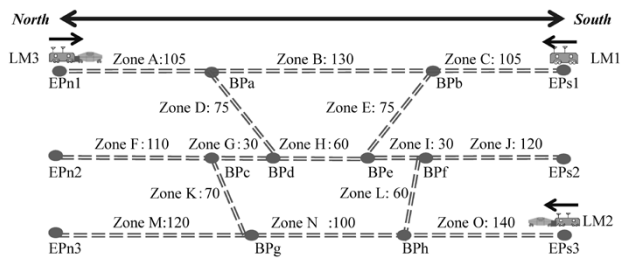


図9 衝突判断の例題
Fig. 9 Example of collision judgement

の最短距離を導出する必要がある。軌道の接続情報はあらかじめ決定しているため、各分岐間の到達可能性と最短距離は事前計算が可能である。

図9のLM1~3が到達可能な分岐とその最短距離を表3の3列目に、到達可能な区間を表3の4列目示す。LM1が分岐BPaに到達するには、区間CからBを通るルート、および区間CからE, H, Dを通るルートがあるが、より短い距離となる前者の距離を採用する。本例は単純であり、最短距離の決定は容易であるが、実際の溶銑地区の軌道は複雑、大規模で直感的な導出は容易ではない。しかし、グラフ理論⁸⁾におけるダイクストラ法⁹⁾など^{10),11)}のアルゴリズムを用いれば短時間で計算可能である。

4.2.2 各機関車の衝突可能性

表3の情報を用いて、図9の3台の機関車の衝突可能性を導出する方法を以下に示す。まず、区間衝突の発生を検証すべき機関車の組み合わせ、すなわち、進行方向が異なる機関車の組み合わせは、LM1とLM3および、LM2とLM3である。前者の組み合わせの場合、両機関車が共有する到達可能区間はA, B, C, D, H, Eと多数あるため、区間衝突の可能性はある。これに対して、後者の組み合わせには共有する到達可能区間がないため、区間衝突の可能性はないと判断できる。

つぎに、分岐衝突の発生を検証すべき機関車の組み合わせを考える。同一方向に進む機関車はLM1とLM2の組み合わせであり、両機関車が共有する到達可能分岐(BPc, EPn2)において分岐衝突の可能性はある。もし、共通する到達可能分岐が空集合であれば衝突はないと判断する。

4.2.3 警報の要否判断

前項では、LM1とLM3との区間衝突、およびLM1とLM2との分岐衝突が発生する可能性を示した。本項では警報の要否判断アルゴリズムを示す。

まず、区間衝突(図7(a))の判定方法を示す。各機関車の軌道上の位置が分かれば、その間の距離 $D(x, y)$ が表3を用いて導出できる。さらに、 LM_x および LM_y のそれぞれの補正距離 F_x, F_y は台車接続情報に基づいて決定され、制動距離 B_x, B_y もそれぞれの機関車の変速機情報と台車接続情報から導出される。なお、これらの距離データは、テーブル化することで迅速に決定できるようにしている。

上記データから、判定距離 J を式(1)により決定する。

$$J = D(x, y) - (F_x + B_x) - (F_y + B_y) \dots\dots\dots (1)$$

表3 各機関車の到達可能分岐、区間

Table 3 Present position, direction and reachable BPs and Zones of each LM

LM	Position/Direction	Reachable BPs and Distances	Reachable Zones
LM1	EP s1/ Northbound	(s1, 0), (b, 105), (a, 235), (n1, 340), (e, 180), (d, 240), (c, 270), (N2, 380)	C, B, A, E, H, D, G, F
LM2	EP s3/ Northbound	(s3, 0), (h, 140), (g, 240), (N3, 360), (c, 310), (n2, 420)	O, N, M, K, F
LM3	EP n1/ Southbound	(n1, 0), (a, 105), (b, 235), (s1, 340), (d, 180), (e, 240), (f, 270), (s2, 390)	A, B, C, D, H, E, I, J

そして判定距離 J をあらかじめ決めておいた閾値（いきち） L_1, L_2 ($L_1 < L_2$) と比較して L_1 より小さければ危険度大の「警報」と判断し、 $L_1 < J < L_2$ であれば警報より軽度の「注意報」と判断する。なお L_1, L_2 は、警報（あるいは注意報）に機関車の運転者が気付いてブレーキを動作させるまでに走行すると想定される距離、およびGPSで求める位置情報の誤差などに基づいて決定する。

つぎに、分岐衝突（図7（b））の判定方法を示す。複数箇所の分岐で衝突の可能性がある場合でも、両機関車から最も近い分岐（図9のBPc）での衝突可能性のみを検討すればよい。その判定を行うアルゴリズムを、図7（b）を用いて説明する。分岐衝突の場合は、分岐位置（この場合BP α ）と2台の機関車の間の距離、 $D(x, \alpha), D(y, \alpha)$ を両方導出する。そして、2台の機関車の判定距離を式（2）でそれぞれ計算する。

$$\left. \begin{aligned} J_x &= D(x, \alpha) - (F_x + B_x) \\ J_y &= D(y, \alpha) - (F_y + B_y) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

分岐衝突の判定の場合は、3種類の閾値 K_1, K_2, K_3 ($K_1 < K_2 < K_3$)を用いて、判定距離からLMx、およびLMyのそれぞれの危険度 P_x, P_y を4段階に分類する（式（3）、（4））。値が大きいほど衝突の可能性がある分岐に近く危険であることを意味する。なお、 K_j も L_i と同様に、運転者が警報に気付くまでの走行距離やGPSの誤差を考慮して決定した。

$$\left. \begin{aligned} P_x &= 3 \quad (J_x < K_1 \text{ の場合}) \\ &= 2 \quad (K_1 < J_x < K_2 \text{ の場合}) \\ &= 1 \quad (K_2 < J_x < K_3 \text{ の場合}) \\ &= 0 \quad (K_3 < J_x \text{ の場合}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} P_y &= 3 \quad (J_y < K_1 \text{ の場合}) \\ &= 2 \quad (K_1 < J_y < K_2 \text{ の場合}) \\ &= 1 \quad (K_2 < J_y < K_3 \text{ の場合}) \\ &= 0 \quad (K_3 < J_y \text{ の場合}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$



図10 携帯端末に表示される警告例
Fig.10 Warning message displayed on handy terminal

この P_x と P_y の組み合わせにより、警報、注意報、表示・鳴動なしを決定する。例えば、 P_x, P_y のいずれかが0であれば、表示・鳴動なし（分岐衝突の危険はない）とし、両方が2以上であれば警報を出すというロジックであり、これもシステム内に判断方法をテーブル化している。

上記のロジックで導出した警報や注意報は機関車の運転者が携行する携帯端末に表示する。その表示画面例を図10に示す。この画面は、217号機関車の運転者に対して210号機関車との正面衝突の危険性を警告している。

むすび=本稿では、当社加古川製鉄所の溶銑地区を走行する機関車の衝突問題に対して構築した警報システムの概要を説明した。輸送機の衝突を検知する技術や自動運転の技術は多数あるなか、それらの転用では本問題に対応できない理由を示した。さらに、溶銑地区の物流特性である分岐の多さや、動的に衝突判定ロジックを変化させる必要性に対応するために実装したアルゴリズムを紹介した。

本システムは実機稼動し、各機関車の運転者が携帯端末に示される警報を参照することによって、より安全・安心な運行が実現されている。今後は、安全・効率的な経路のガイダンスなどにも機能を拡張したい。

公共エリアで利用される輸送機の自動運転技術、運転支援技術は今後も着実に進歩することが予想できる。しかし本稿に述べたように、生産現場では特殊な条件下で運用されるため、一般的な自動運転技術が容易には適用できない搬送設備が多数存在する。製鉄所内だけを考えても、半製品や廃棄物を搬送する大型特殊車両や、工場内の天井クレーンなどがある。そこで、それらの運転支援、自動化を目的とした本開発経験の展開を考えたい。

参 考 文 献

- 1) 玉置 久ほか. 鉄と鋼. 2014, Vol.100, No.4, p.485-490.
- 2) 稲垣敏之. 電子情報通信学会基礎境界ソサイエティ Fundamentals Review. 2008, Vol.2, p.22-30.
- 3) 倉敷哲生. NTNレビュー. 2017, No.85, p.2-13.
- 4) 高田広章ほか. システム/制御/情報. 2016, Vol.60, No.11, p.457-462.
- 5) 水間 毅. 計測と制御. 2017, Vol.56, No.2, p.93-98.
- 6) 新井英樹. RRR (Railway Research Review). 2008, Vol.65, No.07, p.22-25.
- 7) 今野信三. 電気学会誌. 2010, Vol.130, No.8.
- 8) R. J. ウイルソン著, 西関隆夫ほか訳. グラフ理論入門. 近代科学社. 2001.
- 9) 石畑 清. アルゴリズムとデータ構造. 岩波書店. 1989.
- 10) 寺田博文ほか. 特開2014-210570.
- 11) 寺田博文ほか. 特開2014-210571.