

負荷時タップ切換器用高信頼度制御装置

隅 和憲(すみ かずのり)

岡本 行夫(おかもと ゆきお)

1 まえがき

電力の安定供給という社会的要請の高まりのなかで、変電機器の信頼性の向上は、ますます重要な課題となってきた。そのなかで静止機器である変圧器は、遮断器、断路器などの開閉装置に比べ、機械的な動作部分が少ないため本来的には信頼性の高い機器であるといえる。特に冷却用のファンやポンプを必要としない自冷式負荷時タップ切換変圧器においては、タップ切換装置だけが唯一の可動・制御部分である。しかし、このタップ切換器を駆動するための従来の電動操作機構（LTC ドライブ）は、位置検出のためのカムスイッチや駆動電動機の入切制御のための電磁接触器、補助リレーなどで構成されており、接点の接触不良障害の発生が信頼性の低下につながっていた。また、その複雑な歯車機構のため、どうしてもグリースアップや注油などの保守や点検を必要とするものであった。

今回、これらの問題点に着目し、操作・制御回路の無接点化、歯車機構の大幅な簡素化により接点の接触不良障害の防止、メンテナンスフリーなどをめざした高信頼度制御装置としての LTC ドライブを開発し、ガス絶縁変圧器に適用した。本稿ではその概要を紹介する。

2 開発コンセプトとシステム構成⁽¹⁾

2.1 開発コンセプト

この LTC ドライブは保守・点検の省力化、装置自体の信頼性の向上、周辺環境への配慮（低騒音化）などの将来動向を踏まえ、図 1 に示すような開発コンセプトおよび適用項目に基づき開発している。

2.2 システム構成

今回、開発した LTC ドライブの仕様を表 1 に、システム構成を図 2 に示す。

このシステムは駆動電動機、歯車機構、駆動軸などの機構部分と光リミットスイッチ、ロータリエンコーダなどの位置検出装置を収納した「LTC ドライブ箱」（図 3）とブ

図 1 開発コンセプト

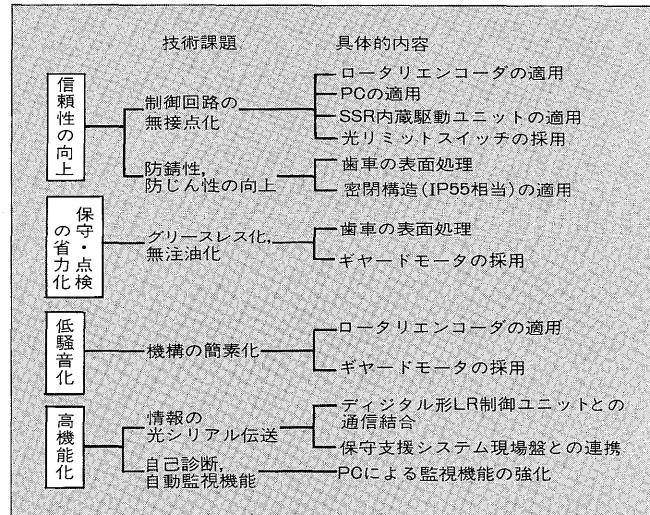


表 1 LTC ドライブの仕様

項目	基本仕様	
操作電源	三相 AC200V	50/60Hz
制御電源	単相 AC100V	50/60Hz, DC100V
切換所要時間	50Hz 時 60Hz 時	約5秒/1タップ 約4秒/1タップ
切換所要電動機回転数	歯車装置出力軸 電動機回転数	1回転/1タップ 125回転/1タップ
切換所要手動ハンドル回転数	10回転/1タップ	
出力軸定格トルク(歯車装置出力軸)	50Hz 時 60Hz 時	64.8N·m (6.61kgf·m) 53.7N·m (5.48kgf·m)

ログラマブルコントローラ（PC）、ソリッドステートリレー（SSR）内蔵の駆動ユニット、光変換器、故障・状態表示器、操作スイッチなど制御回路部分を収納した「LTC ドライブ制御盤」（図 4）で構成されている。LTC ドライブ箱は変圧器にマウントされ、LTC ドライブ制御盤は屋外閉鎖形自立盤である。

隅 和憲

昭和53年入社。変圧器および変圧器制御装置の設計、開発に従事。現在、千葉工場変圧器部主査。



岡本 行夫

昭和49年入社。変圧器の設計、開発に従事。現在、千葉工場生産管理部課長。



図2 システム構成

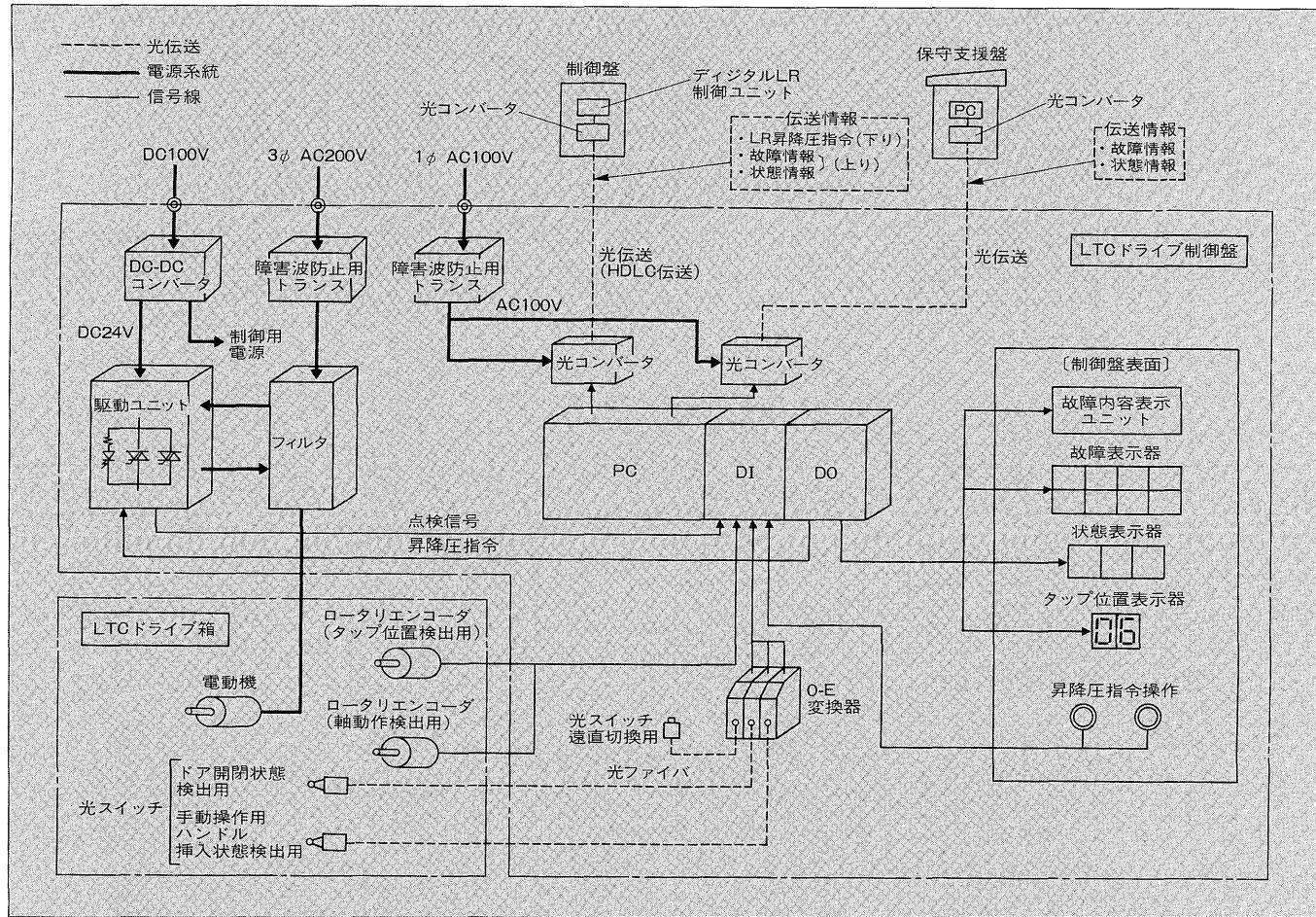


図3 LTC ドライブ箱

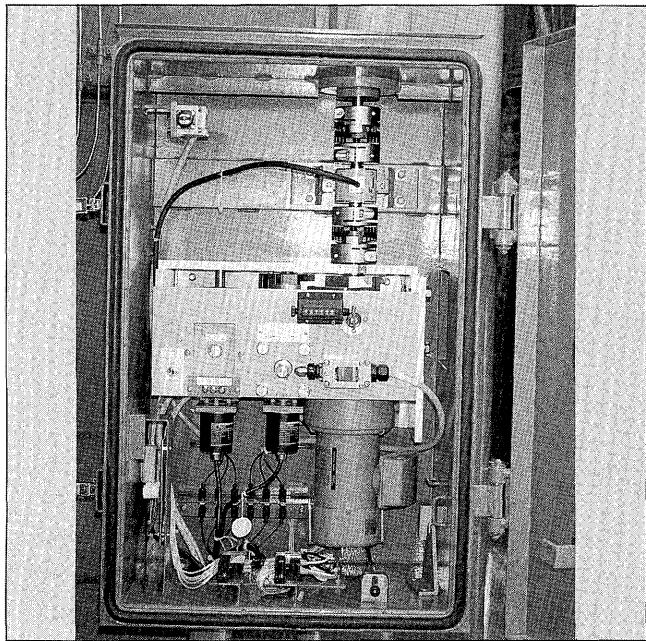
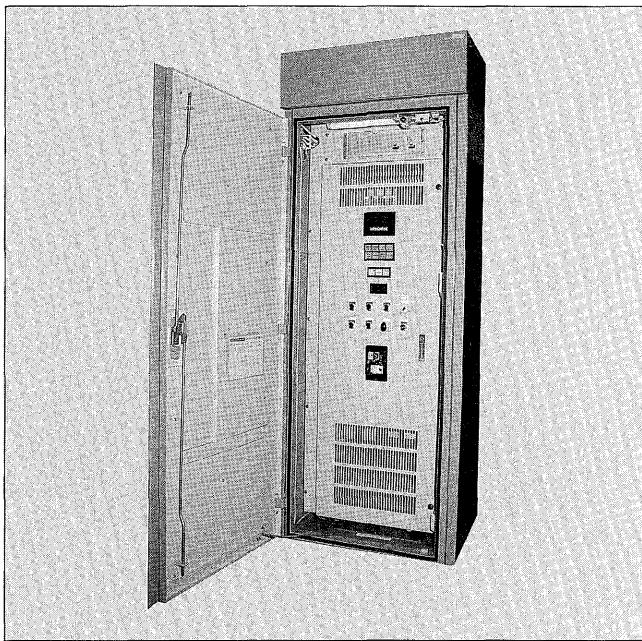


図4 LTC ドライブ制御盤



AM147952

③ 特長

このLTCドライブは次のような特長をもっている。

- (1) 接触不良障害の防止（制御回路の無接点化）
- (2) メンテナンスフリー（グリースレス化、無注油化）
- (3) 低騒音化
- (4) 高機能化

3.1 接触不良障害の防止（制御回路の無接点化）

今回適用した制御回路の無接点化方式と従来方式との比較を表2に示す。

3.1.1 ロータリエンコーダ

タップ位置の検出および駆動軸停止位置の検出用として絶対位置検出形のロータリエンコーダを採用した。ロータリエンコーダは光応用位置センサであるため、従来のダイヤルスイッチやカムスイッチのような接点機構がなく、接触不良障害が防止できる。絶対位置検出形は回転の有無にかかわらず回転角度に応じた絶対位置の信号がバイナリコードでパラレルに出力されるタイプであるため、停電などで電源が切れ、再び電源が入った場合でも正しい回転角

を読み取ることができる。また、異常検出用に偶数パリティ信号も出力される。

3.1.2 光リミットスイッチ

従来の有接点リミットスイッチに対し、今回、自己診断機能付光リミットスイッチを適用し、無接点化を図っている。

3.1.3 PC

制御回路はリレー方式をPCに置き換え、無接点化を図るとともに、従来のLTCドライブにはなかった自動監視機能、光伝送機能などを付加し、高機能化を図っている。

3.1.4 駆動ユニット

PCからの昇降圧指令を受け、駆動電動機の入切制御を行うもので、半導体のロジック回路、SSRなどで構成されている。

表2 無接点化方式と従来方式との比較

項目	機能	無接点化方式	設置場所	従来方式
状態検出	タップ位置上下限位置	ロータリエンコーダ（絶対位置検出形）	LTC ドライブ箱	ダイヤルスイッチ リミットスイッチ
	駆動軸停止位置	ロータリエンコーダ（絶対位置検出形）		カムスイッチ
	手動ハンドル操作作状態 扉閉鎖状態 遠一直切換	光リミットスイッチ および----- O-E 変換器		リミットスイッチ
操作回路	電動機駆動	SSR 内蔵 駆動ユニット	LTC ドライブ 制御盤	電磁接触器
	制御回路	シーケンス		補助リレー タイマ
PC				

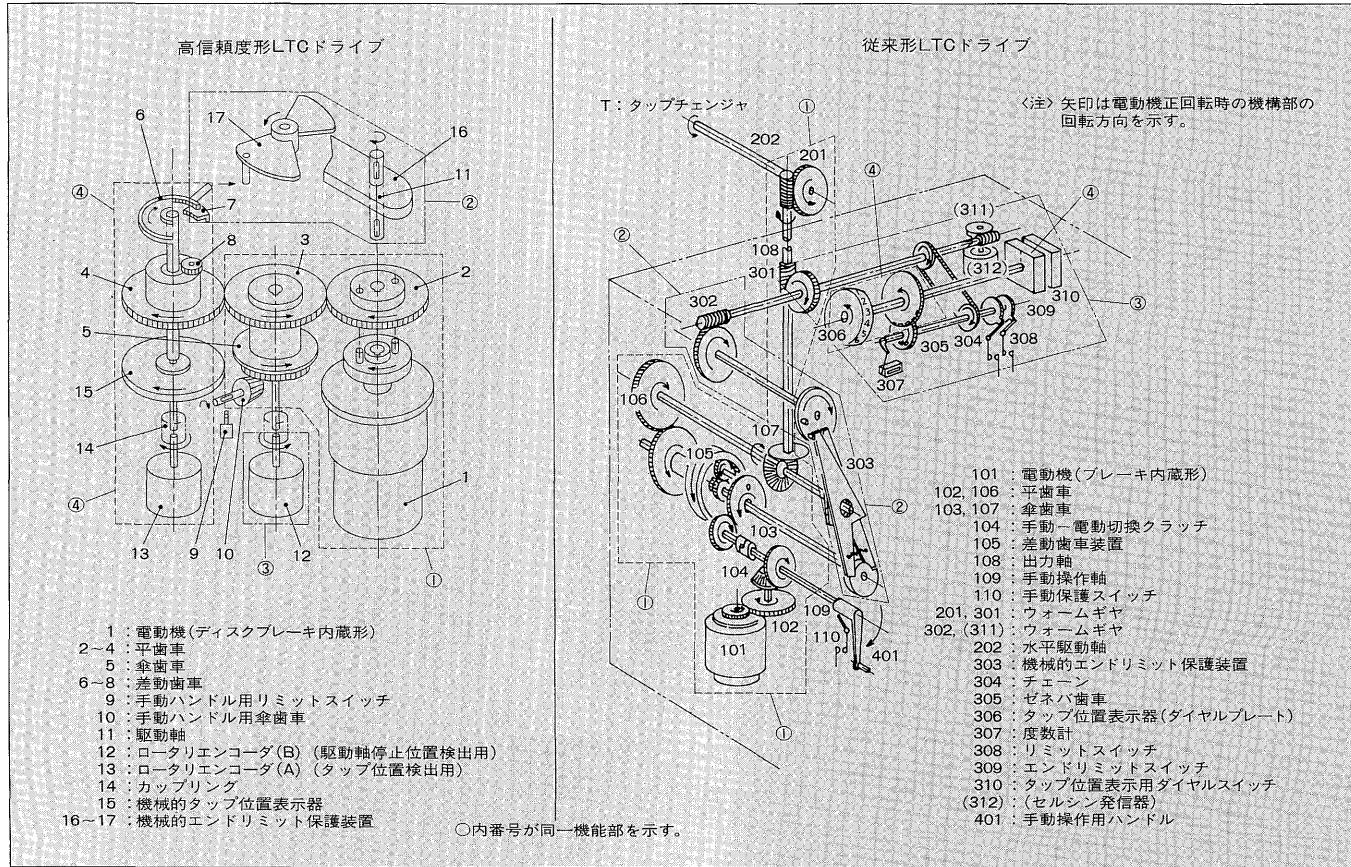
3.2 メンテナンスフリー

位置検出装置としてロータリエンコーダを適用したこととギヤードモータを採用したことにより、歯車機構部分は大幅に簡素化できた。図5に従来機構部との比較を示す。

開発の基本的な考え方は次のことである。

- (1) 駆動トルクが直接加わらず、面圧が低い歯車部分は歯車表面に処理を施し、グリースレスとする。
- (2) 電動機出力を伝達する軸との機械的のかみ合わせ部分には歯車を使用せず、機械的カップリング方式とする。
- (3) 駆動トルクが直接加わる減速機構部分には歯車機構部分が密封油の中にあるギヤードモータを適用する。

図5 LTC ドライブの高信頼度形と従来形との比較



3.2.1 グリースレス化

従来、歯車機構に対しては歯車かみ合い部分の「潤滑」と「防錆（ぼうせい）」を目的としてグリースアップを実施していた。

今回、開発した歯車機構で使用している歯車の負荷はロータリエンコーダだけで歯の面圧は非常に小さいため、そのままで十分グリースレスで適用できるが、さらに表面の摩擦係数を下げ、防錆効果をもたせるため歯車表面には皮膜処理を施し、グリースアップを不要としている。

3.2.2 無注油化

駆動トルクが直接加わる歯車はギヤードモータに内蔵された歯車機構部分だけであるが、そこに用いられるグリースは密封状態であるため注油や交換の必要がない。採用した富士電機の高性能小形ギヤードモータは酸化安定性、機械安定性、耐熱性などに優れた専用グリースを用いており、長期間の使用に対しても漏えいや潤滑不良の心配がないものである。⁽²⁾

なお、このLTC ドライブを適用するガス絶縁変圧器用負荷時タップ切換器（LTC）は、タップ選択器可動接触子にローラコンタクトを採用しているため必要とする駆動トルクが小さく、ギヤードモータは電動機出力 100W という小形のものを採用した。⁽³⁾

3.3 低騒音化

LTC ドライブから発生する騒音は動作時だけ連続音ではないが、とくに深夜、早朝時の動作音は周辺環境に悪影響を及ぼす場合がある。今回、開発した LTC ドライブでは、機構の簡素化による歯車部品点数の低減や低騒音形ギヤードモータの採用などにより従来 70~80dB であった騒音を 50dB 程度にまで低減している。

3.4 高機能化

変圧器本体を含む故障情報・状態信号は光シリアル伝送により通信結合された上位のデジタル形 LR 制御ユニットおよび保守支援システム現場盤に送られる。⁽⁴⁾

LTC ドライブ箱にはトルクセンサを収納し、保守支援システム現場盤による LTC 駆動トルクの異常監視を行っている。

LTC ドライブ制御盤には専用の 7 セグメント表示器を設置し、装置の自己診断・自動監視機能により検出した異常を故障コードで表示することにより、異常時の早期対応が可能となっている。

4 信頼度向上策⁽⁵⁾

4.1 二重化（二系列化）

経済性も考慮した信頼度の向上策として、このシステムでは次のような二重化を施している。①入力信号の PC 内での二度読み処理、②PC 内出力制御論理回路部での二系列化、③PC 出力部（D/O 部）の二系列化、④最終段出力装置としての駆動ユニット内素子の二重並列接続などであ

表 3 自動監視項目

	対象および部位	監視内容	監視方法
常時監視	駆動回路全般	タップ暴走	電動機動作時間の監視
	PC	重故障、軽故障 装置異常	PC の自己診断機能 常時監視タイム（ウォッチドッグタイム）による監視
		光リミットスイッチ および O-E 変換器	出力信号監視 二系列出力信号の比較
	駆動ユニット	素子短絡モード故障	昇降圧指令のない状態での電圧監視
		電源装置 (DC-DC コンバータ)	直流電源監視 自己診断機能 (過電流、過電圧)
	ロータリエンコーダ	発光素子、受光素子の不良	偶数パリティチェック
		カップリング部分の結合異常	時間経過による回転角度の変化を監視
		駆動ユニット	素子開放モード故障 昇降圧指令のある状態での電圧監視
操作・制御時の応答確認	駆動回路全般	タップ渋滞	ロータリエンコーダによる動作時間の監視
	主回路	断線、欠相	サーマルリレーによる欠相電流の検出

表 4 検証試験項目

	検証項目	検証内容	対象
環境試験	防じん性能	JEM-1267/IEC529 に準拠。規定のタルク粉を 1m ³ あたり 2kg の割合で機器の周囲に浮遊させ 8 時間保持する。	LTC ドライブ箱
	防水性能	JIS C 0920/IEC529 に準拠。 距離 : 3 m, 水量 : 12.5l/min 水圧 : 31kPa, 時間 : 3 min 以上 で全方向から注水する。	
	高温・低温試験	室温～+70°C (2h)～室温 および 室温～-35°C (2h)～室温 の状態にて正常動作の確認。	
耐ノイズ試験	収納している駆動ユニットなどについてヒートサイクルおよびヒートショック試験を実施。	LTC ドライブ制御盤	
	振動性サージ試験 (ANSI ノイズ)	第 1 波ピーク値 3kV, 周波数 1 MHz の減衰振動電圧を印加。	組合せ試験
	矩形（くけい）波ノイズ試験	印加電圧 : 1 kV, 立上り時間 : 1ns, パルス幅 : 100ns のノイズを印加。	
	電波ノイズ試験	5 W, 150MHz 帯, 400MHz 帯, 900MHz 帯のトランシーバによる電波の照射。	

る。つまり、PC 自体は 1 台で構成するが、入力段はソフトウェア的に、出力段はハードウェア的に対応している。

駆動ユニット内素子の二重並列接続は、「制御優先、誤不動作防止」を意識したものであり、タップ切換ごとに並列接続のそれぞれの素子を交互に動作させるため、故障の早期発見、確実なバックアップ運転が可能となっている。

4.2 自動監視機能

自動監視は通常、「常時監視」と「自動点検」によって行うが、タップ切換制御は頻繁に行われるため自動点検は

行わず、「操作・制御時の応答確認による監視」を実施している。自動監視項目は表3に示すとおりである。

5 検証試験

変電所に電子機器を適用する場合、じんあいや湿気・直射日光など環境要因への配慮のほかノイズ、サージの電子回路への侵入による誤動作、絶縁破壊を防止する対策も十分に行わなければならない。設計段階での各種対策の有効性を確認するため、機能検証試験のほか表4に示す信頼性検証試験を実施し、良好な結果を得た。

機械的耐久性能については、JECの規定を上回る120万回切換を問題なく完了している。

また、切換完了後、ギヤードモータ内の専用グリースを抜き取り、特性検査を実施したが性能の劣化は見られなかった。さらに、歯車部分は塩水噴霧試験による防錆性能の検証を行い、問題のないことを確認した。

6 あとがき

接点の接触不良障害をなくし、メンテナンスフリーを実

現した高信頼度形のLTCドライブの概要を紹介した。

このLTCドライブを適用したガス絶縁変圧器は現在、実用運転中であるが、今後、フィールドでのデータをもとに一層の信頼性向上を図る所存である。また、このLTCドライブは光シリアル伝送による通信結合や保守支援システムとの連携など従来の変電所とは異なったシステムで運用されているが、実装機能の最適化、機構部と制御部の一体化などにより従来形の変電所への適用展開も、現在、検討している。

参考文献

- (1) 寺尾憲介ほか：ガス絶縁変圧器無接点制御回路の実用化、電気学会平成5年電力・エネルギー部門大会論文集、No.643 (1993)
- (2) 小鹿正孝ほか：ギヤードモータ、富士時報、Vol.64、No.6、p.383-386 (1991)
- (3) 貞川郁夫ほか：変圧器への新技術の適用、富士時報、Vol.65、No.2、p.108-114 (1992)
- (4) 湯谷浩次ほか：ディジタル形LR制御ユニット、富士時報、Vol.64、No.4、p.284-289 (1991)
- (5) 電気学会技術報告、Vol.41、No.4 (1986)

技術論文社外公表一覧

標題	所属	氏名	発表機関
自動化(2)搬送機器	富士電機総合研究所 〃	大沢 博 渡部 俊春	平成5年電気学会 産業応用部門全国大会 (1993-8)
Siチップ上に作製した空心トランジスタ用いたマイクロDC-DCコンバータの動作特性	富士電機総合研究所	松崎 一夫	電子通信用電源技術研究会 (1993-9)
Siチップ上に作製したマイクロリアクトルの特性と磁界シミュレーション	富士電機総合研究所 〃	加藤 敏雄 斎藤 明	
電子線照射によるn型Si表面の低抵抗化	富士電機総合研究所	山崎 智幸	
スパッタDLC保護膜の構造と潤滑特性	松本機器製作所 〃 〃 〃 〃	伊藤 芳昭 柏倉 良晴 小野寺克己 植田 厚 小沢 賢治	応用物理学会 秋季全国大会 (1993-9)
二重ショットキー障壁の電圧依存性と界面準位の影響	富士電機総合研究所 〃	向江 和郎 津田 孝一	電子材料研究討論会 (1993-10)
MOCVD法作製ZnS:Mn薄膜EL素子の特性	松本機器製作所	丸田 幸寛	第54回応用物理学会学術講演会 (1993-10)
カルマン渦流量計	富士電機総合研究所 東京機器製作所 〃 〃	鹿志村 修 山本 俊広 伊藤 悅郎 刑部 雅浩	日本機械学会 第71期全国大会 (1993-10)
ファジィ類似度を用いた物体・動作認識による画像監視方式	富士電機総合研究所 〃 富士ファコムシステム	古賀由紀夫 紺野 章子 井川 喜裕 清水 晃	情報処理学会 第47回全国大会 (1993-10)



*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。