

日本国有鉄道回生ブレーキ付713系近郊形交流電车用 RS48形主制御整流装置

*1 佐藤 洋(さとう ひろし)

*2 千崎 文雄(せんざき ふみお)

*2 矢野 和博(やの かずひろ)

*3 木下 繁則(きのした しげのり)

① まえがき

日本国有鉄道(国鉄)では、昭和59年2月1日の全国ダイヤ改正に合わせ、新形式713系近郊形交流電車4編成を九州の博多-佐世保間の営業運転に投入した。

この電車は、交流電化区間の地方中核都市周辺及びローカル輸送改善のために開発された小編成単位の車両で、我が国で初めてサイリスタ制御による電力回生停止ブレーキを交流電車に適用したものである。また、近年発達のめざましい単相整流器回路解析技術(リアクタンスマトリックス法)による主変圧器、主整流器の高調波低減・力率向上設計、パワーエレクトロニクス・マイクロエレクトロニクス技術による車両制御性能向上、及び絶縁材料技術による高耐熱形主電動機の採用など幅広い分野の最新技術が採り入れられている。

富士電機は国鉄車両設計事務所を中心とした主要電気機器の設計計画に参画し、主整流器を製作するとともに、実負荷模擬運転試験を実施した。更に、車両メーカーにおける車両完成後の調整試験及び国鉄における本線試運転を経て、すべての機能が正常に動作することを確認した。

以下、713系電車の概要及び車両制御の中心をなすRS48形主整流器について述べる。

② 713系電車の概要

図1に電車の外観、表1に主要諸元を示す。

この電車の基本編成は1電動車1付随車(1M1T)の2両1ユニットで、車両形状・寸法は従来の近郊形電車を基本とした、クリーム色基調の緑色帯を巻いた新鮮感あふれる

図1 713系近郊形交流電車

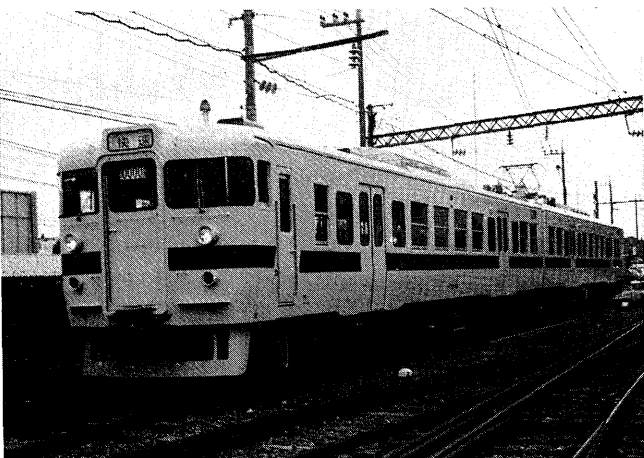
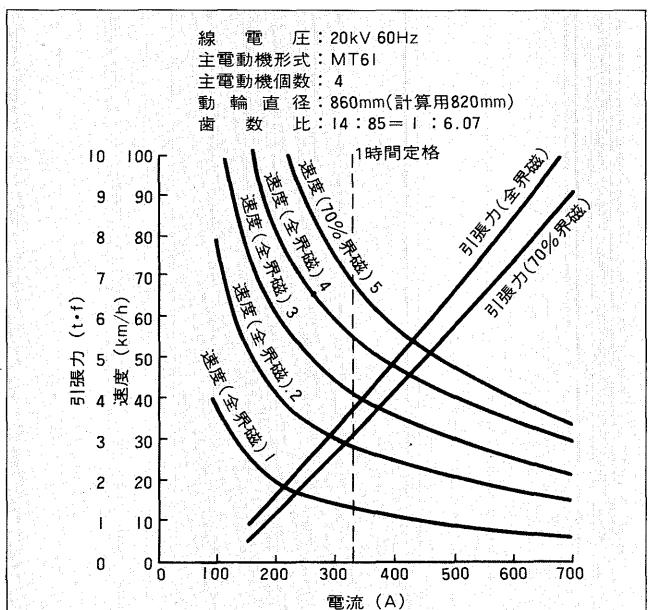


表1 主要諸元

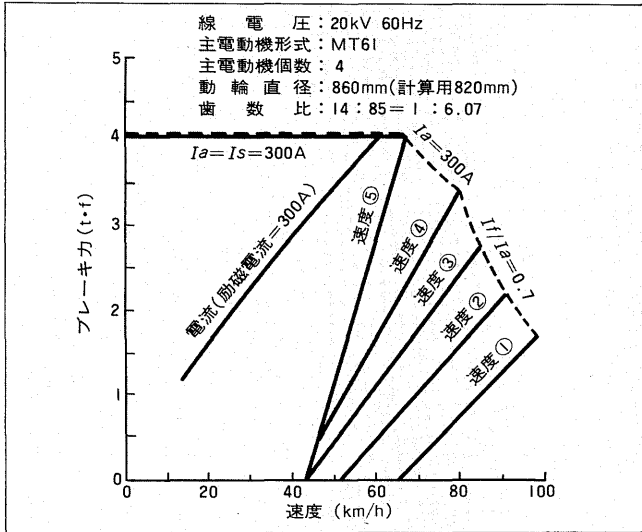
定員	座席	T車65, M車60
	立席	T車116, M車120
自重	(t)	T車33, M車45
主要寸法	最大長(mm)	20,000
	最大幅(mm)	2,900
	最大高(mm)	3,654
	車輪直径(mm)	860
性能	動力伝達方式	中空軸平行カルダン式
	歯数比	1:6.07(14:85)
	1時間定格出力(kW)	600
	1時間定格引張力(kg)	3,900
最高運転速度(km/h)		55
		100
制御方式	制御方式	サイリスタ位相制御, 界磁制御(他励), 回生ブレーキ付
	制御装置	制御整流器RS48(風冷) 主制御器CS55
主電動機	形式	MT61
	方式	直流直巻補極付全界磁, 自力通風式
1時間定格		150kW, 500V, 330A
	主変圧器	TM22(シリコン油入外鉄形送油風冷式)
冷房装置		AU710(集中式)
ブレーキ方式		SELR回生ブレーキ併用電磁直通空気ブレーキ抑速付, 自動空気ブレーキ, 直通予備ブレーキ手ブレーキ付

図2 力行ノッチ曲線



*1 輸送特機事業部 技術第一部 *2 神戸工場 制御装置部 *3 技術統括部 強電電子開発部

図3 回生ブレーキ曲線



る車両である。

力行性能は1M2T編成で現行の415系電車(2M2T)に近い性能とし、かつ25%こう配を含む線区での走行が可能である。最高速度は100km/hで、主電動機としてはH種絶縁のMT61形を新設計し、高速性能が大幅に向上されている。

停止ブレーキ性能は、サイリスタ整流器による電力回生ブレーキ制御により、電車の大部分のブレーキ力が負担できる。

抑速ブレーキ性能は、1M2T編成・25%下りこう配の条件で電力回生ブレーキだけで編成分のブレーキ力が負担できる。図2に力行ノッチ曲線、図3に回生ブレーキ曲線を示す。

3 主制御整流装置

3.1 主制御整流装置の仕様

表2にRS48形主整流装置の仕様を示す。

使用素子は、国鉄標準のCSI400-25(2,500V 400A、富士電機形式EGP04-25)で、4段縦続接続サイリスタ均一ブリッジ回路が構成されている。また、主電動機界磁励磁用混合ブリッジ回路及び電圧電流制御装置も同一箱内に収納されている。

冷却は長年の運転実績のある乾式強制風冷方式を採用し、床下搭載形としてコンパクトにまとめられている。

3.2 主回路構成

図4に主回路接続図を示す。高調波電流低減特性をもった主変圧器の二次側は四等分割で、その各々の巻線にサイリスタ均一ブリッジ4段が縦続接続されている。主整流器直流出力は、脈動電流平滑用の主平滑リアクトルを介して4台直列接続された主電動機の電機子回路に給電される。また主変圧器三次側には界磁用混合ブリッジ整流器が接続され、電機子回路と同様に4個直列の他励界磁巻線に給電される。界磁が力行・ブレーキともに他励制御される点が

表2 RS48形主制御整流装置の仕様

形 式	RS48形
方 式	主回路：サイリスタブリッジ4段直列非対称制御方式 界磁回路：サイリスタ混合ブリッジ制御方式
定格出力 (kW)	主回路：660、界磁回路：12
定格直流電圧 (V)	主回路：2,000、界磁回路：37
直流電流 (A)	主回路：330(連続)、界磁回路：330 主回路：160%(18分)、—
定格周波数 (Hz)	60
周囲温度 (°C)	-10~+40
サイリスタ	主回路：CSI400-25(国鉄形式) EGP04-25(富士電機形式) 2,500V-400A 界磁回路：CSI400-8(国鉄形式) EGP04-8(富士電機形式) 800V-400A
ダイオード	界磁回路：SI800-8(国鉄形式) ERP04-8(富士電機形式) 800V-800A
素子構成	主回路：1S×1P×4A×4B 界磁回路タイリスタ：1S×1P×2A 界磁回路ダイオード：1S×1P×2A
冷却方式	乾式強制通風冷却方式
冷却風量(m³/min)	45

従来の力行時直巻接続、回生ブレーキ時他励接続方式と異なっているが、架線電圧急変などに対する制御系の応答、主電動機ブラシの整流性能などの検討に基づき、主回路接点機器を減少させるために採用された。

3.3 制御方式

図5に主回路制御ブロック図を示す。電機子側主整流器の位相制御方式は、従来の連続位相制御方式から、ステップ制御論理部に使用されているROM(Read Only Memory)素子に記憶された点弧位相角に従って、従来の抵抗制御のように限流進段するデジタル式超多段ステップ位相制御方式である。

サイリスタブリッジのアーム制御は、混合ブリッジと同等の高調波電流低減効果のある非対称制御を行う。また、各ブリッジを所定の順に位相制御する、いわゆる順序制御を採用し、更に電圧を出す必要のないブリッジは、直列アームの2個のサイリスタを360°期間点弧し、ダイオードと同様の動作を行わせるフリホイール制御を行っている。以上の主整流器制御により、主変圧器のリアクタンス特性と相まって、高調波電流低減及び安定な進段制御機能が実現されている。

界磁回路の位相制御方式は、力行・回生ブレーキともにスムーズな制御を行うため、従来の連続位相制御による界磁電流制御を採用しているが、弱界磁制御領域の電流指令は電機子側と同様にROMを使用したステップパターン方式である。

こう配抑速回生ブレーキは、電機子側主整流器のインバータ電圧を最大として、主幹制御器の抑速ノッチ指令に対応した界磁電流制御方式で、従来方式と同様である。

図4 主回路接続図

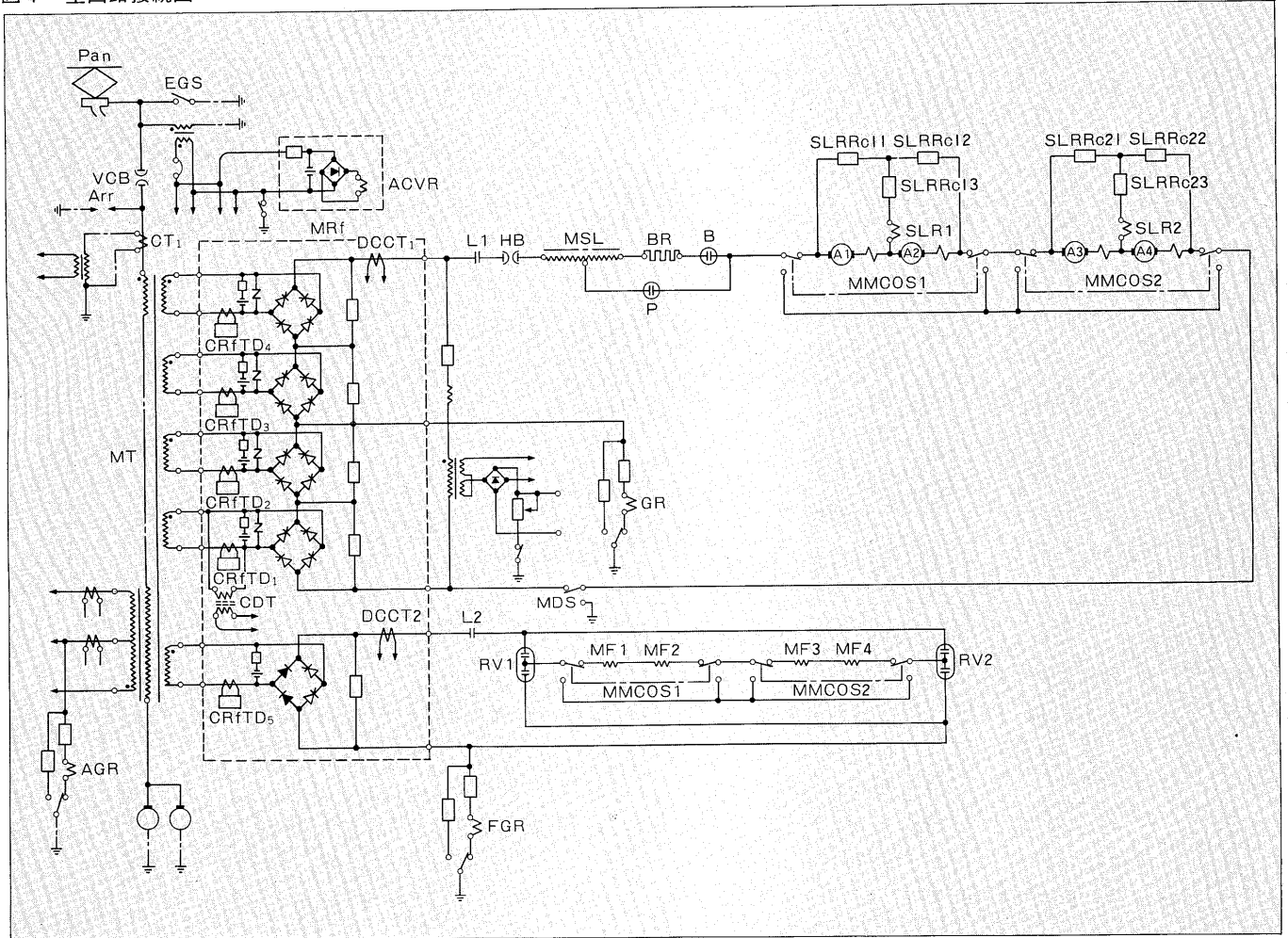
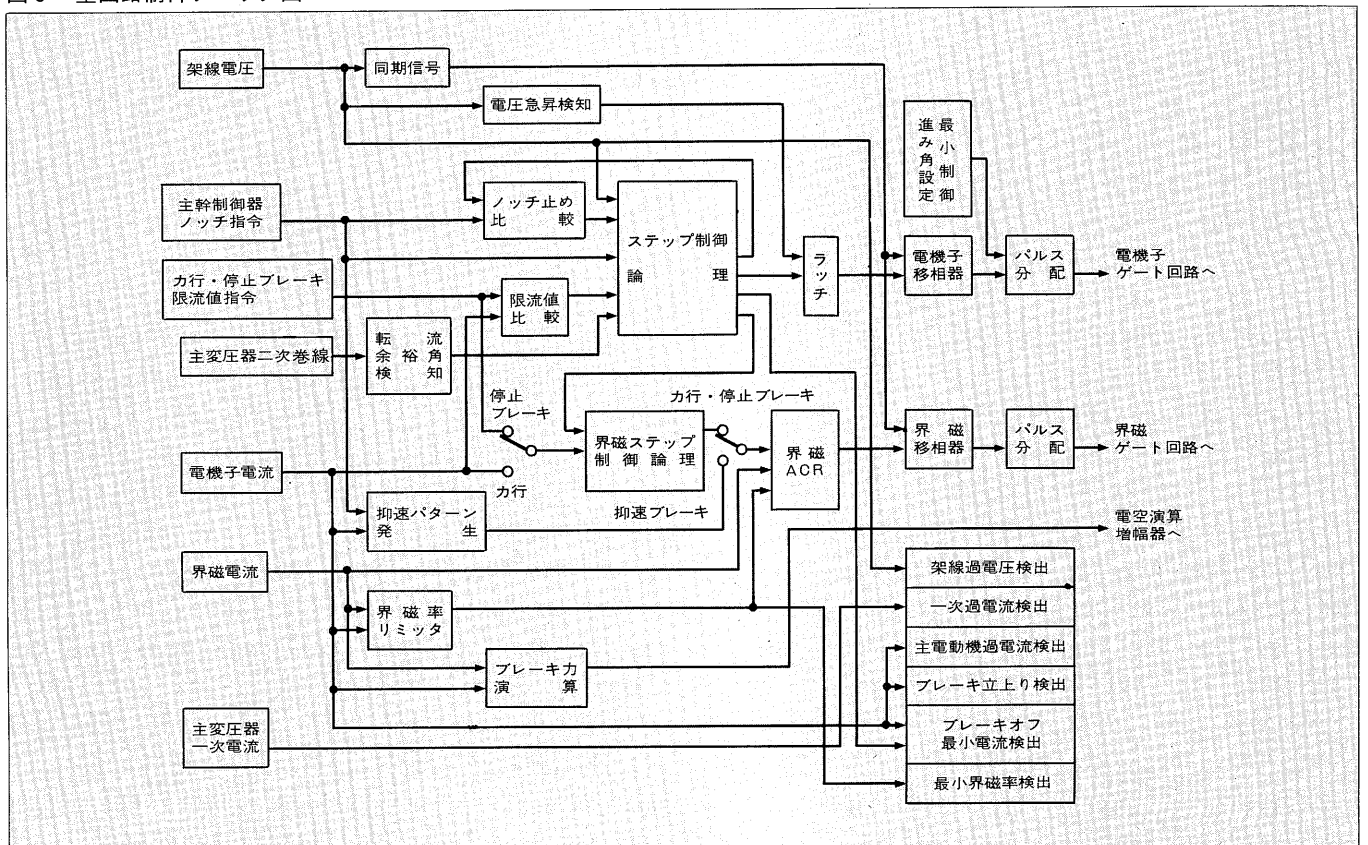


図5 主回路制御ブロック図



架線電圧急変は、主電動機の整流悪化及び主整流器サイリスタの転流余裕角不足など悪影響を及ぼすことになる。このため、架線電圧及び転流余裕角を検知し、制御中のステップ位相角を戻し、またブレーキの場合は電機子電流制限値を低下させるなど、迅速な応答で対処するようになっている。

3.4 主整流装置

図6に主整流装置の外観を示す。装置は前面長手方向が車側に面するよう取り付けられ、制御装置部、電動送風機部、サイリスタスタック部及びサージ吸収用非直線抵抗素子・交流フィルタコンデンサ部から成り、車側を主点検面とする部品配置となっている。主変圧器二次巻線及び直流回路は、車両中央側の端子箱で接続する。冷却風は、じんあいの吸込みを少なくするため電動送風器上部の吸込み風速の低い大断面エアフィルタを介して取り込み、新幹線電車用RS201と同様な構造のFRP製二重絶縁中枠及びスタック

で構成された風導部で素子を冷却し、装置端部の排風口から車両中央側へ排気される。

サイリスタスタックは、図7に示すように1素子当たり2個の冷却フィンで両面から冷却する方式で、4素子1スタック（1ブリッジ回路）構成で、界磁用を含め5スタックが装置中央部に配置されており、各スタックは、保守点検時に主回路接続導体を外すことにより前面へ容易に引き出せる構造となっている。

電圧電流制御装置、ゲート移相装置及び制御電源などは、主回路ノイズの影響を避けるため、中間に電動送風機を配し、装置左端部にまとめられている。制御装置に使用したプリント板は国鉄標準のダブルサイズで、制御回路のアナログ、デジタルIC化及びROMの適用などにより高密度実装と回路の簡素化を図り、装置の小形化を実現するとともに、多機能かつ信頼性の高い装置である。制御装置へのICの適用により制御信号レベルが低くなり、ノイズに関し

図6 RS48形主整流装置

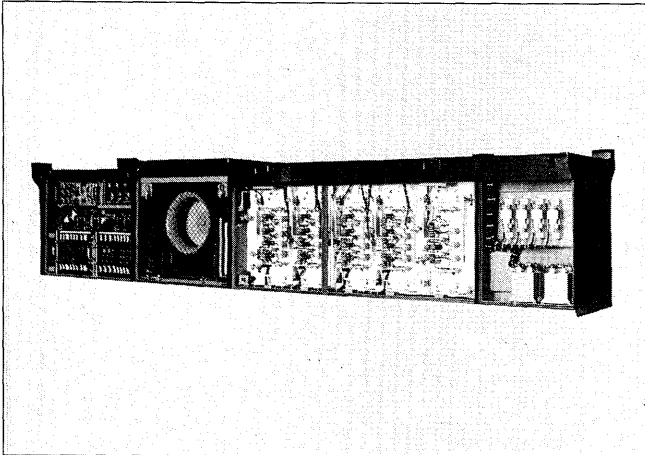


図7 サイリスタスタック

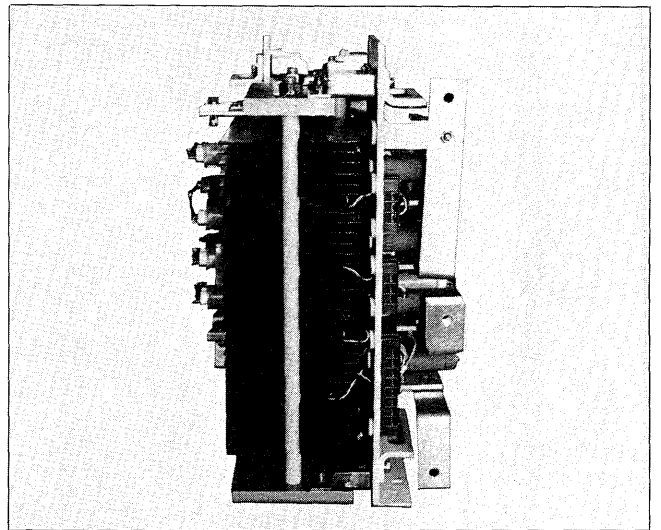
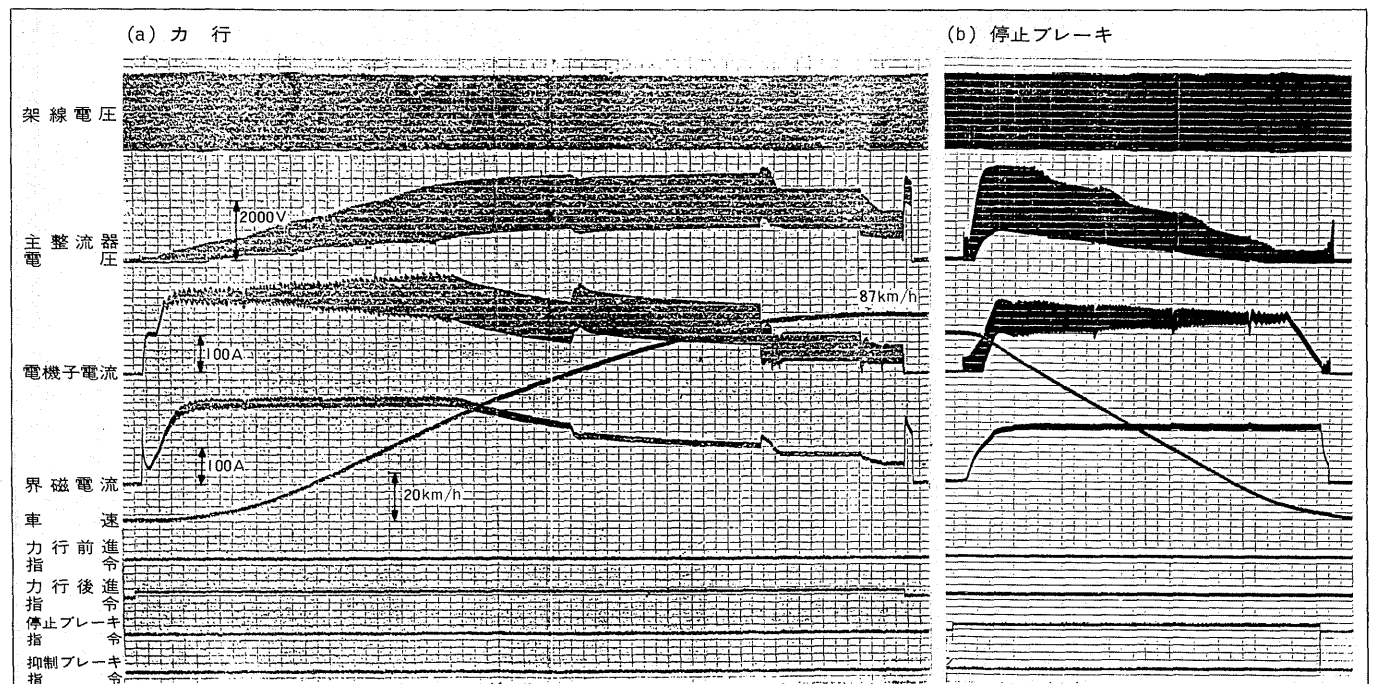


図8 現車試験オシログラム



での配慮は従来にも増して慎重でなければならないが、制御装置単体、装置組込後のノイズ試験で耐ノイズ性の高いことを確認し、また現車試験においても主整流装置自身、周辺に設置されている他の機器の影響がないことを確認した。

④ 実負荷運転及び本線試運転

主整流装置の形式試験完了後、713系電車搭載用の電気機器及び現車担当の機器を組み合わせ、実負荷を想定した運転試験を実施した。現車との等価性は必ずしも十分ではなかったが、主整流装置の機能は十分であることを確認するとともに、車両メーカーにおける電車完成後の調整・構内走行試験でほぼ満足できる結果を得た。

九州の日豊本線における試運転では、改善すべき点が出てきたが、その点も原因究明後直ちに改造し、問題がないことを確認した。図8に本線試運転時のオシログラムを示す。

⑤ あとがき

今般、国鉄殿へ納入した新形主シリコン制御整流装置は、構造的には従来方式を踏襲しながらも、交流電車では我が国初のサイリスタ制御による電力回生停止ブレーキの採用、主電動機の完全他励制御、制御装置へROMの適用による制御のソフトウェア化など、現在の最新技術を採用する

一方、将来の車両制御機器のあり方を示した画期的なものと言える。富士電機は、自主的な基礎研究はもちろんであるが、これまで国鉄技術課題の委託を受け、主回路無接点装置、RS932形交流回生ブレーキ用主制御整流装置などの研究を通じ、マイクロプロセッサによる車両制御技術を習得し、今般の713系電車にこれらの成果を反映できたものと確信する。同時に713系電車が十分な性能を発揮し、所期の目的を達成することを願ってやまない。

終わりに、機器の設計・製作並びに各種試験にあたり、終始多大な御指導を賜った国鉄車両設計事務所殿、同鉄道技術研究所殿、同門司鉄道管理局殿、同大分鉄道管理局殿、東急車輛製造(株)殿並びに関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- (1) 石津一正：わが国初の交流回生ブレーキ付電車713系登場，交通技術，38，9，pp.16～25（1983）
- (2) 川添雄司：パワーエレクトロニクス車両の開花，電気車の科学，36，10，p.13（1983）
- (3) 津久井静男：713系近郊形交流電車，電気車の科学，36，10，pp.23～28（1983）
- (4) 加進昇：713系近郊形交流電車，電気鉄道，37，11，pp.20～24（1983）
- (5) 五十嵐一弘：713系電車の概要，車両と電気，34，11，pp.6～10（1983）



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。