

山梨リニア実験線用 電力変換設備

Development of Power Supply System for Yamanashi Maglev Test Line

加賀 重夫
S. Kaga

伊藤 健治
K. Ito

麦屋 安義
Y. Mugiya

伊藤 秀夫
H. Ito

山梨リニア実験線の駆動システムは、車上に超電導磁石を搭載し、地上コイルを一次側としたリニアシンクロナスモータ方式を採用している。当社は、車両の走行速度に同期した三相交流を供給するための38 MVA大容量PWM (Pulse Width Modulation) インバータを製作した。現在、車両走行に適した制御系の改善と、高速走行・信頼性確認試験に向けたデータ収集を継続している。

The electric power supply system for the north group of the Yamanashi Maglev Test Line employs a linear synchronous motor with the primary side on the ground; that is, with the superconducting magnets aboard the vehicle and the armature coil on the ground. A pulse-width modulation (PWM) inverter with a rating of 38 MVA supplies 3-phase AC current to the armature coils so as to synchronize with the vehicle speed.

This paper gives an outline of the electric power supply system for the Yamanashi Maglev Test Line.

1 まえがき

超電導磁気浮上式鉄道は、地上側の電力変換装置から列車に供給する電流を制御することにより、個々の列車の速度制御をしている。一つの変換装置から同時に制御できるのは1列車だけである。また、地上推進コイルはセクション単位に分割され、列車が在線するセクションにだけ通電するようにしており、通電セクションは列車の位置や速度に応じて切り換えている。このため、電力供給システムは、運転制御システムからの運転指令に基づき、列車の駆動に必要な電力を供給している。

ここでは、山梨実験線北線用に開発した電力供給システムのうち、電力変換設備について述べる。

2 電力供給システム

山梨実験線の電力供給システムと、運行管理・保安制御システムの構成を図1に示す。

電力供給システムは、電力会社電力を受電する設備、個々の列車を走行制御する駆動制御システム、列車走行に必要な電力に変換する電力変換システムおよび、リニアモータに電力を供給するき電設備により構成される。

駆動制御システムは、運行管理システムから指示されたランカーブに従い、列車の速度や停止位置を制御する。また、列車位置・速度と連携をとって、き電区分開閉器を開閉制御し、き電セクションを順次切り換える。

電力変換システムは、154 kV 2回線で受電し主変圧器で66 kVに降圧した定電圧定周波数電力を、列車駆動に必要な

な可変電圧可変周波数電力に変換して、リニア同期モータの電機子に相当する地上推進コイルへ、き電線・き電区分開閉器を介して供給している。き電方式には三重き電方式を採用しており、片線の電力変換装置は3組(3系分)のPWMインバータを備え、3系分交互に千鳥形に敷設された地上推進コイルに対し、駆動制御システムの指令値に基づき必要に応じた電力を供給する。列車へのき電は、3系のうちつねに二つの系からサイクリックに行い、万一、一つの系がダウンしても残りの2系を使って列車走行が可能である。

3 電力変換システムの設計諸元

3.1 電力変換システムの要求諸元

電力変換システムは、列車重量、走行抵抗から決まる最大出力電流と、列車最高速度から決まる最大周波数、およびリニアモータ定数から決まる最大出力電圧など出力側の要求諸元により、その容量や変換方式が決定される。また、列車の乗りごちの関係から制御性能も規定される。北線における出力側の主な要求諸元を表1に示す。

表1. 列車駆動側からの要求諸元(北線用)
Vehicle control system requirements

出力最大電流	960 A
出力周波数	0~56.6 Hz (連続可変)
出力電流波形	正弦波
給電線	三相4線
制御方式	定電流制御

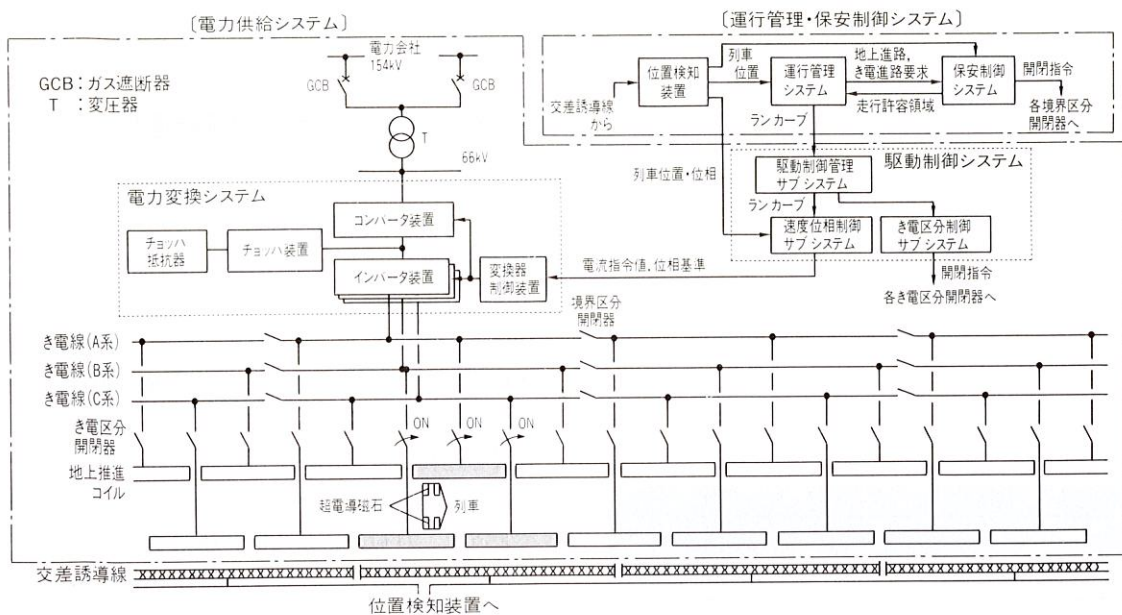


図1. 電力供給システムと運転制御システム リニアモーターカーの走行制御は、運行管理システムの指令により電力供給システムが受けもつ。
Power supply control system of Yamanashi Maglev Test Line

3.2 回生電力の処理

列車の高速から低速までの全領域で有効なブレーキとして電力回生ブレーキがある。この回生電力を電力会社に返す場合には、サイリスタインバータやPWMコンバータが使われるが、山梨実験線の北線電力変換システムでは、電力回生設備は設けず、チョップパ装置により回生電力を抵抗に消費させる方式とした。

4 電力変換システムの設備構成

電力変換システムは、図2のようにコンバータ装置、イ

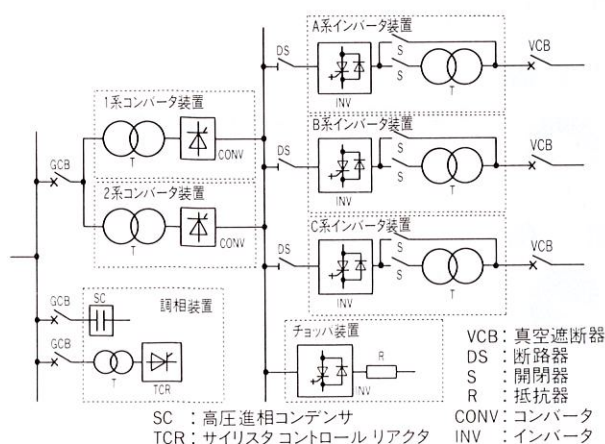


図2. 電力変換システムの構成 高調波低減を考慮した大容量電力変換システムを示す。

Configuration of power conversion system

ンバータ装置、チョップパ装置により構成される。

4.1 コンバータ装置

コンバータ装置は、70 MVA 級の大容量器が必要となるため、大容量の実績があり信頼性の高いサイリスタコンバータによる他励方式を採用した。

コンバータの構成は、電源系への高調波の影響をより少なくするため24パルス型のサイリスタ整流器群とし、これを2並列で運転する。この24パルス整流を実現するために、コンバータ変圧器は大容量器として製作しやすい辺延三角結線として、 $\pm 7.5^\circ$ の位相差を得るものとした。なお、交流電源系に高調波や無効電力変動を抑えるため、50 MVAのフィルタ・調相設備を設けた。

4.2 インバータ装置

4.2.1 主回路構成 インバータ装置定格を表2に示す。インバータ装置は、PWM方式の単相ブリッジ三相4段で構成し、インバータ用変圧器で4段縦続接続することにより、き電線にき電電流960 A、出力周波数56.6 Hzの電力を供給する能力をもつ。

このインバータ用変圧器は可変周波数で使用されることから、特に低周波領域では鉄心が飽和する可能性があるためギャップ付きとし、磁束密度に余裕をもたせた鉄心構造としている。

また、アノードリアクトルに蓄積される電力を回生する回路を設けており、主回路損失低減を図っている。

インバータ装置の外観を図3に示す。

4.2.2 偏磁抑制制御 インバータ装置は電圧型自励式で、出力が電圧源として作用するので、出力電圧に直流分

表2. インバータ装置定格

Specifications of PWM inverter

定格出力容量	38 MVA
定格出力電流	960 A
定格出力周波数	56.6 Hz
定格直流入力電圧	±3,450 V
主回路構成	単相ブリッジ×三相×4 段
制御方式	PWM 方式
定格変調周波数	500 Hz
使用素子	4,500 V-3,000 A-GTO サイリスタ
素子構成	4SIP×4 アーム×三相×4 段



図3. インバータ装置 世界最大級の38 MVA インバータを示す。
External view of PWM inverter

が含まれると出力変圧器の鉄心が偏磁し、最悪の場合は過電流に至る。そこで、出力変圧器の巻線と並列にパイロットリアクトルを設け、そのリアクトル電流を検出し、半サイクルごとのピーク値の差分を演算することにより直流分を検出して、この直流分を抑制する制御をすることにより、偏磁を防止している。

4.2.3 逆起電力補償 列車が高速になると、逆起電力が大きくなり電流制御が難しくなるため、逆起電力をあらかじめ演算しておき、速度に応じて補償する方式としている。

4.3 チョップ装置

チョップ装置は、ブレーキ時の回生電力を抵抗器で消費させる装置である。回生ブレーキは常用ブレーキで信頼性確保のため、チョップ構成を5 並列とし、1 並列故障の場合はそのアームを切り離し、システムとして運転継続する。また、このチョップ装置は、インバータ装置の運転前などコンバータ装置が無負荷状態のとき、直流電圧制御の安定化のため電力を消費させる機能も持っている。

チョップ装置の最大容量は19 MW で、車両側からの回生電力により直流電圧が定格値の3% 上昇した±3,550 V 以上

になったとき、運転を開始する。

5 電力供給システムの協調運転

サイリスタコンバータは、無負荷時に電流断続を避けるため、チョップ装置を負荷として継続運転している。この電力はロスになるため、コンバータ無負荷時は、コンバータ8ブリッジのうち4ブリッジだけ運転する半減運転をしている。また、インバータ装置が電力を供給し、コンバータ負荷が大きくなるとチョップ装置の運転を停止する。さらに回生電力が発生して直流電圧が上昇すると、チョップ装置を運転しコンバータは停止する。

このように、インバータ装置、コンバータ装置、チョップ装置は、負荷に応じて協調運転させる必要があるため、それぞれの装置に必要な電力特性をもたせ、独立に運転させている。

6 あとがき

山梨リニア実験線北線用電力供給システムは完成し、コイル負荷試験は、ほぼ当初要求された特性を得ることができた。今後の走行試験でさらに制御系のチューニングを行い、当初目的の高速走行と長期信頼性を達成する所存である。

この開発は国からの補助金を受けて実施している。



加賀 重夫 Shigeo Kaga

鉄道総合技術研究所 電気部主任技師。
超電導磁気浮上式鉄道用電力変換システムの開発に従事。
電気学会会員。
Railway Technical Research Institute



伊藤 健治 Kenji Ito

交通事業部 交通電力制御システム技術部主幹。
超電導磁気浮上式鉄道のシステム設計に従事。電気学会会員。
Transportation systems Div.



麦屋 安義 Yasuyoshi Mugiya

交通事業部 交通電力制御システム技術部主査。
超電導磁気浮上式鉄道のシステム設計に従事。電気学会会員。
Transportation systems Div.



伊藤 秀夫 Hideo Ito

府中工場 パワーエレクトロニクス部主務。
電力変換装置のシステム開発・設計に従事。電気学会会員。
Fuchu Works