

信号のキーテクノロジー



平栗 滋人
Shigeto Hiraguri
信号・情報技術研究部
部長
[専門分野] 鉄道信号,
安全性技術

新幹線開業で導入された新技術

東海道新幹線の開業は、鉄道信号にとっても大きな変革をもたらしました。車内信号式ATC（自動列車制御装置）やCTC（列車集中制御装置）が導入されたことは、良く知られていることと思います。これらは、信号設備の近代化に留まらず、列車の運行管理のあり方もそれまでとは大きく変えました。

ATC

新幹線の信号システムについては、1957年に鉄道技研が開催した講演会「東京－大阪間3時間への可能性」において、以下の3点を骨子とする構想が示されています。

- ①250km/hという高速で走行する列車の保安装置として、連続して信号を列車に送信できるATCが必要。
- ②ATCの信号は車内に表示し、ブレーキの自動制御機能を持つものが最適。
- ③ただし、在来線に比べて大きな電車電流がレールに流れるため、信号電流がこの影響を受けないための研究が必要。

①と②を実現するために、当時、開発されたばかりのAF軌道回路とA形車内警報装置の技術がベースとなりました。AF軌道回路（当時はキロサイクル軌道回路と呼んでいました）は、1957年に実用化された交流電化に合わせて開発されたもので、数

百Hz～数kHzの可聴周波数（Audio Frequency）の信号電流を使用します。また、A形車内警報装置は、ATS（自動列車停止装置）が導入される前の1960年に東海道本線に導入されたもので、1300kHzの信号電流をAM変調したものを使用し、停止信号に接近した時に運転士に警報を与えます。

③については、新幹線の電車電流は在来線よりも1桁多いことが想定され、そのパワーが大きいため、在来線にはない対策が必要でした。ここで、レールに流れる電流には電源の周波数（東海道新幹線の場合は60Hz）だけでなく、その高調波（60Hzの整数倍の周波数）成分も含まれます。つまり、60Hz間隔で信号電流に影響を与える

成分が存在します。しかも、当時は電源の周波数が±1Hz程度の幅で変動し、高調波ではその幅が大きく（第20次高調波の1200Hzでは、±20Hz程度）なります。

この課題を克服するために開発されたのが、電源同期SSB（Single Side Band）と呼ばれる方式です（図1）。これは、従来のAM変調ではDSB（Double Side Band）と言い、信号を送信する基本となる搬送波と、搬送波を変調して得られる2つの変調波を送信するのに対し、どちらか片側の変調波だけを送信するものです。これによって、必要な周波数帯域を半分以下にすることができます。しかも、搬送波の周波数自体を変動する電源に一致させること

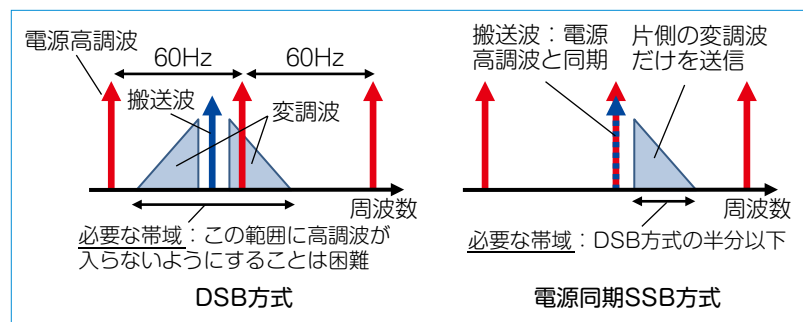


図1 電源同期SSBの概念

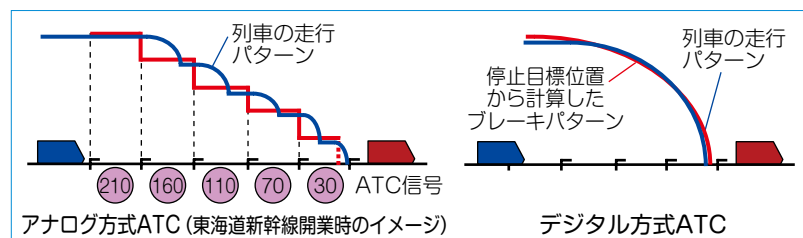


図2 新幹線におけるATCによる速度制御

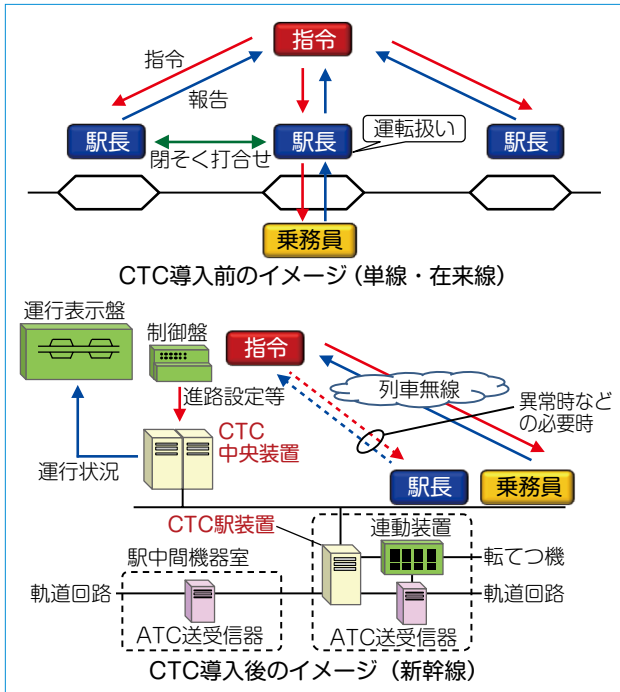


図3 CTCによる列車運行管理の変化

によって、その影響を受けることを回避しています。

このように、影響を受ける周波数を変えるための苦心の末、弱点を利用する電源同期という逆転の発想によってATC導入の課題を克服しています。

その後、ATCは幾つかの改良を加えられたほか、大都市圏の在来線や地下鉄にも導入されました。現在の新幹線では、レールにデジタル信号を送信し、線路の条件や車両性能に応じて、列車上で停止位置までの連続的な速度パターンで制御する方式のATCの導入が進んでいます(図2)。

CTC

CTCは元々、単線区間における進路の遠隔制御による信号扱い業務の効率化が主目的と考えられていました。日本では1958年に伊東線に導入されましたが、広く普及するには至りませんでした。

新幹線の建設当時、CTCに対しては、複線区間でしかも500kmにも及ぶ長大線区での適用例が世界的にも見当たらないこと、新幹線に適用可能な

列車位置を列車番号とともに、指令所で集中的に把握することが不可欠であると判断されました。

しかし、それまでのCTCはリレー回路を使って論理を構成しており、通信速度も低いため、性能、装置の耐久性の面でも新幹線への適用には不十分でした。また、以前は必要な情報が発生した時に送信する随時起動方式でしたが、駅から指令所に送信する情報については、1秒程度の周期で伝送できるよう、スキャニング方式を採用することとなりました。そのために、トランジスターを論理素子として使用する論理回路が新たに開発されました。

新幹線におけるCTCの導入は、列車運行に関する情報の自動的、一元的な収集、表示による指令業務や駅の運転業務の効率化(図3)の効果を具体的な形で示し、大きな影響を与えました。

その後、1972年の山陽新幹線岡山開業時にコムトラック(COMTRAC)が開発され、CTCと接続されて進路制御の本格的な自動化を実現しています。また、CTCは土讃線や高山線などに順次導入され、在来線の近代化に

リアルタイムでの高速符号伝送の実績がないことなどから、導入の決定までには余曲折があったようです。しかし、駅間距離が数十kmにも及び、通過列車も多数走行する新幹線での列車指令の判断業務や、新幹線で初めての列車無線を通じて、乗務員に直接指令を伝達する方式を実現する上でも、時々刻々と変化する

も大きく貢献し、現在では民鉄も含めて広く普及するに至っています。

エレクトロニクス技術の導入

ATC、CTCともに、実用化間もないトランジスターを採用するなど、信号設備に本格的にエレクトロニクス技術を導入する端緒となりました。

開発当時、国鉄では信頼性工学の考え方を導入、使用部品の故障率などに基づいて、システムの信頼度予測を行っています。このような検討の結果を受けて、ATCの送信部は待機二重系、ATCの地上、車上の受信部とCTCの論理装置は三重系多数決の構成が採用されています。

このように、それまでとは異なり、信頼性や安全性に工学的な視点を導入し、システム設計に反映させたことは、1985年に実用化され、現在では広く使用されている電子運動装置を始めとする、その後のコンピューター制御信号システムの礎にもなっていると言えます。

今後の展望

新幹線の信号システムは、近年、デジタル方式のATCが導入され、高機能化、高効率化を実現しています。将来は、2011年に国内でも実用化された、移動閉そくを実現する無線式列車制御システムが新幹線にも導入されることでしょう。また、発展が著しい情報通信技術を活かして、運行管理システムとの連携を強化した、より高度で柔軟な運行システムの実現も期待されます。[RRR]

文献

- 1) 信号保安協会：鉄道信号発達史、1980
- 2) 信号保安協会：信号保安、vol.19、No.10(東海道新幹線号)、1964
- 3) 日本鉄道電気技術協会：鉄道信号の技術はこうして生まれた、2009