UDC 621.314.5：621.365.5

高周波電源の応用

高野 安人(たかの やすひと)　粟谷 宏治(あわたに こうじ)　清水 敏久(しみず としひさ)

1 まえがき

半導体パワーデバイスの進展により，高周波電源装置の分野でも新形半導体デバイスを適用したものが出現してきている。

本稿では，バイポーラトランジスタを使用し誘導性の負荷に適用した誘導加熱用電源装置と，SIT(静電誘導トランジスタ）を使用し容量性の負荷に適用した高周波電源装置を紹介する。

2 誘導加熱用電源

2.1 概 要

金属の誘導加熱及び溶解用電源として，高周波インバータが広く普及している。

富士電機が高周波誘導炉用電源として，60kW 3kHz のサイリスタインバータ式高周波インバータを完成させたのは，昭和45年2月である。

その後，現在に至るまで，高周波誘導炉やビレットヒータなどの電源として，最大容量機の3,500kW 500Hz をはじめとし，300台以上のインバータを製作してきた。

従来はサイリスタインバータが主体で，出力周波数範囲は0.3kHz～10kHz，出力容量は20kW～3,500kW までを標準系列化してきた。

最近は，更にバイポーラトランジスタを使用したトランジスタ式高周波インバータを，1kHz～50kHz 10kW～300kW の範囲で標準系列化を完成し，機種拡大を行い，ビレットヒータをはじめ，各種加熱用電源，焼入れ用電源として納入してきた。**図1**にトランジスタインバータ式ビレットヒータの外観を示す。

2.2 技術動向

最近の技術動向としては，電力用高速スイッチング素子や制御技術の進展に伴い，高周波化，大容量化，高効率化の進歩が著しい。特に，パワー MOS FET や SIT に代表される高速スイッチング素子の出現により，インバータ出力周波数は，数百 kHz 程度まで可能となってきた。

一方，制御技術の進歩により，生産の合理化や，高品質

図1 トランジスタインバータ式ビレットヒータの外観

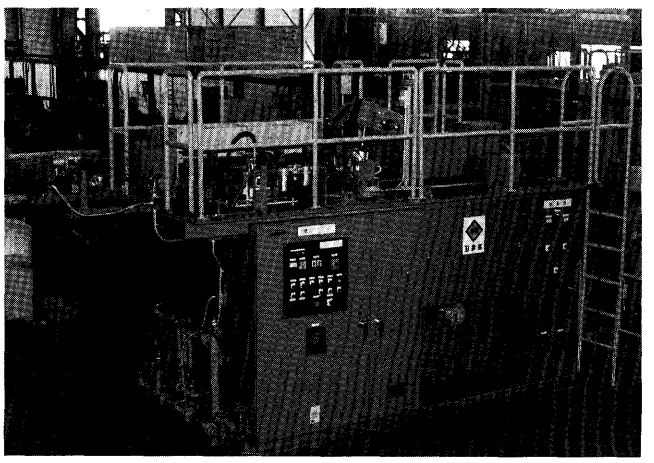


表1 標準仕様

交流入力	電 圧	200V，220V，±10%						
	相 数	3						
	周波数	50/60Hz ±5%						
交流出力	定格周波数(kHz) / 定格出力(kW)	1	3	5	10	20	30	50
	10	○	○	○	○	○	○	○
	20	○	○	○	○	○	○	○
	30	○	○	○	○	○	○	○
	50	○	○	○	○	○	○	○
	100	○	○	○	○	○	○	-
	200	○	○	○	○	○	-	-
	300	○	○	○	○	-	-	-
	定格出力電圧	135V又は270V 矩形波						
	出力調整範囲	5～100%						
	出力制御方式	電力制御又は電流制御						
	周波数制御	自制式						
	冷却方式	水冷式						

高野 安人

昭和46年入社。施設用電源設備(主としてUPS）の技術企画に従事。現在，設備機器事業部技術部課長補佐。

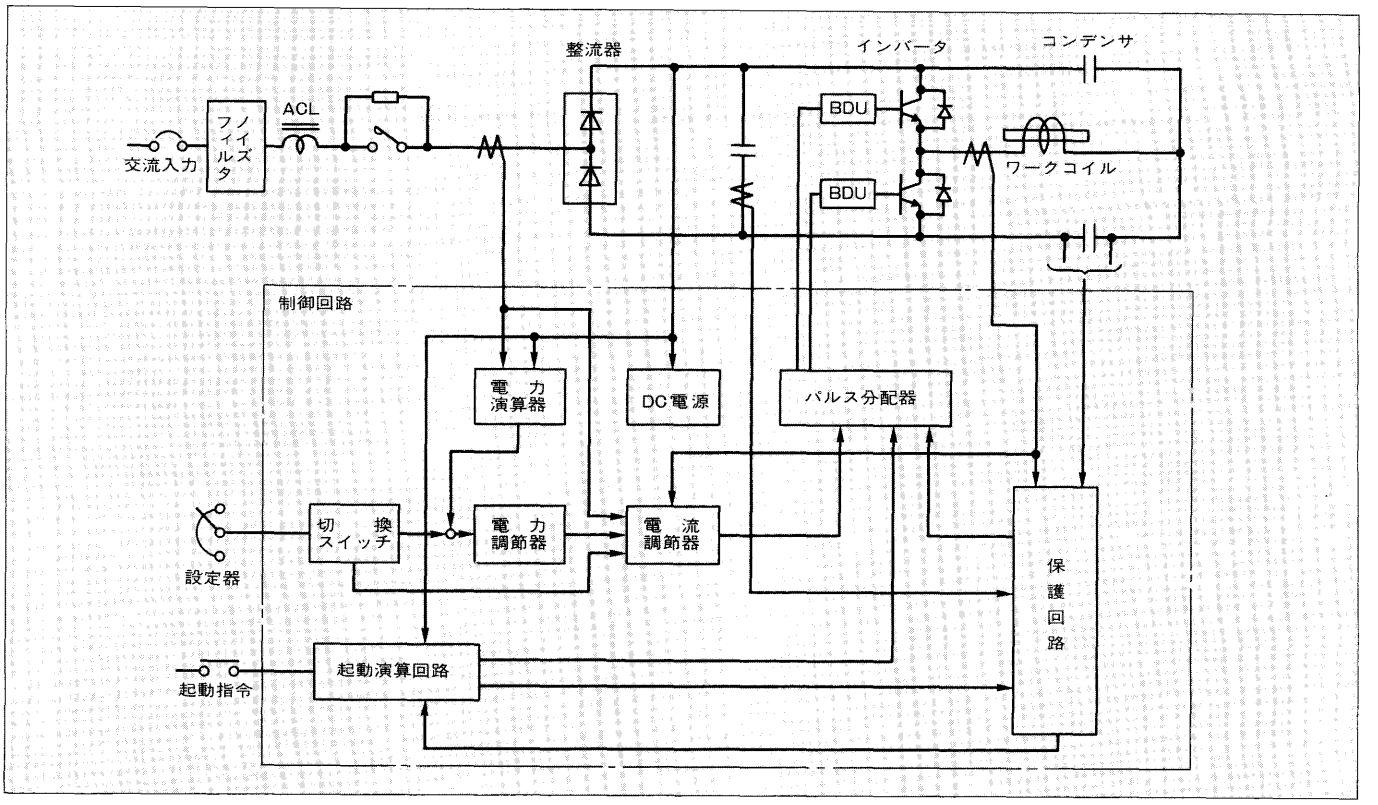
粟谷 宏治

昭和38年入社。誘導加熱用高周波インバータの開発，設計に従事。現在，鈴鹿工場電子装置部課長。

清水 敏久

昭和55年入社。無停電電源装置，高周波電源装置の開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所強電電子開発部。

図2　トランジスタインバータの回路構成図



化などの要求に応じて，高精度の温度制御，自動化，省力化，加熱モードの多様化などに対応することができ，急速に性能が向上しつつある。

ここでは，バイポーラトランジスタを使用したトランジスタ式インバータの概要を紹介する。

2.3　仕様及び特長

表1に標準系列及び概略仕様を示す。

また，主回路及び制御回路の回路構成を**図2**に示す。主回路電源は，ダイオード整流器により直流電圧に変換され，インバータ部により負荷の共振周波数に同調した高周波電圧を負荷側に給電する。

インバータ部の回路構成は，コンデンサ二分割形のシングルエンドプッシュプル回路(特許出願中)，及びフルブリッジ回路の2種類を採用している。

インバータトランジスタは，コレクタキャッチャダイオードの効果を利用し，ベース電源を節約した方式とし，特別に開発したベースドライブユニットを使用している。このため高速スイッチングが可能で，スイッチングロスも少ない。

図3にはインバータ運転時の波形例を示す。

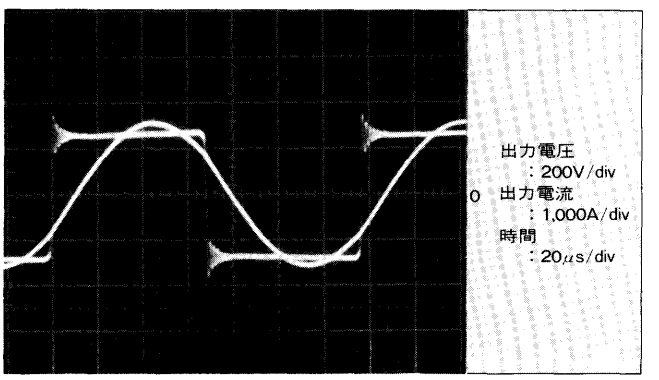
制御回路は起動演算回路，調節回路，パルス分配回路，保護回路から構成され，出力制御は出力側の位相制御により行っている（特許出願中)。

このほか，本装置は次のような特長を備えている。

(1)　高効率

インバータの主回路は，配線インダクタンスを極力小さく選び，スイッチングロスを小さくしているが，更にロスレススナバ（特許出願中）を採用しているので，極めて高効率である。

図3　動作波形例



(2)　確実な保護回路

アーム短絡，出力端短絡などのトラブルに対しては，富士電機独自のベースドライブユニットにより，短絡電流が急激に上昇しないように制御し(特許出願中)，同時に検出CTにより過電流検出を行い，瞬時にベース遮断をするため，確実にトランジスタを保護することができる。

(3)　コンパクト

主回路，制御回路は一体化とし，ユニット化しているためコンパクトな構造となっている。ユニット内では，トランジスタ素子を多数並列使用しているが，電流バランスに対して，特に工夫したバスバー構造になっているので，各素子の電流バランス率が非常に高い。

一方，トランジスタ素子の冷却は水冷式を採用しているため，小形でかつ低騒音である。

(4) 高信頼性

主回路，制御回路を一体化したユニット単位での品質管理を行っているため，信頼性が非常に高い。

3 SIT適用高周波電源装置

3.1 概　要

高周波電源は誘導加熱，半導体製造，各種加工の用途に使用されているが，その出力周波数が100kHz以上の装置には主として電子管が使用され，半導体化が遅れていた。今回，SITをインバータ部に適用し，従来の電子管方式に比べ優れた特徴を持つ100kHz 30kW出力の放電管用高周波電源装置の開発，製品化を完了したので，その概要について紹介する。

3.2 特　長

SITの持つ大電力高速スイッチング性能を十分に引き出すための素子適用技術の開発，容量性となる放電管負荷に対応した主回路方式の採用などにより，下記の特長を持っている。

(1) 小形

電子管方式のような高電圧を使用しないため高圧絶縁スペースが不要であること，インバータの上下アームを同時に冷却できる水冷構造を採用したことなどにより，小形である。

(2) 高効率

インバータ部ではSITの高速駆動により低損失化を図り，高電圧出力部では放電管の容量成分とリアクトルとの共振を利用した昇圧方式を採用して負荷への電力供給効率の向上を図ったことにより，高効率（装置効率で約80%）である。

(3) 長寿命・高信頼

電子管のような頻繁に定期交換を要する部品がなく，長寿命である。また，部品点数が少なくノイズ誤動作にも強いゲート駆動回路の採用により高信頼である。

(4) 高機能

出力電流の変調方式として，インバータの直流入力電圧制御と出力周波数制御を併用しているため，オーバーシュートが小さく，立上り・立下り特性に優れた方式となり，高機能化を図っている。

3.3 仕　様

表2に仕様を，**図4**に外観を示す。

表2　SIT適用高周波電源装置の仕様

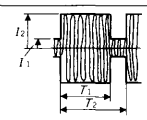
項目			仕様
入力電源			200V±10%，三相，50/60Hz
最大出力電力			30kW（連続） 60kW（ピーク）
最大出力電圧			5kV
最大出力電流			10A（連続） 20A（ピーク）
出力周波数			100kHz （90kHz～200kHz可変）
負荷力率			0.6以上（進み）
出力形式	連続出力		出力電流一定
	変調出力	変調方式	出力電流の振幅変調
		変調周波数（f_M）	10Hz～3kHz
		変調度（M）	50～98%
		パルスデューティー比（d）	10～60%
		変調パターン	$f_M=1/T_2$ $M=\frac{I_1-I_2}{I_1}$ $d=\frac{T_1}{T_2}$ 
冷却方式			水冷
外形寸法（mm）			2,180(W)×950(H)×750(D)

図4　SIT適用高周波電源装置の外観

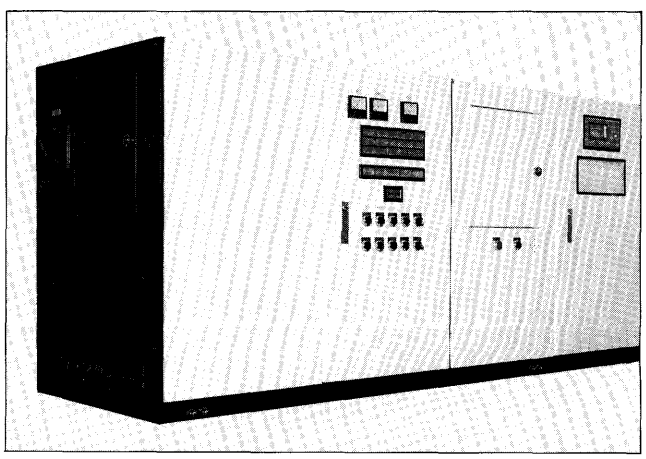
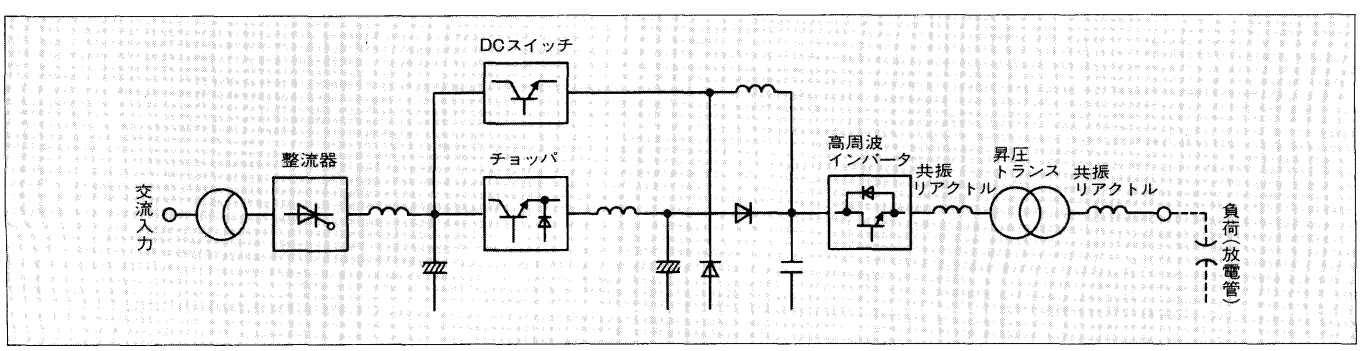


図5　主回路ブロック図



3.4 回路構成と動作

図5に主回路ブロック図を示す。交流入力はサイリスタ整流回路で直流電圧に変換され，更にトランジスタチョッパ回路で降圧される。DCスイッチの導通時にはサイリスタ整流回路の出力電圧が，遮断時にはトランジスタチョッパ回路の出力電圧が高周波インバータに供給される。高周波インバータ部では，この直流電圧を高周波交流電圧に変換する。高周波交流電圧は，リアクトルと負荷の容量成分との共振，及び昇圧トランスにより，負荷に必要な高電圧に変換され，出力となる。出力形式が変調出力の時は，DCスイッチの導通・遮断を行い，出力電圧を変化させることにより出力電流を変調する。出力形式が連続出力の時は，DCスイッチは遮断している。

今回開発したSIT適用高周波電源装置は，種々の技術的特長を持っている。以下にその概要を紹介する。

3.4.1 インバータユニット

高周波電源で重要な役割を果たすインバータユニットの回路構成を**図6**に示す。インバータユニットは，上下アーム一組からなるインバータスタック，ゲート駆動回路，コンデンサなどで構成されている。スイッチング素子としてはSITを用い，電流容量増大のため，これを並列接続している。

また，冷却は水冷方式とし，更に小形化のために上下アームを同時に冷却できる構造を採用している。

3.4.2 ゲート駆動回路

SITはノーマリオン形の素子であり，ゲート－ソース間に高い逆バイアス電圧（数十V）を印加しないとオフ状態にならない。また，ゲート－ソース間の接合容量も大きい。SITの高速スイッチングには，ゲート－ソース間接合容量を高速に充放電させることができるゲート駆動回路が必要である。今回開発したゲート駆動回路の構成を**図7**に示す。内部は制御回路からの信号を絶縁伝達する高速パルストランス，インバータの上下アーム短絡防止用オン信号遅延回路，ゲート－ソース間容量充放電用パルスアンプなどから構成される。高速性を得るためパルストランスは信号伝達だけに用い，駆動電力は外部の絶縁電源から供給している。

3.4.3 SITの並列駆動方式

SITのオン抵抗値を小さくするため，オン時はゲート－ソース間に所定の順バイアス電流を流す必要がある。しかし，順バイアス電流を各素子均等に流さないと駆動アンバランスを生じ，素子破壊につながる危険がある。これを防止するため，本装置ではゲート電流バランサを採用し，スイッチング性能を損わずに順バイアス電流の均等化を図り，1台のゲート駆動回路で並列接続されたSITを一括駆動している。その結果，オン時はもちろん，スイッチング時もバランスの良い駆動が可能となっている（特許出願中）。

3.4.4 容量性負荷への電力供給方式

放電管のような容量性負荷に高圧高周波電力を供給する場合，直接方形波電圧を印加すると，ピーク値の大きなパルス状の電流が流れて効率の良い放電を実現できない。これを解決するため，本装置では負荷の容量成分と直列共振するリアクトルを負荷とインバータとの間に設け，その共振周波数近辺でインバータを動作させる方式を採用した。その結果，負荷の放電電流はほぼ正弦波状になり，良好な放電を可能としている。また，インバータの出力力率を改善できたこと，直列共振の昇圧作用によりトランスの昇圧比を小さくできたことなどにより，装置の小形，高効率化も同時に達成している。

3.5 試験結果

3.5.1 出力電圧・電流波形

図8に容量性負荷接続時の出力電圧・電流波形を示す。電圧，電流ともにほぼ正弦波状になっており，良好な直列共振動作が行われていることがわかる。

図6　インバータユニットの回路構成

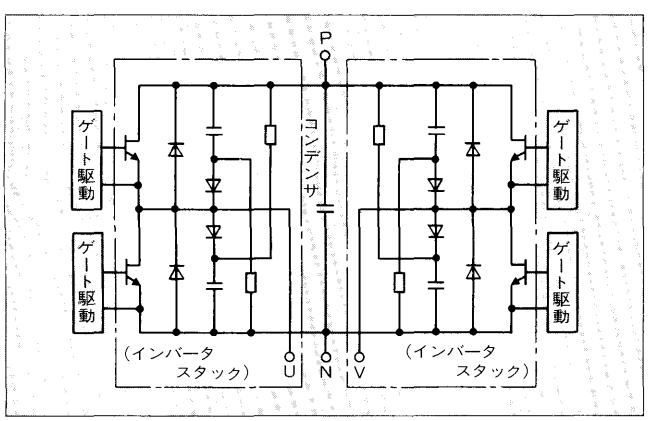


図7　ゲート駆動回路の構成

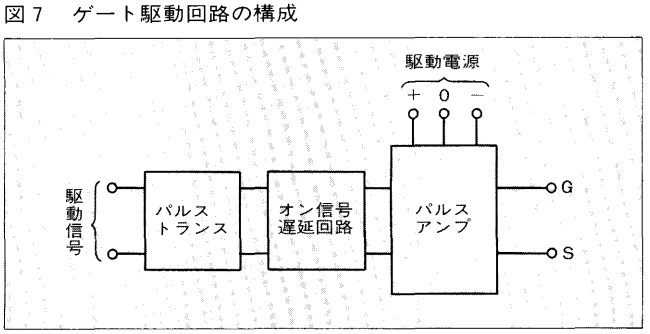


図8　出力電圧，電流波形

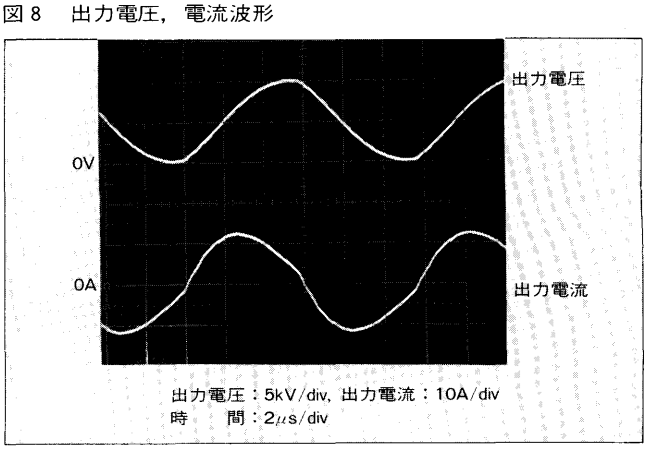
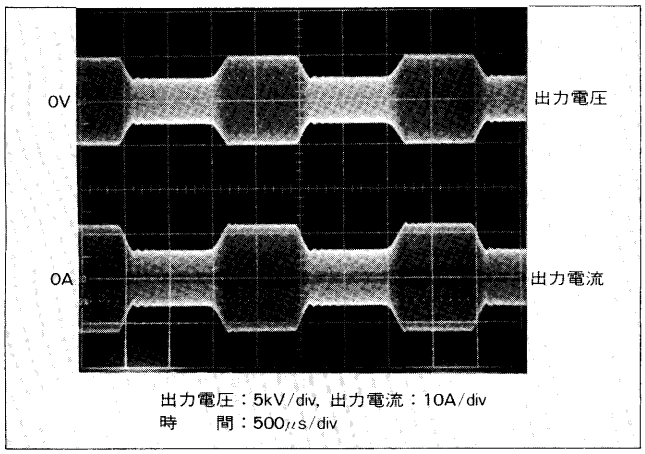


図 9　電流変調時の出力波形



3.5.2　電流変調時の出力波形

図 9 に電流変調時の出力波形を示す。インバータの直流入力電圧の切換と動作周波数の制御が良好に作用し，電流のオーバーシュートが小さく，また立上り・立下りの速い変調が行われていることがわかる。

4　あとがき

本稿では，バイポーラトランジスタを適用した50kHz 級の電源装置と，SIT を適用し100kHz 級の高周波電源装置の概要を紹介した。SIT やパワー MOS FET などの半導体素子を適用した電源装置の高周波化大電力化は更に進展し，同時に多くの優れた機能・特徴を持ったものになっていくものと思われる。

今後ともユーザーの要求にこたえた電源装置の開発，実用化を進めていく所存であり，関係各位の一層の御指導・御協力をお願いする次第である。

参考文献

(1)　東北金属(株)：SIT ハンドブック
(2)　野村年弘ほか：パワートランジスタの高周波スイッチングの応用，富士時報，Vol.57，No.10，p.627-634 (1984)

技術論文社外公表一覧

題　　目	所　　属	氏　　名	発　　表　　機　　関
気体中の定常放電	富士電機総合研究所	市川　幸美	放電研究　No.110 (1987-1)
半導体工業におけるウエハー汚染管理のための計測技術	富士電機総合研究所	財津　靖史	工業技術会 (1986-9)
レーザ溶接部の疲労強度	富士電機総合研究所 〃 生産技術部	山下　満男 北出雄二郎 斉藤　重正	マイクロ接合研究委員会 (1986-9)
2.5kV 2000A 逆導通型 GTO サイリスタ	富士電機総合研究所 〃 〃 〃	高橋　良和 山田　修 藤平　龍彦 橋本　理	電気学会研究会 (1986-9)
逆阻止型4.5kV 3000A GTO サイリスタ	富士電機総合研究所 〃 〃 〃	桐畑　文明 渡辺　雅英 遠藤　勝弘 橋本　理	
電力用酸化亜鉛避雷器素子の特性	富士電機総合研究所 〃 〃	向江　和郎 坂口　豊重 津田　孝一	窯業協会電子材料研究討論会 (1986-10)
軟鋼の屋内腐食に及ぼすほこりの影響と腐食モニターの製作	富士電機総合研究所	荻野　慎次	腐食防食協会 (1986-10)
燃料電池開発の現状	富士電機総合研究所	小林　喬	第102回溶融塩委員会及び溶融塩29巻2号 (1986-10)
ロボットの触覚センサ	富士電機総合研究所	小林　光男	トリケップスセミナ (1986-10)
磁気記録における書き込み電流値の最適化の検討	富士電機総合研究所	岩室　憲幸	日本応用磁気学会 (1986-11)
小容量分散形電源 UPS の基礎と応用展開	富士電機総合研究所	黒木　一男	ソフト技研主催セミナー (1986-11)
多機能マッピングシステム(FAMOS)と利用法	富士ファコム制御	堀田　敬志	技研情報センター (1986-12)
モールド品の絶縁破壊	富士電機総合研究所	前田　孝夫	日本接着協会接着信頼性研究会 (1986-12)
希土類系酸化亜鉛バリスタ	富士電機総合研究所	向江　和郎	フルラス記念講演会 (1987-1)
バイオセンサの構造・機能とその応用例	富士電機総合研究所	原田　健治	BIDEC「バイオテクノロジー人材育成研修会」 (1987-1)

e-Front runners

＊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。