

孤立波軌道回路による信号制御の再構築

正 [電] 寺田 貴行 (大同信号) ○松脇 康之 (大同信号)
 布施 卓也 (大同信号) 村永 祐介 (大同信号)
 正 [電] 望月 寛 (日本大学) 正 [電] 中村 英夫 (日本大学)

Restructuring of Signaling System by Solitary Wave Track Circuit

Takayuki Terada, Yasuyuki Matsuwaki, (Daido Signal Co.,Ltd)

Takuya Fuse, Yusuke Muranaga, (Daido Signal Co.,Ltd)

Hiroshi Mochizuki, Hideo Nakamura, (Nihon Univ.)

The authors are developing "Solitary Wave Track Circuit: SW-TC" which sends the wave source by a fixed number as a wave source within a cycle, instead of sending continuous signal waves in the track circuit. SW-TC has a simple configuration and enables multi - informationization by utilizing the spacing between wave sources as information. In this paper, expansion of information quantity and function improvement become possible by transmitting the start element which connected two solitary waves at the beginning of one cycle frame. In addition, this paper presents switching control methods of a transmission part and a reception part of a track circuit, and switching control methods of an up-signal and a down-signal, which are required at a traffic direction changing, in a single track line.

キーワード : 軌道回路, 孤立波, 省エネルギー化, ケーブルレス

Keywords : Track circuit, Solitary wave, Saving Energy, Cableless

1. まえがき

軌道回路はフェールセーフな列車検知センサーとして用いられ、信号の連動制御や自動閉そく制御の安全性確保に寄与してきた。わが国には、1904年に直流軌道回路が初めて設備されたが、その後、商用周波数軌道回路や可聴周波数軌道回路 (AF 軌道回路) など様々な方式が開発され導入されてきた⁽¹⁾。コンピュータを用いた軌道回路は、駅構内の軌道回路として登場し、時分割処理により1台で駅構内の12軌道回路を処理するなど、省エネルギーであるほか、ハードウェアが少なくなり信頼性や保守性向上の効果が認められた^{(2),(3)}。しかし、その後はデジタルATCの基礎技術として無絶縁軌道回路などに技術開発が見られるものの、抜本的な進展はない。

このような状況の中、軌道回路の再生として筆者らは、孤立波軌道回路 (Solitary wave track circuit: SW-TC) を提案

した^{(4),(5)}。SW-TCは、一定周期のサイクル内に連続して信号波を送るのではなく、信号波の1波長分を波源としてその波源を孤立的に定められた数のみ送ることとし、波源相互の間隔を情報として利用するものである。その結果、多くの情報が抽出できることになる。論文では25Hzのうちに2波を送る事例を示しているが、孤立波 (Solitary wave: SW) とすることにより、11種類の情報が取得できる。この情報を列車在線軌道回路からの番号に対応させることにより、前方・前々方軌道回路の状態を取得せずとも多現示色灯信号機が制御可能なことを示した。

本論文では、さらにSW中に、SWフレーム (solitary wave frame) の開始を意味するスタートエレメントを設けることにより、情報量の大幅な拡大が可能となることを示す。SWフレームのスタートを明確にしたことにより、SWフレーム中の一部を固定ビット列と定義して情報と対応させることにより、保全情報の伝達なども可能となる。

なお、筆者らはすでに文献(4),(5)において、SW-TC のもたらす特徴として、省エネルギー化、対雑音性能の向上、及び二元三位軌道回路と比して軌道回路の調整容易化が実現することを論じた。

単線区間で単線自動 A の閉そく式を用いている場合には、運転方向の条件に応じて中間軌道回路の送電/受電の切替えと中間信号現示の制御が必要になる。この処理についても既存の運転方向回線を利用することなく簡易に実現できることが明らかとなった。

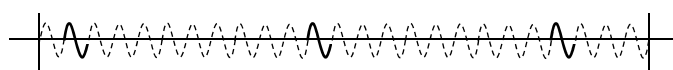
本論文では、SW-TC の概要及び、新たに提案する「孤立波にスタートエレメントを設ける」ことによる情報量の拡大と情報フィールドについて説明する。さらに、駅間に複数の軌道回路を設備し、複数の列車進入を容認する単線自動閉そく A における軌道回路の送信/受信の切替えや中間信号機の制御方法について具体的に述べる。

2. 孤立波軌道回路と情報量の拡大

SW-TC は、複数の孤立した波形を送信サイクル中の一部分に送るものであり、個々の孤立波の位置関係を情報に対応させた軌道回路である。以下、SW-TC の概念を紹介するとともに、情報量の拡大について論じる。

〈2・1〉孤立波軌道回路の概要

(1) 孤立波 SW とは、連続した信号波の一部分を切り出した波形であることを前述したが、Fig.1 における実線の波形が SW の例で、破線部分は SW の間隔を説明するために示したものであり、実際には無電流を意味する。Fig.1 より、1 周期 (SW フレーム) 内の SW の数や SW 間隔によって情報を付与できる。また、1 周期中で軌道回路電流が流れるのは SW のときだけであるため、省エネルギー化も図れる。



*The broken dot line indicates the no-current state, and the solid line indicates the solitary waves.

Fig. 1. An example of solitary waves

(2) SW による多値情報の割付例 SW の組み合わせを多値情報に割り当てる一例を Fig.2 に示す。本例では、基本となる SW を 25Hz の Sin 波形 1 波形分としている。また、SW を 2 つ用意し、その孤立波間隔に情報を割り当てる。情報量は、25Hz のうち SW の 2 波を除く無電流の 23 波分の空間をどのように配分するかで定まる。すなわち無電流の空間の配分は(1:22),(2:21)・・・(21:2),(22:1)まで 22 通り取れるが、(1:22)と(22:1)は、同一配分として考えることができるので、この事例では 11 通りの情報が取得できる。

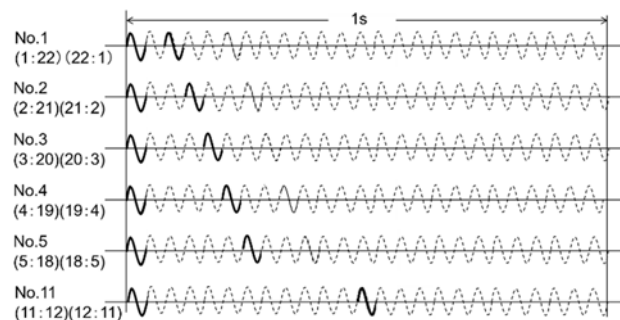


Fig. 2. Examples of solitary wave combinations

この前提においても本方式の情報量は、今日の二元三位式軌道回路の 3 情報から 11 情報へと、大幅に増加する。

なお、この事例では SW として 25Hz の 1 波長を利用したが、2 波長であっても矩形波であっても同様に成立するし、周波数も 25Hz に限るものではなく、SW の形態に制限はない。

(3) 列車位置と軌道信号 Fig.2.に示す SW を利用した軌道回路の事例と信号制御との関係を説明する。SW 間隔のうち小さい間隔を軌道信号の波形番号とすると、【第 1 信号】は、前方軌道回路に列車が在線することを意味し、【第 0 信号】は、軌道回路に列車が在線し軌道回路信号が受信できない状態と定義する。このようにしたとき、ある軌道回路に 1 列車が在線しているときの後続軌道回路の軌道信号 (波形番号) の様子を Fig.3 に示す。この図に示すように、前方の在線位置により列車後方に第 1~11 の軌道信号 (波形番号) を送信するが、11 軌道以上離れた場合には、第 11 の軌道信号 (波形番号) が同様に割り当てるものとしている。

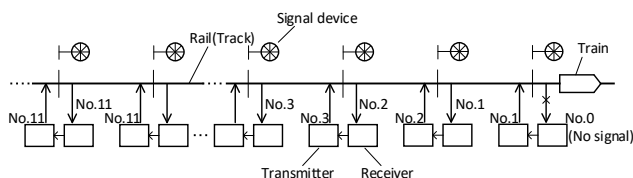


Fig. 3. An example of solitary wave No. transmission at SW-TC

〈2・2〉孤立波軌道回路情報量の拡大

SW-TC の機能拡大には情報量拡大が望まれる。本節では、情報量拡大の方法について論じる。

(1) 孤立波数の増加による方法 1 サイクル (SW フレーム) が 25Hz とした場合、情報量は 11 種ということを示した。さらに SW をもう 1 波追加し 3 波とすることにより、情報量を拡大させることができる。たとえば 3 波の場合 (1,1,20), ..., (20,1,1) までの 210 通りとなるが、(1,1,20)と (1,20,1), (20,1,1) は、孤立波の先頭をどこで把握するか差であり、基本的には同一である。したがって全体の情報量は 70 種ということになるが大幅に増加した。このように、孤立波の数によって情報量を拡大できる。もちろん、1 サイ

クルを 25Hz とせずに、30Hz、40Hz と増大することによりさらに情報量は拡大できる

(2) スタートエレメントの付加 情報量を拡大する方法として、SW フレームを孤立波が存在する位置で規定するのではなく、スタートエレメントを定義し SW フレームの区切りを定めることにより、情報量が増加する。また各 SW に対し、スタートエレメントの先頭を 1 番としたフレーム上の位置をポジションと呼ぶ。

仮に、1 つの SW フレームが 25 ポジションから成るものとし、2 波の SW を配置するこれまでの例においては、11 種の情報が取得できることを〈2・1〉節 (1) 項で示した。ここに連続 2 波からなるスタートエレメントを SW フレームの先頭に配置するとする。残りのポジションに一つの SW を存在させる方式ではスタートエレメントの前後にはスペースを空ける制約が生じるものの、情報量が 21 種類に増える。さらに SW を 2 波に増加させると情報量は、210 種類に増え、スタートエレメントの効果が認められる。

スタートエレメントの効果は、単に情報量の増加だけではない。SW フレームが定まることにより、フレーム内の SW のポジションに情報を割り当てることができ、次章で述べる SW-TC による機能拡張の道が開かれる。

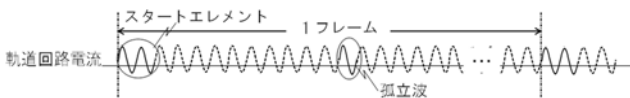


Fig.4. A new solitary wave frame with a start element.

(3) SW フレーム中に情報フィールドの付加 豊富な情報量をもとに、単なる列車在線位置の伝達のみに利用するのではなく、機能拡充の方法について検討する。なお、以下の検討も 1 つの SW フレームが 25 波のポジションからなるものとする。

機能拡充の方法として、SW フレームの開始から数えて 4 ポジションから 11 ポジションまでを情報フィールドとして確保する。残りの 13 ポジションから 24 ポジションまでを波形番号フィールドとして用いる。なお、スタートエレメントとの区別を容易にするため、利用できる情報は少なくなるものの、この情報フィールド内の 7 つのポジションでは SW が連続することは避けるという制約を持たせる。この情報フィールド、波形番号フィールドを定義した新たな孤立波フレーム(New solitary wave frame)を SWF と称することにし、その構造を Fig.5. で示す。

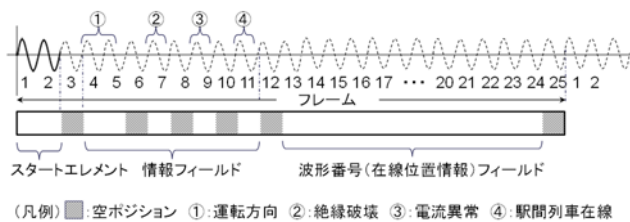


Fig.5. A frame architecture of a SWF.

3. SWF の生成方法と受信処理

〈3・1〉 デジタル波形データによる方法 SW の 1 波形分のデジタルデータを波源データと呼ぶ。また、SWF のどのポジションで SW を生成するかという情報を記したデータを SWF プロファイルデータと呼ぶ。

(1) 送信処理 Fig.6 に 1 つの SWF の軌道回路信号生成方法を示す。仮に 1 SWF の長さが 25 ポジション相当であり、サンプリング周期が 1kHz であるとする、1 つの SW は 40 語のデジタルデータ (波源データと呼ぶ) からなる。

SWF プロファイルテーブルから生成しようとする SWF (SWF データと呼ぶ) を抽出し、40 ミリ秒周期で SWF データの下位側からビット値を抽出し、「そのビット値が 1 の時には、波源データによる 1 波形送出処理を行う。一方、読み出したビット値が 0 のときには、40 ミリ秒カウント後に再び SWF データの次ビット値抽出に戻る」処理を行う。この処理が 25 回行われると軌道回路には 1 秒分の軌道回路信号 (1SWF の軌道回路信号) が送出される。なお、SW の 1 波形送出処理は 40 語の波源データを 1 ミリ秒ごとに読み出し、それぞれ DA 変換後、軌道回路に送出する処理を意味する。

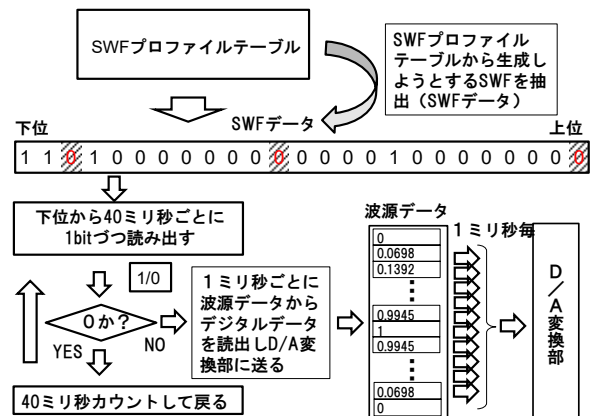


Fig.6 A generation method of a SWF.

(2) 受信処理 SW-TC の受信処理は、軌道回路電流を 1kHz でサンプリングしたデータをバッファリングする。1 波長分のバッファリングデータの総和をサンプル数で除算することでバイアス値の導出を行う。バイアス処理は、導出したバイアス値を計測値に加/減算することによって行う。

次にバイアス後のデータのピークレベルの値で全体を除算し正規化する。このようにして得られた正規化後のデータ群と基準波形との相関をとり、一定の相関値が得られたものを値 1 としてプッシュダウンレジスタに登録していく。このプッシュダウンレジスタ中からスタートエレメントを抽出し、その後の 23 ビット列が SWF となる。なお、スタートエレメント間隔が不正なものは、レール破断候補として詳細分析に委ねる。

4. 運転方向切替に伴う現場機器の処理

スタートエレメントを定義し、SWFの明確化と情報フィールドを設定したことにより単線区間で有効になる運転方向切替に伴う現場機器の制御処理について説明する。

単線区間の運転方向の切替えには、駅間に列車が非在線という条件が必要になる。このため、列車在線が検知された軌道回路送受信部は、SWFの情報フィールド中の在線SW (Fig.5.におけるSWFの情報フィールド④の駅間列車在線) をONにして次段の軌道回路に送信する。

受信したSWFの在線SWがONになっている場合には、次段へのSWFの在線SWもONにする。この結果、出発信号機内方のSWFによって駅間の列車の有無が把握できるため、両駅間で行われる運転方向切替に伴う現場機器の処理ができる。

単線自動閉そくAにおいては、運転方向回線を利用して、駅中間の軌道回路の送電/受電の切替えと中間信号現示の制御を行っている。SW-TCにおいては、別途設定される方向でこの条件を用いて、中間軌道回路の送電/受電の切替えと上り/下り中間信号機に対する現示制御を行う。この機能について、SW-TCを用いた実現方法をFig.7.およびFig.8.を用いて説明する。

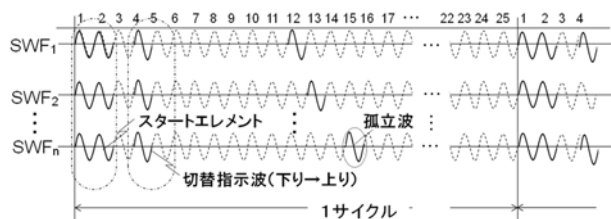


Fig.7. SWFs at a traffic direction change control.

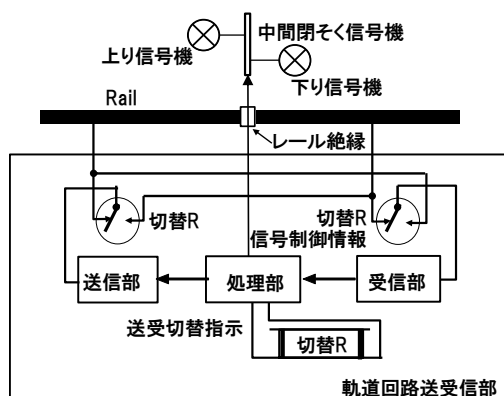


Fig.8. A mechanism of reception/transmission exchanging at a traffic direction changing of an SW-TC.

単線自動閉そく区間において、運転方向が切替えられたときには、場内信号軌道回路の軌道回路送受信機が運転方向制御部の処理部から運転方向でこの条件を取り込み、

SWFの情報フィールド中の運転方向SW (Fig.5.におけるSWFの情報フィールド①の運転方向)に条件を反映させて次段の軌道回路に送信する。それと同時に、状態変化があれば運転方向に応じて、軌道回路送受信機内の送信部と受信部の結線を切替える。

一方、駅中間の軌道回路送受信機においてもFig.8.に示す処理部は前段の軌道回路から受信したSWFに現状と異なる運転方向のSWであった際には、同様に運転方向SWを切替えたSWFを次段の軌道回路に送信すると共に、送受信部内の送信部と受信部の結線を切替える。この処理を隣接駅の出発信号内方の軌道回路まで次々を行うことで、駅間の単線自動閉そく装置の処理部に運転方向切替に伴う現場機器の処理に必要な情報を伝達することができ、運転方向にあわせた駅中間の軌道回路の送電/受電の切替および中間信号現示の制御が行える。

なお、軌道回路信号のSWFでは、運転方向指示波として情報フィールド内の1番目もしくは2番目 (SWF内では4番目もしくは5番目)のポジションが割り当ててあり、1番目が運転方向下りに、また2番目を運転方向上に割り当てている。両者間には空きポジションを設定していないが、同時にONになることは無いので、問題ない。

5. まとめ

今回提案するSW-TCを用いれば、従来の駅中間軌道回路に比べて、ケーブルレスや省電力化が図れる。さらに、SWフレームにスタートエレメント追加することで情報量を増大することが可能となり、軌道回路の予防保全や高度な列車制御などの機能拡大が図れる。

軌道回路は、長年に亘る実績のある安全性が確保された枯れた技術であるが、近年、無線を活用した新しい列車制御信号システムが増加しており、鉄道信号のシステムは、脱軌道回路の傾向にある。しかし、中小鉄道では無線式列車制御システムの採用には敷居が高い。これに対し、提案するSW-TC方式は、既存の軌道回路の延長にありながらその導入効果も高い。軌道回路は、今後もその機能を発展できる可能性を秘めており、本方式を用いることで、より廉価で経営に資する信号システムが実現できるものと期待している。

文 献

- (1) 板倉栄治:「軌道回路」, 信号保安協会, 信号技術シリーズNo.4(1971)
- (2) 升谷・内海・南:「スキャニング式軌道回路について」, 鉄道と電気技術, Vol.22 No.7 (2011)
- (3) 南・須賀・陽田:「列車検知装置(SMET形)[KC1158-1・他]」, DAIDO, No.104, pp.16-21 (2003)
- (4) 寺田貴行、松脇康之、布施卓也、南亮吉、望月寛、中村英夫: 軌道回路の再生と新列車制御システムの提案、第26回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2019), S-2-8-3, (2019.12.6)
- (5) 寺田貴行、松脇康之、布施卓也、南亮吉、望月寛、中村英夫:「軌道回路の再生と新しい信号制御方式の提案」, 電気学会論文、D,(2021.3) (掲載決定)