

日本国有鉄道納め

浮上式鉄道実験線用給電装置

Electric Power Supply Equipment for Linear Synchronous Motor for Experimental Levitated Vehicle of High Speed Ground Transportation Supplied to the Japanese National Railways

日本国有鉄道が宮崎県に建設中の浮上式鉄道実験線の推進方式は、地上一次リニアシンクロナスモータ推進方式である。

軌道の推進コイルは、き電区分開閉器で多くのき電区間に分割して給電されるため、開閉器のしゃ断責務が軽く、き電区分切替時の推力脈動がない給電方式が要求される。また、推進コイルに給電する周波数0～33.1Hz、相電圧約3kV及び電流1,100Aの大容量のサイクロコンバータは、電流休止時間が短いえ応答速度が速く、かつ高精度の電流制御性能が必要である。

そこで新たに複合給電方式及びサイクロコンバータ制御装置を開発して実験線に適用した。サイクロコンバータの電流制御性能については、デジタルシミュレーションなどで予測を行ない、当初の目標が達成できる見通しを得た。

小池茂喜* Koike Shigeyoshi
中村 清** Nakamura Kiyoshi
田村 薫*** Tamura Kaoru
桑原 誠**** Kuwabara Makoto

1 緒 言

日本国有鉄道は、将来予想される大都市間の大量・高速輸送需要の増大にこたえ、かつ低騒音など公害の少ない大量・高速輸送手段の研究を行ない、着々と成果をあげつつある。このたび、数多くの基礎的研究成果を基にして、実用化のための諸データを得る目的で車両重量10t、目標速度500km/hという本格的な試験線を宮崎県に建設し、昭和52年9月から運用を開始した。試験線は浮上式鉄道実験線と呼ばれ、宮崎県日向市美々津から都農町にわたる全長7kmで、現在一部の区間が完成している。

車両の推進方式は、逆T形軌道に電動機のステータコイルに相当する推進用コイルを設置し、このコイルに電流を流して、電流の位相、周波数及び電流値を制御することにより車両推力制御と速度制御を行なっている。一方、車上には電動機のロータコイルに相当する超電導磁石を設けたいわゆる地上一次リニアシンクロナスモータ(LSMと略す)方式である。車上には推進用の集電装置をもたないことが特長の一つになっており、高速走行中の接触集電の困難さを解決している。

軌道全線にわたり設置された推進コイルは、き電区分開閉器によって約30mごとのき電区間に分割され給電されている。き電区分開閉器は、車両が存在するき電区分、及び車両が進入開始したき電区分に変電所から電流が供給できるように制御されている。また変電所のサイクロコンバータは、車両の制御のほかにき電区分開閉器の無電流開閉のためにも制御されている。

日立製作所は9.64MVAサイクロコンバータ1台と変電所の総括制御装置を日本国有鉄道の指導を得て製作納入した。同時に浮上式鉄道実験線の $\frac{1}{400}$ の容量をもった電氣的に等価な給電装置と制御装置とを日立製作所内に設置して¹⁾、種々データの取得とデジタルシミュレーションによる性能解析も実施している。この結果から、高速走行時でも所期の性能が得られる見込みである。

2 浮上式鉄道実験線の給電-制御系統

2.1 システム構成及び主要諸元^{2), 3)}

浮上式鉄道実験線は、宮崎県日向市美々津から東都農にわたる全長7kmの区間に建設されている。美々津には実験センターがあり実験線の中核となっている。変電所は、実験センターから3.1km離れた国鉄東都農駅に近く設けられており、地上の推進コイルへの電力の供給と周波数、電流値、位相などの制御を行なっている。表1に、浮上式鉄道実験線の主要な諸元を示す。車両の推進は、地上の推進コイルと車両の車長方向に設けられた超電導磁石で直線的な同期電動機(LSM)を構成させ、同期電動機のステータコイルに相当する推進コ

表1 浮上式鉄道実験線の主要諸元 浮上式鉄道の主な方式と車両性能を示す。

項 目	諸 元
軌 道 長	7 km
給 電 方 式	複合給電方式 区分長29.4m
推 進 方 式	地上一次両側式リニアシンクロナスモータ
案 内 方 式	ヌルフラックス磁気案内（推進案内併用方式）
浮 上 方 式	誘導反発式磁気浮上
ブレーキ方式	常用：回生 非常：発電 緊急：機械
車 両 性 能	重量：10 t, 長さ：13.5m 最高速度：500 km/h 推力：4.4 tf 浮上力：10 tf 案内力：5 tf

* 日立製作所水戸工場 ** 日立製作所日立研究所 *** 日立製作所日立工場 **** 日立製作所機電事業本部

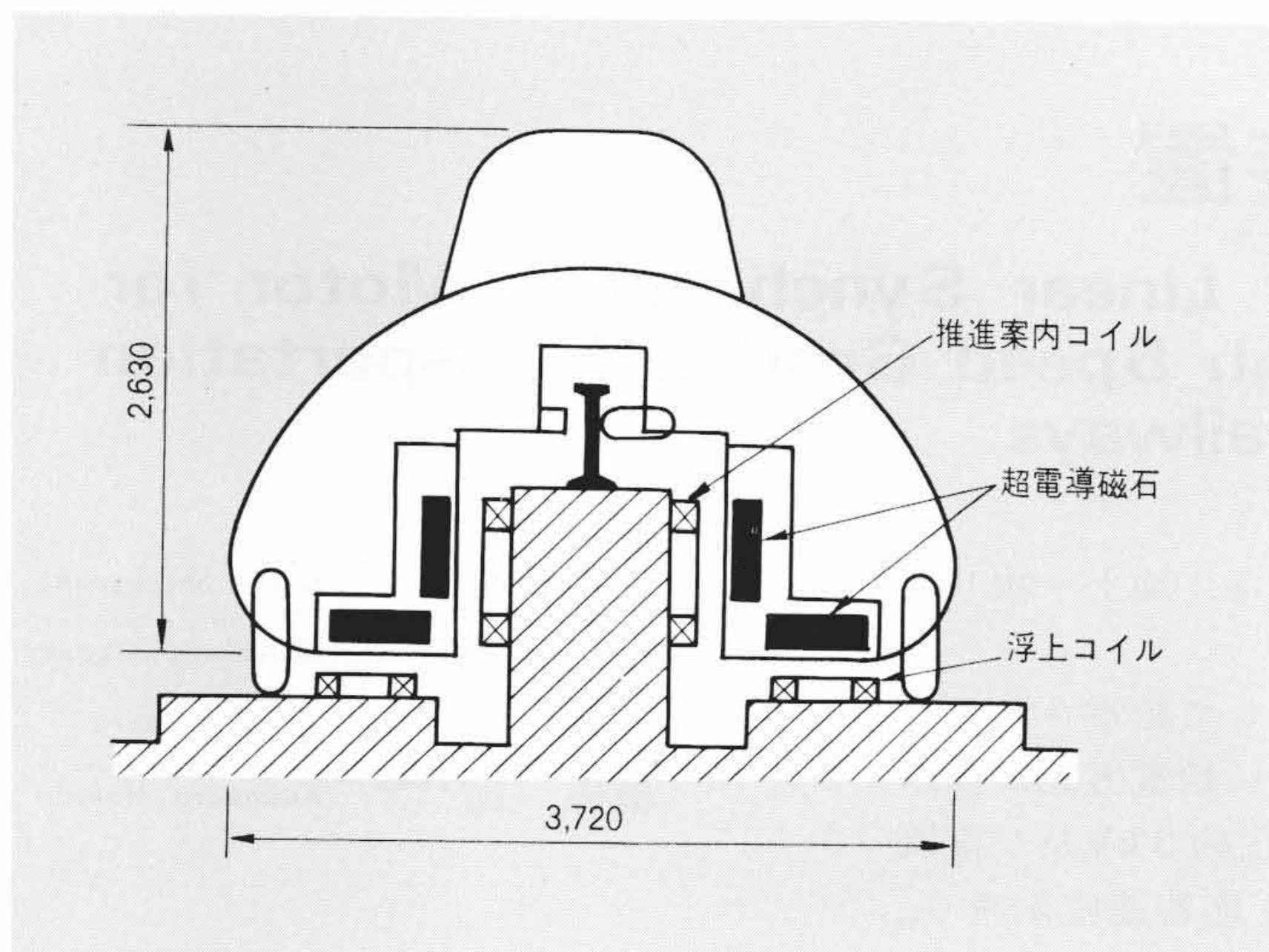


図1 車両と地上側コイルとの位置関係 車両の推進は、地上の推進案内コイルに車上の超電導磁石に同期した電流を流すことによる。

イルに超電導磁石の移動速度、すなわち車両速度に同期した周波数で電流を流すことにより行なわれる。推進コイルは、超電導磁石と相対運動を行なうために、反発力を生じ、車両を逆T形軌道の中央に戻す力、すなわち案内力を生ずるので、推進案内コイルとも呼ばれている。

図1は、車体の幅方向断面図で地上のコイルと車上の超電導磁石の位置関係を示すものである。

図2に、推進案内コイルに電力を供給する系統図を示す。すなわち、九州電力株式会社から66kV 60Hzの三相交流を受電し、同期電動発電機で11kV 120Hzの三相交流に変換し、サイクロコンバータの電源としている。サイクロコンバータ(以下、CCと略す)は変電所に2台設置され、推進案内コイルの電流を200Aから1,100Aまで連続制御し、周波数は0から33.1Hzまで連続制御する。2台のCCは、ある瞬間ラップしながら交互に運転され、一つのき電区分の推進コイルに電力を供

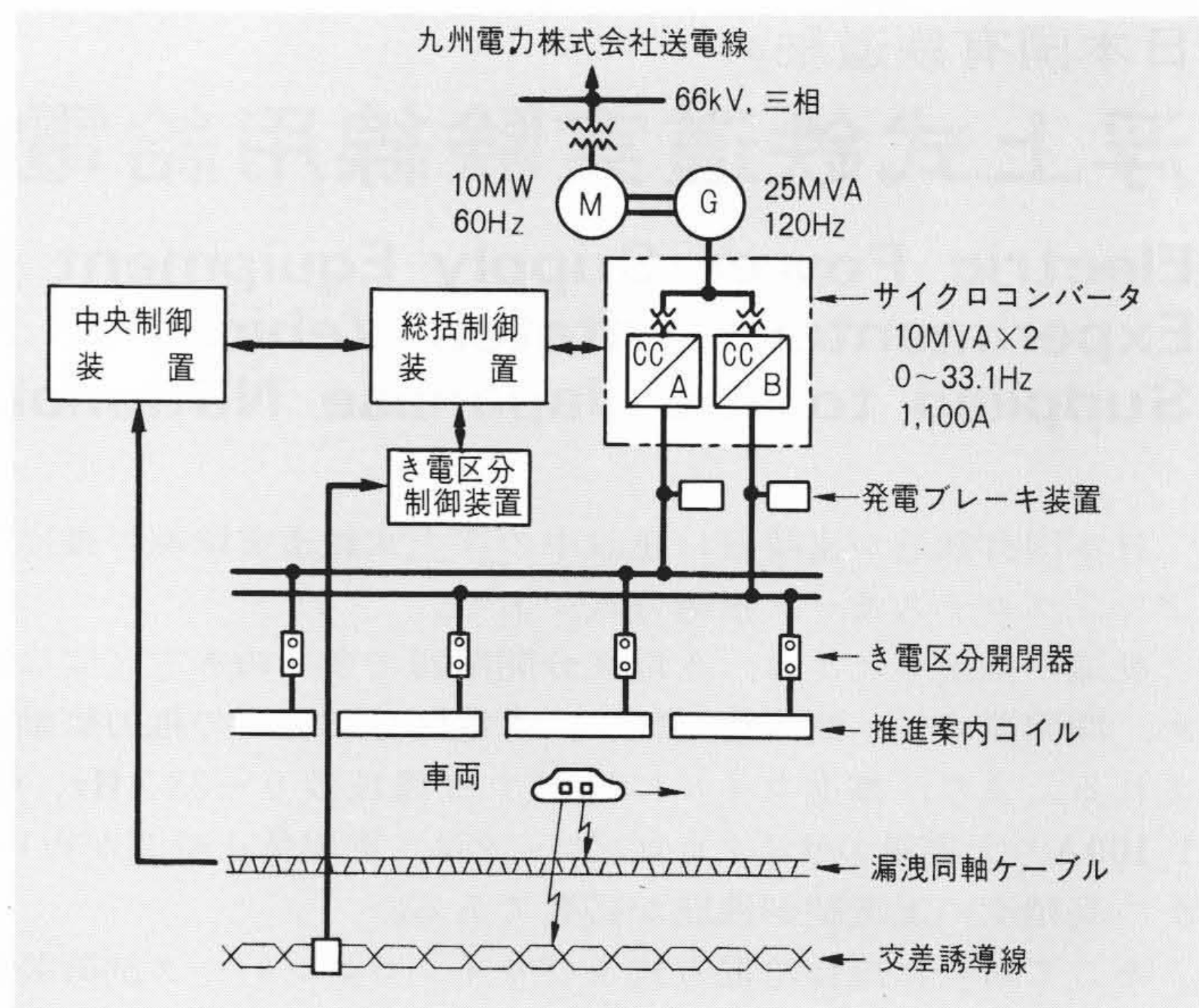


図2 浮上式鉄道実験線のシステム構成 漏洩同軸ケーブル及び交差誘導線から送られてくる車両位置をもとに、2台のサイクロコンバータにより交互に推進案内コイルに給電する。

給している。CCの制御は、実験センターの中央制御装置から変電所の総括制御装置に送られてくる制御信号によって運転される。

2.2 複合給電方式とき電区分の切替制御⁴⁾

CCを2台設け、1台は奇数のき電区分に、他方は偶数のき電区分、車両の進行に合わせて電力を供給する。車両がき電区分にまたがるときは、両方のCCから電力を供給して推力の脈動(変動)を無くす。この方式を複合給電方式と称し、図3にシステムの構成を示す。同図は車両が①より④まで進行する場合のき電区分開閉器とサイクロコンバータの運転状況とを図示したものである。車両の位置は、車上の位置検出器から漏洩同軸ケーブルと交差誘導無線とによって地上に送

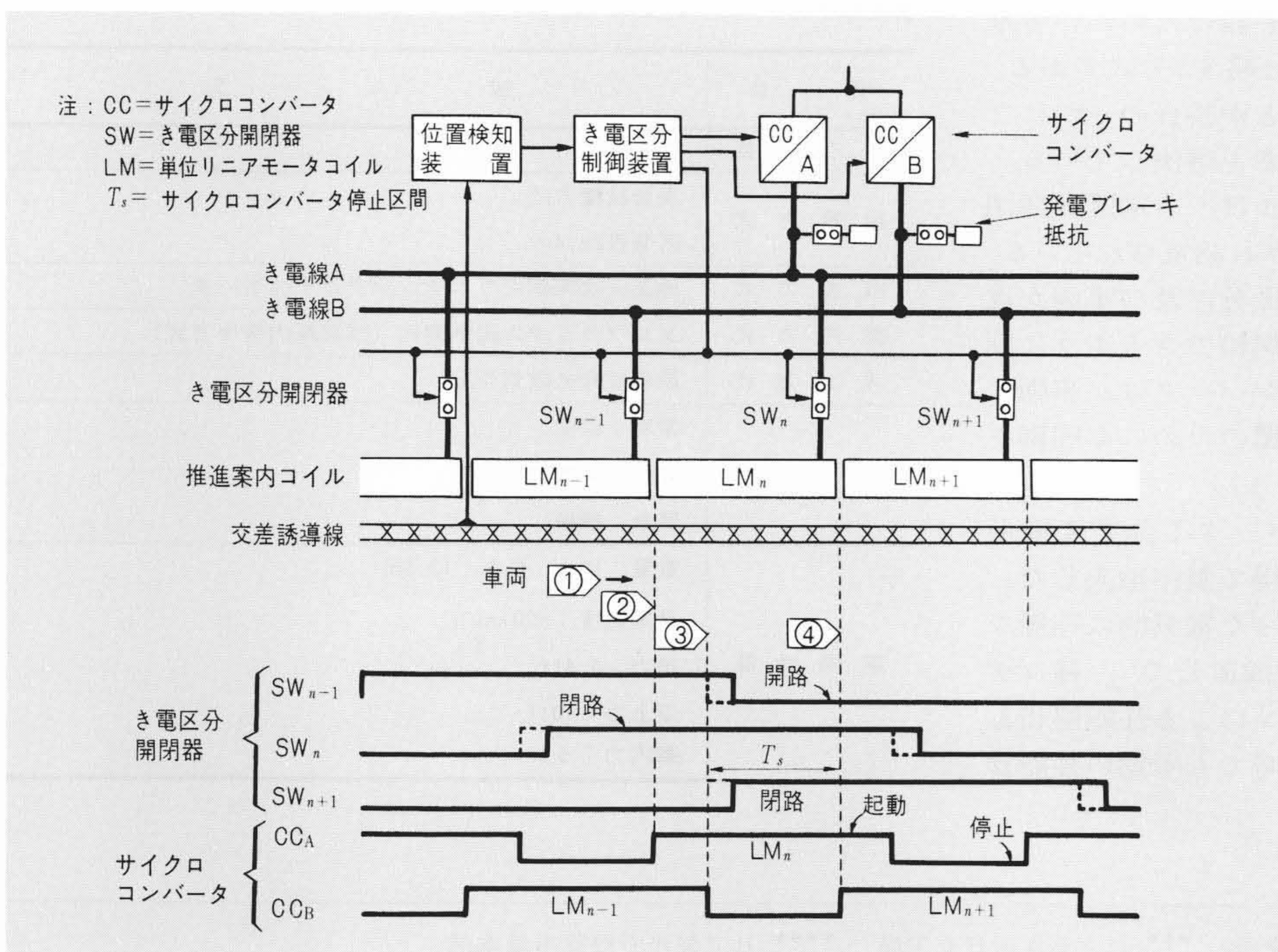


図3 複合給電方式のき電区分切替制御動作図 き電区分開閉器は、サイクロコンバータが停止しているときに、投入及び開放を行なう。

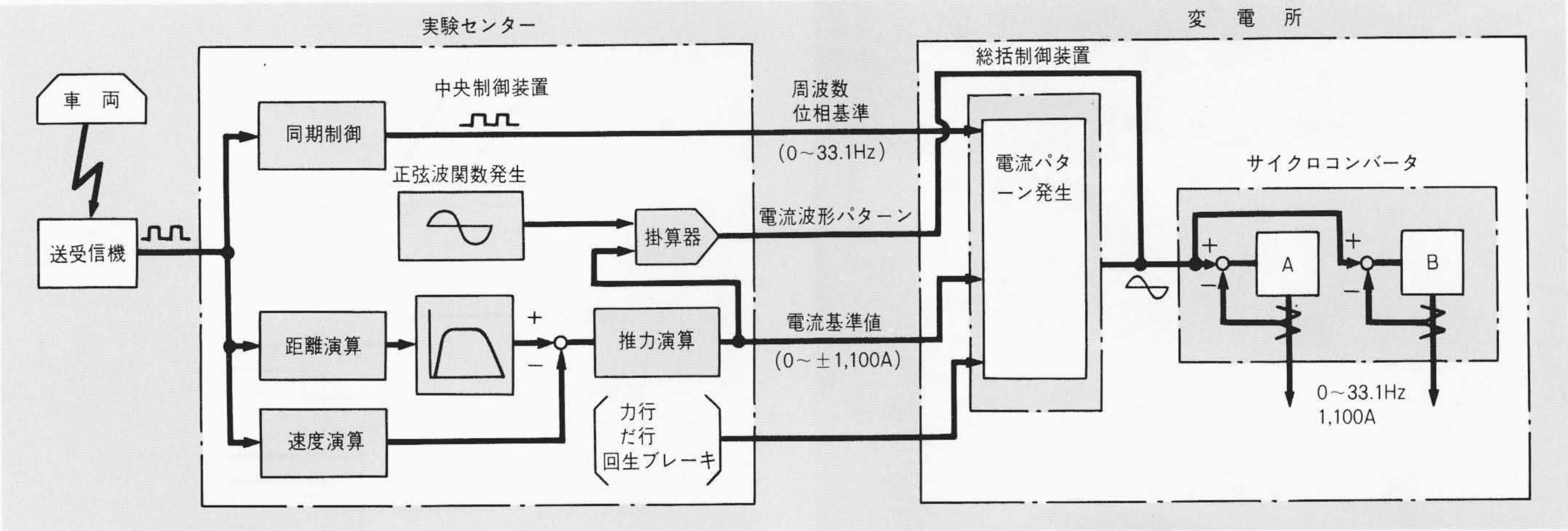
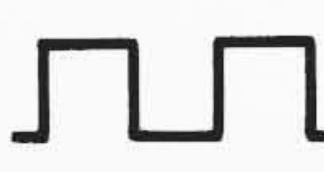
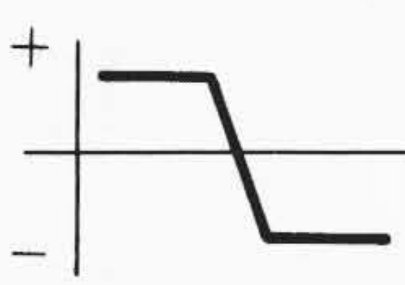
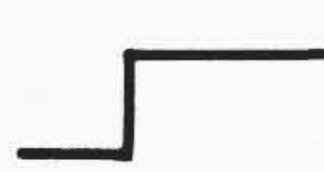
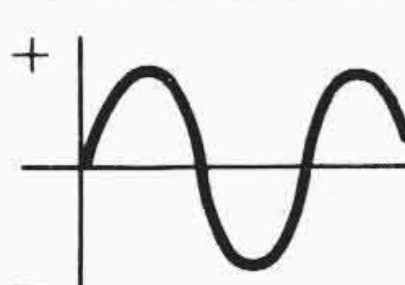


図4 LSM推進制御系のブロック図 サイクロコンバータの制御のために、実験センターから出力される信号の経路を示す。

表2 実験センター変電所間の信号伝送方法 実験センター変電所間の信号はこの4種類の伝送方法によっている。

代表信号名	信号レベル	伝送方法
位相基準	 24V 0~33Hz	インタフェース — MODEM — MODEM — インタフェース
電流値基準	 アナログ ±10V	A/D変換 — 継電器 — 7ビット — 継電器 — D/A変換
力行指令	 24V	継電器 — 継電器
電流波形パターン	 アナログ ±10V 0~33Hz	絶縁アンプ — 絶縁アンプ

られ、制御信号に変換されてCCへ送られる。推進案内コイルは、コイルピッチ1.4mで設置され21個で一つのき電区分約30mを形成している。き電区分開閉器は、車両の進行に応じ、車両の存在するき電区分、及びこれから進入しようとするき電区分だけに給電するよう制御される。このため、電力効率も良い。また、き電区分開閉器は、これを開くときCCが電流を0にする制御を行なうので、無電流で開いている。

2.3 実験センタから変電所へのCC制御信号

CCを制御するための基本信号は、車両に設けられた超電導磁石と推進案内コイルの相対位置検出装置により出される。その信号は、図4に示すように車上から無線装置で地上の中央制御装置に送られ、推進案内コイルのU相、V相、W相の位相や車両の位置と速度が計算される。その結果は、変電所へ周波数(位相基準)や電流値として送られる。変電所では、これらの信号に基づき、推進コイルに流す電流の波形及び周波数と位相を決め、CCが出力すべき波形を決定し、CCの実際の出力値との偏差がないような閉ループの電流制御を行なう。

実験センターと変電所は約3.1km離れている。この区間の

制御信号の伝送は、推進案内コイル用き電線から生ずる誘導雑音に対するSN比改善のため、信号の重要度と信号レベルによって表2に示すような4種類の伝送方式を採用している。

3 CC制御装置

3.1 制御装置の構成

CC制御装置は、サイリスタ変換器とそのゲートを制御するゲート制御装置、電流パターンに追従した出力電流が流れるようゲートパルス位相を制御する電流制御装置、正側変換器及び逆側変換器の切替えを非循環電流方式で行なう正逆切替制御回路、電流制御及び正逆切替制御に使用する高精度の瞬時電流検出器、電流パターン発生装置などから構成される。それらの外形図を図5に、また制御ブロック図を図6に示す。

3.2 サイリスタ変換器

変換器の主な仕様は次に述べるとおりである。

- (1) 結線：12相H接続
- (2) 定格入力線間電圧：2,300V×2
- (3) 入力周波数：三相 120Hz

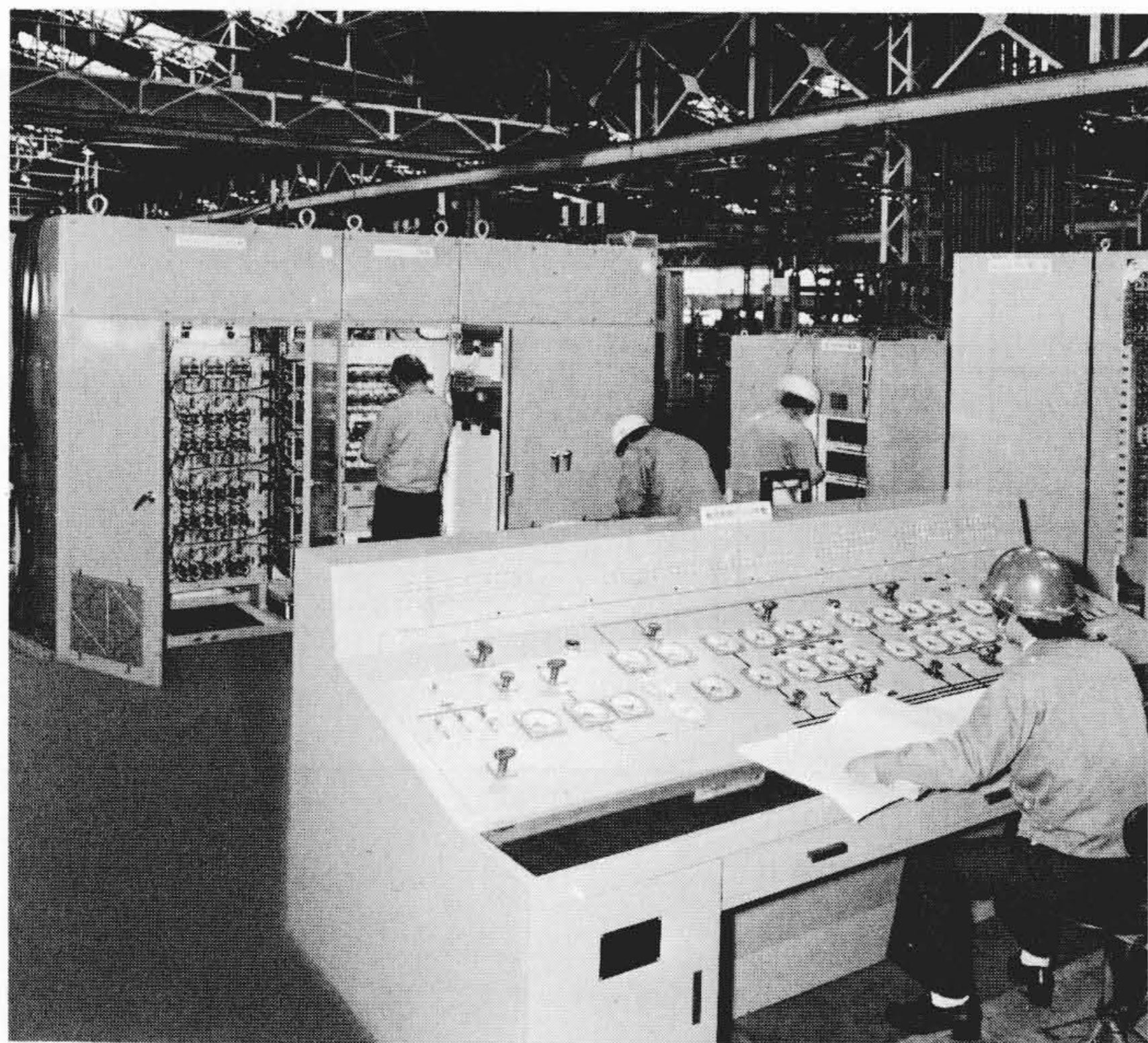


図5 総括制御装置とサイクロコンバータ制御装置 工場内組合せ試験状況を示す。(手前と右側が総括制御装置、中央の奥がサイクロコンバータ相分)

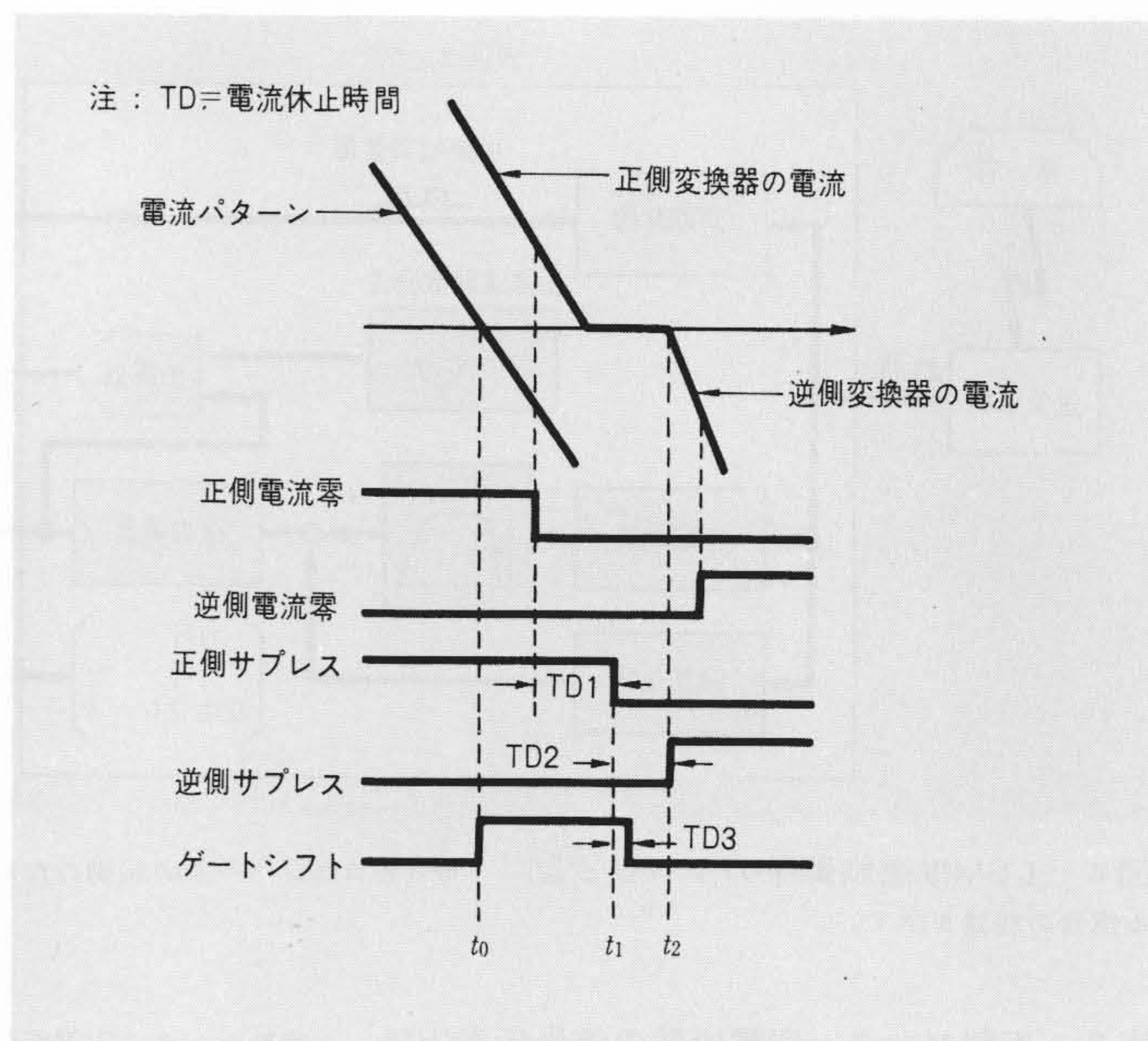


図7 正逆切替動作チャート 電流パターンが0になったことによりゲートシフトし、正側変換器の実電流の0近くを検出して、 $TD_1 + TD_2$ の休止を設け完全に電流が0になった後に逆側変換器を動作させる。

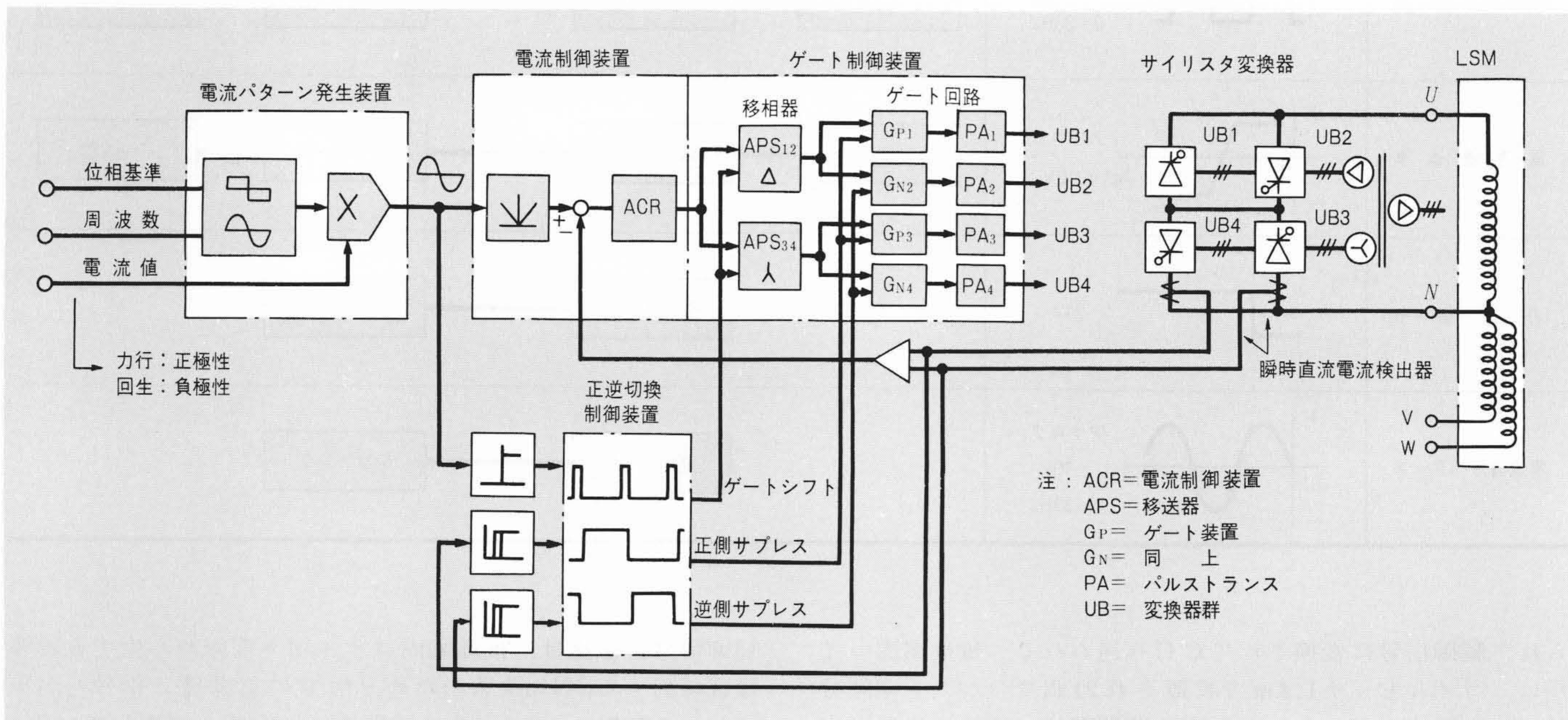


図6 サイクロコンバータ制御装置のブロック図 実験センターから送られた信号により、電流パターンを発生しサイリスタ変換器を制御する。

- (4) 定格出力容量：三相 9,640kVA
- (5) 定格出力電圧：2,922V
- (6) 定格出力電流：1,100A
- (7) 出力周波数：連続可変 0～33.1Hz
- (8) 使用素子：3,500V 800Aサイリスタ

ゲート制御装置は、パルスアンプをロイヤ発振器タイプとしてパルストランスの小形化を図った。そのパルストランスは静電シールド付とし、信号の授受はホトカプラを使用して耐ノイズ性を配慮した。不完全パルスによるサイリスタ点弧を防止するため、ゲートサプレス時及びゲートスタート時のパルス幅確保回路を設けた。

3.3 正逆切替制御装置^{5), 6)}

CCでは、出力電流の休止時間の出力周期に占める割合が大きくなると、(i)電気出力の低下、(ii)推力の脈動、(iii)通電極性切替時の出力電流立上りの悪化などが問題となる。したがって、正逆切替性能はCCとして利用するのに適当な上限周波数に影響を与える。このため、電流休止時間を極力小さくすることが望まれるが、一方では逆並列短絡は確実に防止しなければならない。そこで安定した切替動作で、かつ切替時間を短縮するために、次の点に重点を置いて正逆切替論理回路を構成した。

- (1) 安定した電流零検出

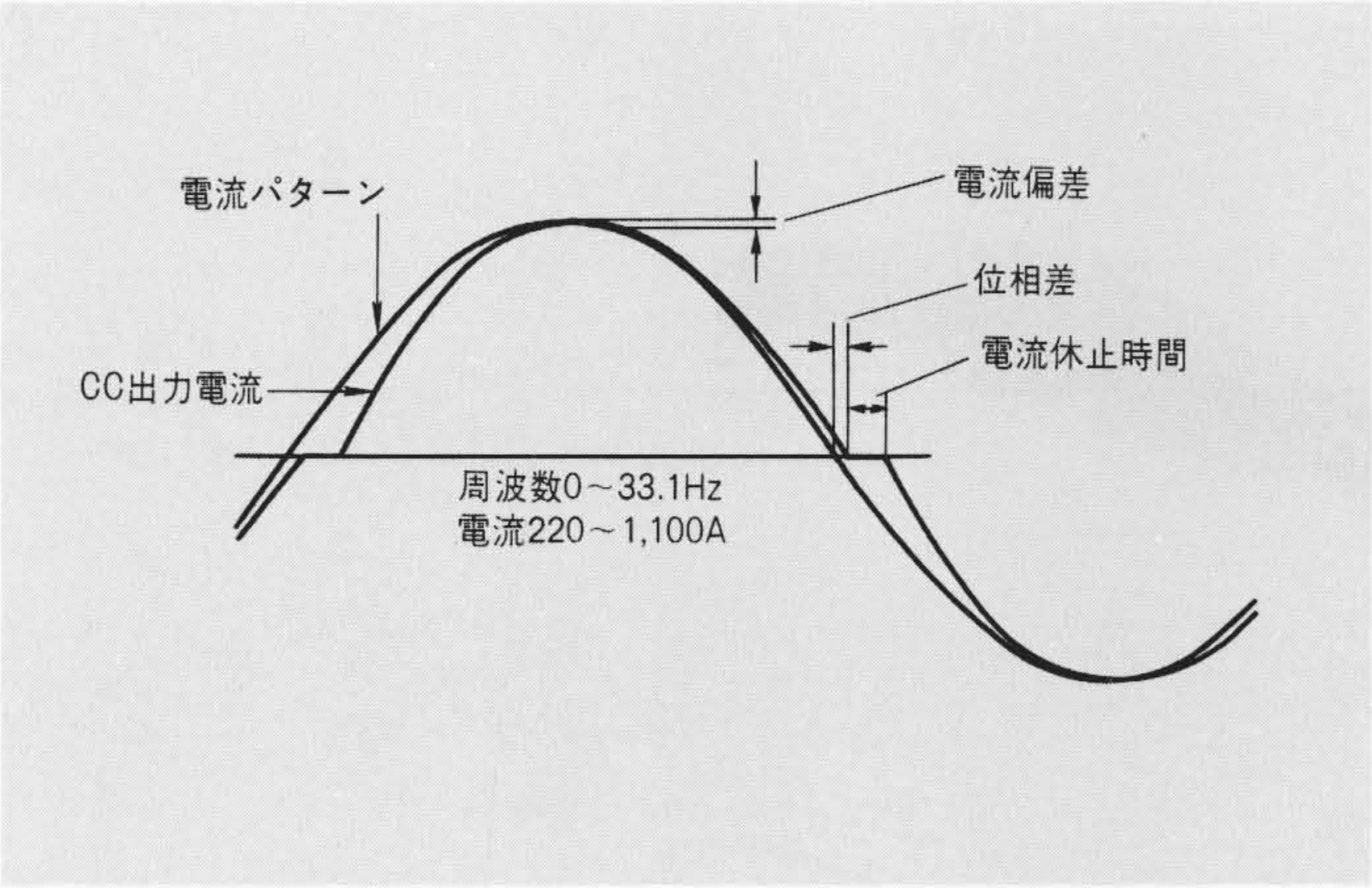


図 8 出力電流制御性能の規定諸元
 サイクロコンバータの性能は、電流パターンに対し出力電流がいかに偏差が少なく流せるかにより評価する。

ピークホールド回路及びヒステリシス付コンパレータを使用する。

(2) 電流零検出後の電流零点の確定

電流零検出レベルをできるだけ小さく設定し、かつ時素TD 1の期間強制的にゲートシフトし、この間で確実に電流が0となるようにする。

(3) 安定したサイリスタ主回路状態で、逆側変換器へのゲート分配

正逆両変換器を時素TD 2の間にゲートブロックし、サイリスタ素子が完全にオフした状態で逆側変換器をゲートスタートさせる。

以上の時素TD 1及びTD 2を適切に設定することにより、短い電流休止時間で安定した正逆切替動作が得られる。図7は正逆切替動作のチャートを、図8は出力電流制御性能を規定する主な諸元を示す。

表 3 クレーマ形直流変流器と磁気半導体制御瞬時電流検出器の比較
 クレーマ形に較べて瞬時電流検出器は優れている。

項目	変流器	クレーマ形直流変流器	瞬時電流検出器
回路図			
回路方式		直列式	並列式
入出力特性			
出力電流波形			
相 対 誤 差		スリットの影響がある。	クレーマ形より小
リ ッ プ ル		出力電流の100%	励磁電流分だけで極めて小
入力の極性が急変した場合		出力巻線に高電圧が発生する。	高電圧は発生しない。

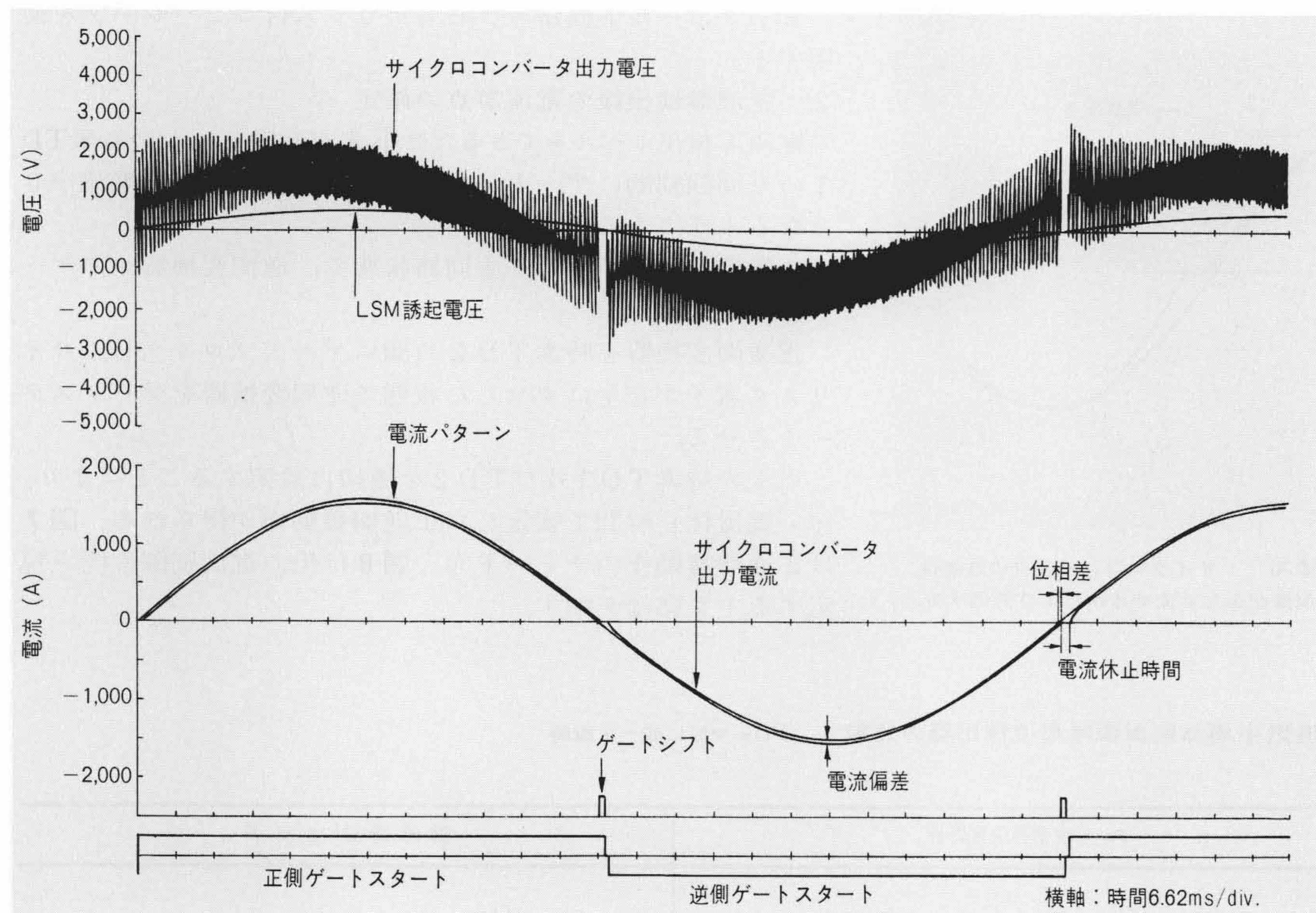


図9 95km/h走行(力行)時のシミュレーション結果
95km/h (6.3Hz), 1,100A, 力行時のシミュレーション結果であるが、社内等価試験装置の結果とよく一致している。

3.4 磁気半導体制御瞬時電流電圧検出器⁷⁾

安定した電流の切替えを行なうためには、高精度で信頼性が高く0～33.1Hzの電流を検出する瞬時検出器が要求される。出力電流の検出は、変換器の出力側で行ない、かつ検出器の内在リップル電流が極めて小さい表3の右欄に示す磁気半導体制御瞬時電流検出器を使用した。これは通常のクレマ式の直流変流器にはスリットが存在し、これが電流制御性能を悪化させるためである。

3.5 電流制御性能

CC制御装置の電流制御系の性能検討は、線形近似した周波数特性計算でかなりのことが推測できるが、実際的でない

点があるため図6に示すCC制御装置をサイリスタ変換器、及び正逆切替制御装置も含め忠実にシミュレートしたデジタルシミュレーションプログラムを開発し、電流制御性能、正逆切替制御、電源能力などを検討した。

図9に時速95km/hでのシミュレーション結果を、図10にシミュレーションで予想される電流制御性能を示す。これにより、高速走行時でも所期の電流制御性能が得られる見通しを得た。更に、 $\frac{1}{400}$ 容量の等価試験装置を用いて確認を行なっている。

4 結 言

日立製作所では以上述べたように、浮上式鉄道実験線用複合給電方式及びサイクロコンバータ制御装置を開発した。サイクロコンバータの制御性能は、デジタルシミュレーションによる予測により当初の目標を達成できる見通しを得た。

終わりに、給電装置の開発に当たって終始御指導をいただいた日本国有鉄道の関係各位に対して深く感謝する次第である。

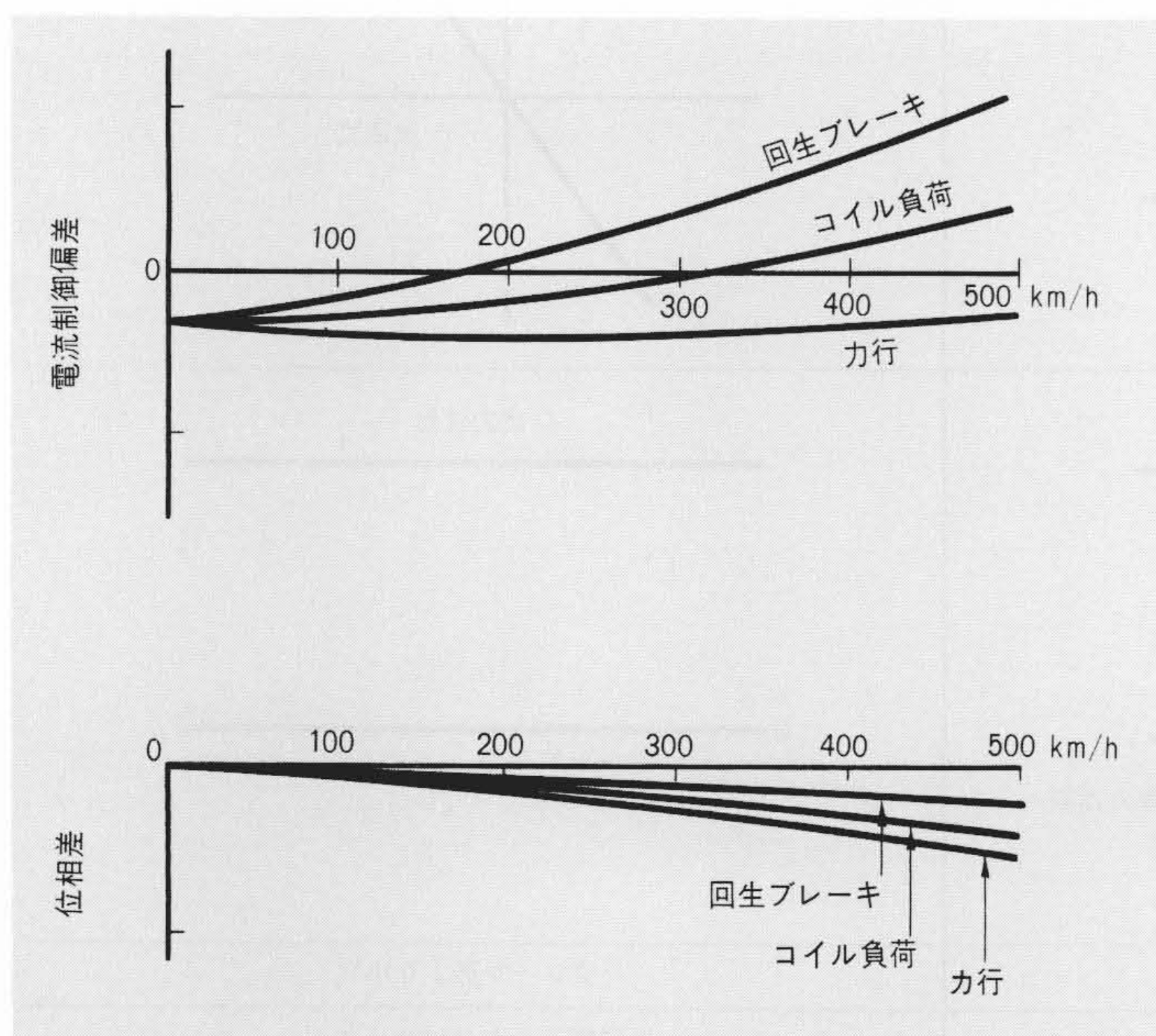


図10 電流制御系の制御特性(シミュレーション結果) シミュレーションの結果、全速度域で所期の電流制御性能が得られる見通しである。

参考文献

- 1) 井坂・ほか：リニアシンクロナスモータ推進制御方式の等価実験装置の検討，昭和53年度電気学会全国大会(昭53-4)(昭52-12)
- 2) 前川：浮上式鉄道実験線の電気設備，JREA 20巻，4号(昭52-4)
- 3) 青野：浮上式鉄道の情報制御システム，信号，保安 32巻，5号(昭52-5)
- 4) 中村ほか：地上1次リニアモータ給電方式(2)，複合給電方式の検討，電気学会全国大会，(昭48-3)
- 5) 中村・ほか：逆並列接続サイリスタ変換器を用いたサイクロコンバータの制御装置，電気学会全国大会(昭52-7)
- 6) 田村・ほか：大容量サイクロコンバータの電流切替時間の検討，昭和53年電気学会全国大会(昭53-4)
- 7) 中村・ほか：浮上式鉄道実験線のサイクロコンバータに用いる磁気増幅器式瞬時電流・電圧検出器，鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム(昭52-11)