

就職に役立つものづくりの授業

— RCC方式スイッチングレギュレータの設計と製作 —

中国職業能力開発大学校附属
福山職業能力開発短期大学校 鍛冶原 克之

A Training Based on the Production Practice (that is) Helpful for Finding Employment
— A Design and Production of the RCC Type Switching Regulator —

Katsuyuki KAJIHARA

要約 アナログ電子回路の授業は、トランジスタ低周波増幅回路を中心とした無味乾燥な増幅回路理論が展開されるため、学生達は学習目的を見失い習得意欲を無くしがちであった。また、機械・繊維・半導体産業を中心とした福山地区における就職先を考えたとき、幅広い増幅回路理論の習得がどれほど必要なのだろうかと、疑問に思っていた。

そこで、平成15年度から1年次の電子回路Ⅰ・Ⅱ及び電子回路実験Ⅰの8単位を、負帰還とその利用技術の習得を目的とした4単位と、スイッチングレギュレータを製作するものづくりの時間4単位に二分して授業を行なってきた。負帰還を理解することは電子技術科として不可避であり、ものづくりは学習意欲を高めるとともに製作作品を就職活動に活かすことが出来ると考えたからである。製作にスイッチングレギュレータを選択したのは、福山市内のA社から社員研修としてスイッチングレギュレータのセミナーをして欲しいという要望を受け、その内容を検討した結果、電磁気学、電子回路、電気回路の中から、スイッチングレギュレータの理論を理解するために必要な項目を体系的に学習することが出来て、製作後はオシロスコープ等で動きを確認しながら理論を理解させることが出来ると考えたためである。

平成18年3月の卒業生で、福山市内のM社を受験した2名とE社を受験した1名がこのスイッチングレギュレータを持参して面接試験に臨み、その製作過程を説明し、見事内定を頂いた。本報告では、その製作過程の様子と、面接試験に臨んだ学生達の状況を述べたい。

I はじめに

就職時の面接試験で、「ポリテクカレッジでどんなことを学習しているか」といった、本人の授業への意

欲や関心度を聞いてくる企業が多い。学生達の関心の高い授業は、やはりものづくりの授業である。面接試験で学生達自身の言葉で熱く語ってもらうためには、1年次にもものづくりの授業を行う必要がある。

表1 ものづくり前のカリキュラム内容

科目	授業内容	時間
電子回路Ⅰ	ダイオード回路、オシロスコープ	12H
	エミッタ接地+エミッタフォロワ	20H
電子回路Ⅱ	直結・CR結合+P.P.電力増幅回路	32H
電子回路	負帰還増幅回路、差動増幅回路	32H
実験Ⅰ	オペアンプ基礎増幅回路と製作 オペアンプ応用回路	32H 16H

表2 ものづくりを含むカリキュラム内容

科目	授業内容	時間
電子回路Ⅰ	オシロスコープ、エミッタ接地	20H
電子回路	直結合増幅回路、負帰還増幅回路	32H
実験Ⅰ	差動増幅回路、オペアンプ基礎	20H
電子回路Ⅱ	スイッチングトランス設計製作	24H
電子回路	使用部品説明と基板の設計製作	36H
実験Ⅰ	動作説明とその確認、評価	12H

私が1年次に担当している電子回路関係の授業は3科目であるが、従来は表1に示すように、増幅回路全般を十分な時間をかけて、理論を説明した後実験で確認するという方法をとってきた。2年次初頭の面接試験練習で電子回路について聞くと、ほとんどの学生が何をしたのかよく覚えていないという実情であった。

そこで、表2に示すように電子回路Ⅰと実験Ⅰ前半の4単位を使って負帰還回路の理解を中心とした内容の授業と、電子回路Ⅱと実験Ⅰの後半の4単位を使ってスイッチングレギュレータの製作を行う内容に変更して授業を行ってきた。ここでは、そのスイッチングレギュレータの設計と製作実習の様子と、その製作作品を就職活動に利用したことについて報告をする。

Ⅱ まず、製作から入る

1 作品の仕様と構成

学生達が製作したフライバック型スイッチングレギュレータの仕様と構成⁽¹⁾を簡単に述べる。仕様は次のとおりである。また、構成図を図1に示す。

入力電圧	AC 100V
出力電圧	DC 15V
出力電流	DC 3A

次に構成を述べる。入力部は、コンデンサインプット方式で、AC100Vを直接整流平滑する。ブロック

ング発振方式で、およそ50kHzで高周波トランスをスイッチングする。このトランスは一次側と二次側を絶縁し降圧する。降圧された高周波パルスは高速復帰ダイオードで整流され、電解コンデンサとチョークコイルで平滑出力される。出力電圧の状態はフォトカプラで発振回路側へ帰還され、発振パルスの周波数をコントロールして出力電圧を一定に保つ。

勿論全員が一台ずつ製作する。

2 高周波トランスの製作

製作に入る前に、回路図を基に動作原理を説明して、次に使用部品とその特徴や特性を説明して・・・等と進めたいが、ご存知のとおり、多くの学生たちは面倒くさい動作原理等の話を聴くのは最も苦手である。そこで部分的に製作できて、しかもその動作を確認できる物から製作を始めることにした。最初に高周波トランスの製作に取り組むことにした。

スイッチングレギュレータ用高周波トランスは、仕様に適したものが無く、製作することになる。トランスコイルはウレタン線を用いて、高圧の一次側は46回、低圧の二次側は7回、発振用三次巻き線は4回巻く。二次側は電流値が大きいので0.65mmφを2本並列に巻くことにした。

学生に指示する注意事項は次のとおりである。

- (1) 一次巻き線はリーケージフラックスを抑えるため、二次巻き線をサンドイッチ状態に、23回ずつ巻くこ

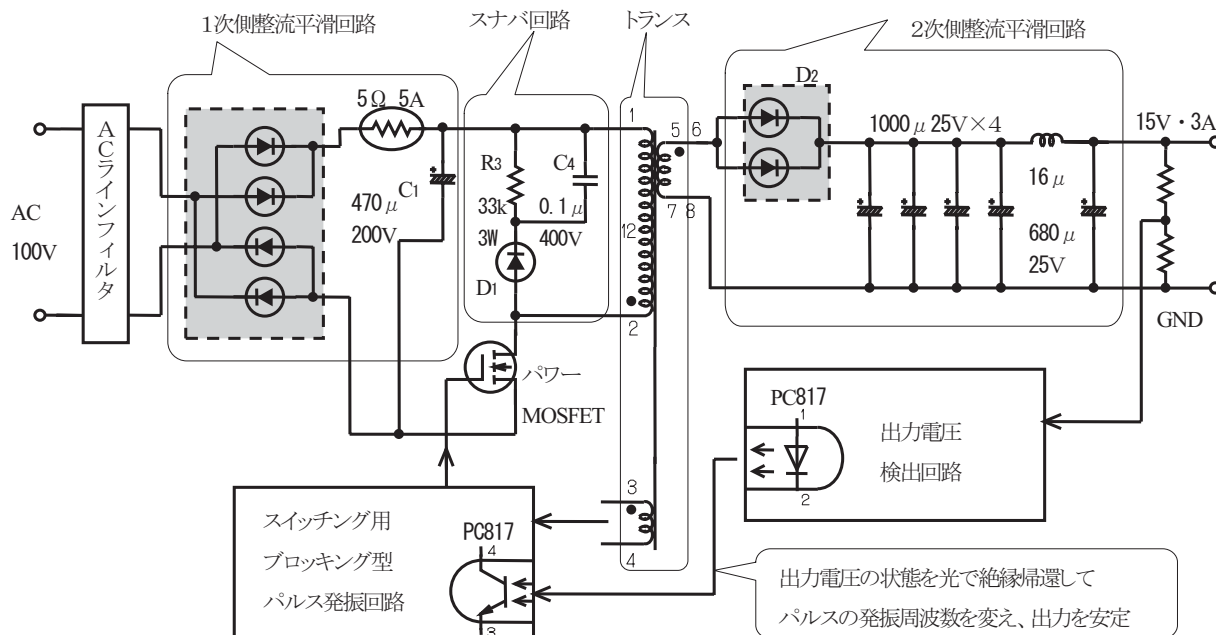


図1 パワーMOSFETを使用したRCCスイッチングレギュレータ回路ブロック図

と。

- (2) 各層は沿面距離を確保するためバリアテープを使用すること。
- (3) 各層間は絶縁を確保するため難燃性層間テープを2回以上巻くこと。
- (4) フライバック型のため、一次と三次は同相、二次はそれらと逆相となるように巻くこと。
- (5) フライバック型のため、伝送エネルギーがトランスのコア内に一時保存されるが、この量を決定するのは一次側インダクタンスである。したがって所要インダクタンスを確保するため、コアにギャップを挿入する。このギャップ調整をすること。

学生達は注意事項に従い、ポビンの仕様書を見ながらバリアテープの幅、長さを求めて、一次側巻き線の沿面バリアを確保する。ウレタン線の長さもそうであるが、外側の層を巻く程、当然直径は大きくなり、これを考慮しないと、巻数が多い時は長さが足りず致命的になる。バリアを確保し、ウレタン線を巻き、層間テープを巻く。結構面倒で根気の要る作業であるが、この作業を3層分繰り返す。製作の様子を図2に示す。



図2 製作中の様子

上記(4)の巻く方向については、巻き始めのポビンのピンの位置が異なるため、間違える学生が1/3程度いた。

今年で3回目になるが、毎年ほとんどの学生が休憩も取らずに真剣に作業をしている。しかし重要なことは、作業中に感じたこと、工夫したこと、計算した結果、巻く方向をどのように決めたいかなど、細かくメモを取ることである。この重要性を指導するが、製作作業に熱心な余り、残念ながら毎年これが完璧に出来ていない。

3 トランスを評価する

巻き終わると、ウレタン線をピンに半田付けし、ギャップを0.4~0.6mm確保するため、厚さ0.1mmのポリエステルフィルムを、コア間に挿入して、コアをテープで固定して出来上がりである。出来上がったトランスの外観を図3に示す。

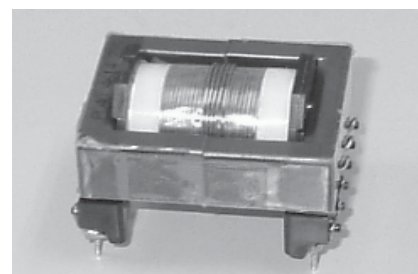


図3 製作したトランス

必要な一次インダクタンスが確保できているか、巻く方向は正しいか、LCRメーターを用いて測定する。学生達が緊張する瞬間だ。

測定に当たっては、図4に示すようなチェック表を作成し、測定値を書き入れていく。表の上から三段目までは各巻き線のインダクタンスで、四段目以降は巻き方のチェックである。それぞれ和動結合、差動結合にして、インダクタンスの変化を見る。和動結合の時は①-②間のインダクタンスより増加し、逆に差動の場合は減少する。

測定端子間 ポビンのピン番号	巻数	計算値 [μH]	実測値 [μH]
①-②	48	377	
⑦・⑧-⑤・⑥	7	8.0	
④-③	4	2.6	
①-⑤・⑥ (②と⑦・⑧間を短絡)	56	495	
①-③ (②④間を短絡)	52	442	
①-⑦・⑧ (②と⑤・⑥間を短絡)	41	275	
①-④ (②③間を短絡)	44	317	

図4 インダクタンスと巻き方チェック表

巻き方を間違った学生には、何故間違ったのかを良く考えさせ、納得させて修正作業に入る。そしてここをしっかりとメモするよう指導する。トランスの同相、逆相の物理的意味を再確認し、巻き方をチェックさせる。最大の要因は、次の層を巻く時に、ボビンの向きを巻き易いよう逆に持ち替えてしまうことであった。

また、測定インダクタンス値が、計算値との開きが大きい場合には、コアに挿入したフィルムの枚数を増減して調整する。ほとんどの学生が、コアを固定する時の力加減だけでも、インダクタンス値が大きく変化することに驚くが、磁気回路理論だけでは気付かない、実習によってのみ体験できることである。

4 基板製作と部品取り付け

全体の作業の流れは、回路図を見てプリント基板を製作し、部品を半田付けし、最終動作確認となる。

学生はすでに前期集中実習で、各自が電子回路実験等で使用するための「0～±15Vシリース型デュアル電源」を製作しており、2度目の基板製作になる。PCB-CADによりパターンを描いて、焼付け、現像、エッチング、穴あけと一連の作業を続けていく。

パターン製作と部品取り付けに当たっては、次の注意事項をよく説明しておく。

- (1) 3Aという比較的大きな電流が流れるパターンの幅は広く取ること。コントロール部分は細いパターンでコンパクトにして、メリハリを付け必要以上に大きくならないこと。
- (2) 電解コンデンサは熱に弱く、ヒートシンク等の発熱体から出来るだけ離して配置すること。
- (3) 2次側電解コンデンサには大きなりプル電流が流れるので、一つの電解コンデンサに集中しないよう均等に配置すること。
- (4) 3Wの容量の大きい抵抗はかなり発熱するので、基板取り付け時には、数ミリ程度基板から離して取り付けること。
- (5) 極性のある部品、特に電解コンデンサは取り付け方向を間違わないよう十分注意すること。
- (6) 半田付け作業では保護めがねを必ず着用すること。

後は学生達が部品の規格書や回路図を見て、試行錯誤しながら自主的にパターン製作から作業を進めていくが、パターンが出来たところで間違いが無いかとおりチェックする。

この工程は個人差が出るため進度にかなりの開きが出るが、遅れる者は4時限目が終了後、残って作業を続けることになる。

III 動作確認しながら理論を学ぶ

学生が製作した基板の一例を、図5に示す。

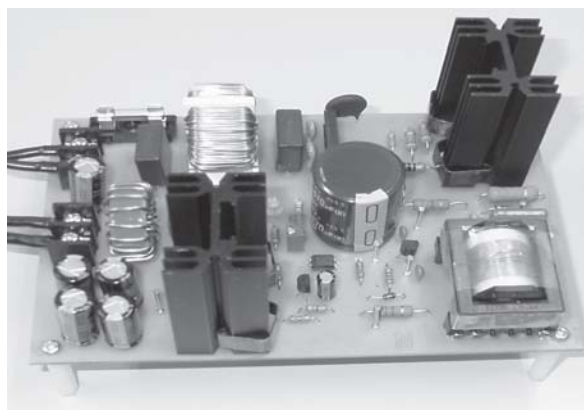


図5 製作したレギュレータ

1 動作確認時の注意事項

動作確認は危険を伴うので、特に慎重に進める。まず、電源投入後出力が出ない場合や、ヒューズが溶断する場合は直ぐに電源を切ること。そして、プリント基板のパターンチェック、部品の取り付け方向を再度確認させる。

動作不良の主な原因は、エッチング不良によるパターンのショート、チェック不足によるパターンミス、そしてダイオードの取り付け方向や、取り付ける抵抗の値を誤っていること等である。

エッチング不良によるパターンショートは、非常に細かい銅箔が残っており、中々気が付き難いので、基板が出来上がったときにテストでチェックする位の慎重さが必要である。

極数人であるが半田付け不良も有る。特にトランスコイルのウレタン線をボビンのピンにハンダ付けする箇所は、ハンダ付け不良を起こし易くミスがあった。

2 理論と実際を結びつけるポイント

電磁気学で学習する自己誘導、相互誘導、磁気回路、また電気回路における和動結合、差動結合等の、理論だけでは分かり難い事項も、実際に自分でコイルを巻いて、ギャップ調整しながらインダクタンスを測定することで、関心と理解力が向上する。

2.1 トランス製作とその動作

トランスを製作する前に、トランスの巻き始めと、巻く方向を示す●の意味を、図6の(a)のように図

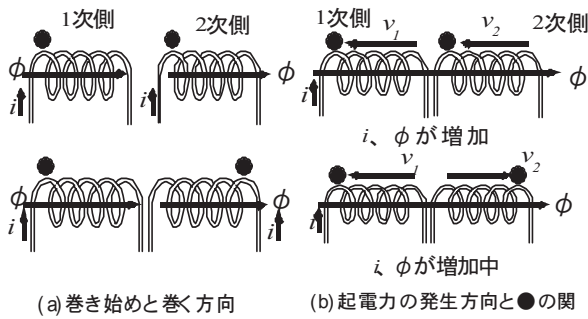


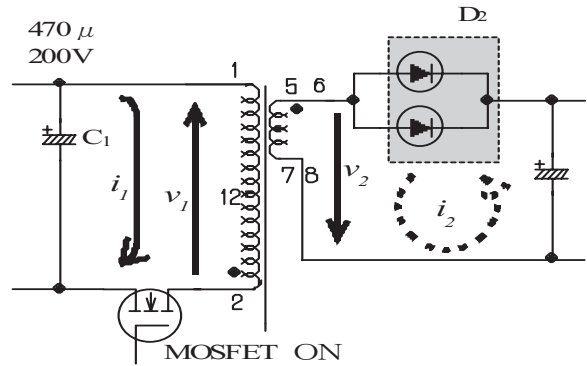
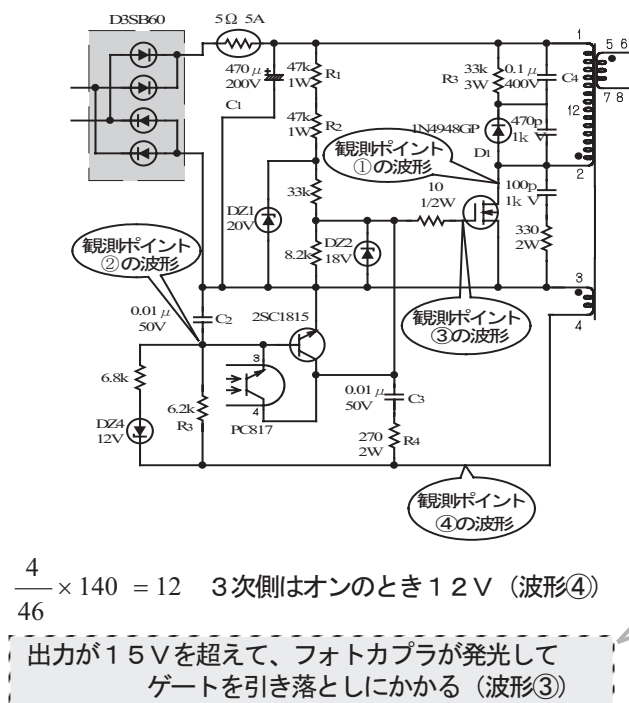
図6 トランスの極性の考え方

を描いてしっかりと教えることが重要である。

次にトランスの巻き方が何故重要になるのか、図6の(b)のように●と起電力の発生方向を教え込み、フライバック型スイッチングレギュレータの基本原則におけるトランスの役割を説明する。これを図7に示す。

また、発振方式はブロッキング型発振方式を用いており、ここでもトランスの巻き方が重要になってくる。図8に示すように、トランスとスイッチング用MOSFETの連携動作の様子はオシロスコープを使って視覚的に理解させる。

2. 2 リークageフラックスと逆起電力の発生



二次側電流は流れず、エネルギーがコア内に蓄積される

図7 トランスの働き

フライバック型スイッチングレギュレータは、トランスの巻き方から、スイッチング用MOSFETがオンのとき、トランスの一次側には励磁電流のみが流れ伝送エネルギーを蓄積し、オフのとき二次側へ送出する。このときトランスの一次側には電源と同じ位の逆起電力が発生する。従って、オフ時のFETのドレイン電位は300V近くまで上昇する。この様子をオシロスコープで波形表示し、逆起電力の存在を確認し、視覚により理解を援助する。(図8参照)

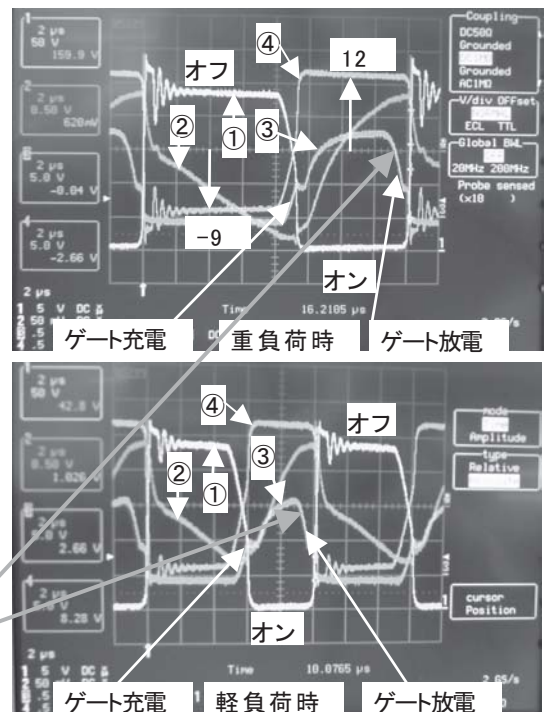


図8 オシロスコープによる動作確認の例

トランスは、FETがオンのとき伝送エネルギーを蓄積して、オフのとき二次側へ送出するが、実際には一次側で発生した磁束が二次側と鎖交しない漏れ磁束があり、このエネルギーを吸収するのがスナバ回路である。33kΩ3Wの抵抗が、継続して触ることが出来ない程熱くなり、漏れ磁束の存在を実感さる。

2. 3 二次側チョークコイルを巻く

チョークコイルは負荷側に流れるリップル電流の谷間を埋める働きがあることを理解させる。この様子はチョークコイルの両端をオシロスコープで見て、負荷側のリップル電圧が吸収されていることで確認する。

トロイダルコイルはソレノイドと違って漏れが少なくインダクタンスが計算値とよく合うので、巻き数を計算させて製作する。トロイダルコアの透磁率と外形からAL値を、許容リップル電流から必要なインダクタンスをそれぞれ求め、巻き数を計算して巻いていき、LCRメーターでインダクタンスを測定する。自己インダクタンスと巻き数の二乗が比例することを理解させる。

IV 就職面接に利用する

自作のレギュレータを持って、面接に臨んだ3名は、受験前には遅くまで残って、原理、部品とその役割、製作に当たったの工夫点、失敗した点等を整理し、練習を繰り返した。勿論3名とも内定を頂いた。それぞれのケースについて報告する。

1 M社を受験したO君の場合

- (1) 面接試験までに、オシロスコープを使って波形を確認しながら、繰り返し理論を確認した。
- (2) 何を聞かれても大丈夫という自信から、自分から製作作品を提示して積極的に説明した。理論をしっかり理解し、自信を持つことが大事である。
- (3) 構成もハンダ付けもしっかりしていると高い評価を得た。

2 E社を受験したK君の場合

- (1) 事前に電子部品の一つ一つの役割を整理して、理論を確実にした。
- (2) 人前では、はきはきと喋ることが苦手だが、アピールする材料を持っているという自信から、最初から作品を提示して、積極的に話すことが出来た。自信があれば躊躇しないことが大事である。
- (3) 技術的に高い評価を得た。

3 M社を受験したA君の場合

- (1) 放課後遅くまで残って電磁気学から勉強を始めて理論の理解に勤めた。理解できているかを確認するため、授業中に時間を貰って、みんなの前で勉強したことを説明し、分かり易かったかどうかを聞いて貰った。
- (2) 面接試験時は今ひとつ理論に自信がなかったので、作品の提示は最後にした。上手に説明出来なかった。
- (3) 出来栄は決して悪くはないが、自信のない態度から高い評価は得られなかった。

3名の学生が自作のスイッチングレギュレータを持って面接試験に臨んだが、大切なことは、自信を持って臨むことと、作品の提示を躊躇することなく、積極的に自分の方から行動することであるようだ。そうすれば企業の方は、その積極性を高く買っているのではないだろうか。

またM社の面接試験では、「ポリテクカレッジでは、平素の授業時間でこういうものづくりを行なっているのか？」と聞かれたそうであるが、ポリテクカレッジの特徴を理解して頂けたものと信じたい。

V おわりに

電子技術科では、他にライントレースロボットの製作も同時期ごろ始めたが、2年次初頭の面接試験練習で印象に残っている授業を聞くと、必ずレギュレータやロボット製作を上げてくれるようになった。レギュレータ製作でも、トランスの巻き方を間違えた者、コイルの半田付け不良から動作中に接触不良をおこし火花が飛び散った者、極性のある部品の取り付けを間違えた者、その原因究明に一緒に取り組んで遅くまで残った者など様々である。ものづくりを通して各自が自分で考え手を動かしたこと、その結果正常に動作したときの感動が記憶に残っているようである。

動作しないときの原因究明では、多くの学生達が遅くまで残って頑張っていたが、状況・推定原因・対策・結果といったドキュメントを完璧に残していないことは、ものづくりに対する成果を半減させている。最近の面接試験練習及び面接試験後の学生達の話をして聞いて、作品の提示も大事であるが製作過程のドキュメントの提示も重要であることに気が付いた。この指導を徹底したいと思っている。

【参考文献】

- (1) トランジスタ技術 1997年3月号 P286-291