

# 最近のサイリスタ・レオナード装置

## Recent Thyristor Leonard Systems for Motor Drives

In a previous paper the authors described Hitachi's standard thyristor Leonard systems HILECTOL-2, -3, and -4, which are designed chiefly for auxiliary drives for rolling mills. Recently the HILECTOL-1 was developed for the main drives. Latest trends in thyristor Leonard systems are discussed, with emphasis placed on innovations introduced into the HILECTOL. Typical applications of the HILECTOL—namely those in the steel and general industries—are cited.

神山健三\* *Kenzô Kamiyama*  
島 忠夫\* *Tadao Sima*  
小山 紘\* *Hiroshi Koyama*  
堀 孝正\*\* *Takamasa Hori Dr.Eng.*

### 1 緒 言

直流電動機を可変速制御する方式としては、1950年代までは主としてワードレオナード方式が用いられ、機種によっては、水銀整流器式静止レオナード方式も実用されていた。

昭和31年にサイリスタ素子が開発されたが、これは特に性能、信頼性、設備費および保守性に関し水銀整流器にまさっており、やがて大電流、高耐圧の素子が実用化されるに至り、1960年代後半にはサイリスタ素子を用いた静止レオナード方式がより一般的になった。

また、制御装置を構成する制御要素、器具の発達はめざましく、昭和25年以降を見ても回転増幅機から磁気増幅器へ、さらにトランジスタからIC（半導体集積回路）増幅器およびLSI（高密度実装半導体集積回路）へと進歩している。

電磁機器時代の制御要素にはそれ自身時間遅れがあり、それらを組み合わせて成る制御装置の性能にはおのずと限界があった。しかし、ICをはじめとして良質で信頼性の高いエレクトロニクス制御要素を使用できる今日においては、それらの時間遅れは全く問題とならず、意図した性能がそのまま実現されるようになった。また、信頼性、小形軽量化、設備費の低減、試運転期間の短縮および保守性などに関しても、著しい進歩が見られるようになった。

### 2 最近のサイリスタ・レオナード装置

#### 2.1 最近の動向

従来サイリスタ・レオナード装置は、主として鉄鋼業分野に多く使用されていたが、製品の品質および歩どまり向上に対し企業内外よりの要請が高まるとともに機械の性能も向上し、その他の分野にも積極的に適用されるようになった。

一方、最近の企業環境を見ると省力化、高性能化が指向され、サイリスタ・レオナード装置についても、一般に下記のような事項が要請されるようになった。

- (1) 装置の経済性
  - (a) 装置の小形、軽量化
  - (b) 据付工事の簡単化
  - (c) 設備の早期稼働化
- (2) 高信頼性
  - (a) 稼働率の向上
  - (b) 保守の低減および無保守化
  - (c) 装置品質の均一化
- (3) 性能向上
  - (a) 製品の品質および歩どまりの向上
  - (b) 安定運転
  - (c) 使いやすさ

ここで、装置が大形になるとそれだけ据付面積を要し、設備費も高くなり、また機器の早期稼働の面からも好ましくない。さらに、サイリスタ・レオナード方式では直流電動機の整流子やブラシなど多少の保守は避けられないが、制御装置に多数の調整箇所を設けることは、生産ライン停止時の早期復旧および保守の容易さからみて好ましくない。また、無負荷のときと負荷を加えたときとで性能が異なったり、運転方向を変えるときに切替時間が長くなることは、製品の品質および歩どまりを低下させるので好ましくない。

HILECTOLは、直流電動機の可変速制御に要請される仕様をプラント全体のシステムより見直し、今度新しく開発した標準サイリスタ・レオナード装置である。

#### 2.2 HILECTOLの特長

逆並列接続のサイリスタ・レオナード方式により4象現運転を行なう方法としては、循環電流方式と無循環電流方式との二つの方式がある。循環電流方式は、運転方向を切り換えるときデッドタイムがなく良好な切替特性が得られる反面、設備費が高価になる。一方、無循環電流方式は、運転方向切替時のデッドタイムは避けられないが、設備費が安価となる利点を有している。運転方向切替時のデッドタイムは、最近の制御技術の進歩によりほとんど無視できるようになり、現在では無循環電流方式がより一般的になった。

HILECTOLは無循環電流方式で、軽負荷時および運転方向切替時の性能劣化を瞬時応答のマイナーループ系により補償し、その利点を最大限に利用している。HILECTOLを日立の従来装置と比較してその特長を列記すると表1のとおりである。

### 3 HILECTOLに適用された新技術

#### 3.1 新技術の概要

HILECTOLに適用された新技術を、装置の経済性、信頼性および制御性能の観点より見ると次のとおりである。

装置の経済性については、回路の簡単化および実装の高密度化など合理的設計により、装置の小形化を図ることが最も得策であると考えられる。すなわち、これにより設備費、現地配線工事費の低減および試運転期間の短縮が可能となるためである。

信頼性については、回路の簡単化および専用ICパッケージ化による部品点数の大幅低減により、MTBF（平均故障間隔）の向上を図り、さらに、万一生じた事故に対してはパッケージあるいはユニットごと交換できる構造とし、かつ調整箇所を一点化することによりMDT（平均稼働不可能時間）の短縮を図ることが最もたいせつであると考えられる。また、標準化とビルディング・プロ

\* 日立製作所大みか工場 \*\* 日立製作所日立研究所 工学博士

表 1 HILECTOLの特長 Table 1 Features of HILECTOL

HILECTOLを日立の従来装置と比較したものである。 び運転方向切換時の性能劣化を瞬時応答のマイナ 経済性、信頼性および性能向上を図った点にある。  
HILECTOLの特長は無循環電流方式で軽負荷時およ ループ系により補償し、その利点を最大に利用して、

No.	項 目	従 来 装 置	H I L E C T O L
1	経 済 性	装置の大きさ	キュービクル3面
		配線工事	現地でキュービクル間の配線が必要
		試運転期間	現地で試運転調整のための調整要
2	信 頼 性	稼働率	(1) MTBFが向上 (2) MDTが短縮
		保守性	(1) 用途別制御回路 (2) 用途別標準ユニット
		品質の均一性	部分的標準化
3	性能向上	制御性能	軽負荷時における制御性能は劣化しない

ック方式による量産化および専用試験装置により品質の均一化を図ることも必要である。

ユーザー製品の品質および歩どまりの向上に対しては、仕様を十分に満足しかつ使いやすいたることが必要である。そのためには瞬時応答のマイナーループ制御系などにより特に軽負荷時における制御性能の向上と安定運転の確保に意を用いることがたいせつである。

次に、HILECTOLに適用された代表的新技术を具体的に示すと表2のようになる。

3.2 新技术の効用

最近のサイリスタ・レオナード装置の制御方式は、マイナーループとして一般に電流制御系あるいは電流制御系の内側に電圧制御系が採用されている。メジャー系系の制御性能を向上させるためには、これらマイナーループ系の応答を高速化することが必要である。高速制御系では運転方向を切り換えるときに転流失敗しやすくなるので、その防止に特に意を用いることがたいせつである。転流失敗現象を検討した結果、サイリスタなどの二次電圧およびその他の回路定数が一定でゲートパルス発生器が正常な

場合、その大部分の原因は電流の異常過大変化率 ( $di/dt$ ) によることわかった。

図1はインバータ運転時、瞬時にコンバータ運転に切り換えたときの過渡制御(進み)角  $\gamma_t$  の変化を示す曲線である。一般に電流の変化率  $di/dt$  は、電流指令の大きさによりかなり大幅に変化する。ここで電流の  $di/dt$  が異常に大きくなり、過渡制御角  $\gamma_t$  がインバータ運転安全最小制御角  $\gamma_{min}$  と交わると、転流失敗が起こる。一方、電流の変化率を一定に制御できる電流レート制御系を適用すれば、過渡制御角  $\gamma_t$  は常に決まった変化をするので、インバータ運転時の過渡制御角  $\gamma_t$  の変化幅が安全最小制御角  $\gamma_{min}$  以下にならないように設定すれば、インバータ運転時電流を急変させることにより生ずる転流失敗現象を防止することができる。特に高性能用HILECTOL-1には、用途により電流レート制御系を付加することもできる。

4 HILECTOLシリーズの応用例

4.1 用途と機種を選択法

HILECTOLシリーズには、機械の運転条件、機械の要求する性

表 2 HILECTOLに適用された代表的新技术 Table 2 Typical New Technologies Applied to HILECTOL

経済性、信頼性および性能向上を図るため採られた具体的手段を示したものである。

No.	項 目	手 段
1	経 済 性 (1) サイリスタ主回路	<p>回路の簡単化および高密度実装化により、キュービクル1面化を図る</p> <p>(i) ヒューズ(F)、インダクタンス(L)およびA-K間C/Rを逆並列接続の1組のサイリスタ素子に対し共通に使用し、回路の簡単化を図る。</p> <p style="text-align: right;">F : ヒューズ L : インダクタンス CTT : 接触器 APPS : ゲートパルス発生器 CTR : 制御回路</p>
	(2) 制 御 回 路	<p>(i) 正、逆サイリスタ変換装置に対し、ゲートパルス発生器(APPS)を1台とし、回路の簡単化を図る。</p> <p>(ii) 専用ICパッケージを用い、回路の簡単化および高密度実装化を図る。</p>
2	信 頼 性	<p>(i) 回路の簡単化、専用ICパッケージ化および接点回路の無接点化。</p> <p>(ii) 故障時パッケージあるいはユニットごとの交換、調整の一点化。</p> <p>(iii) ビルディング・ブロックによる製作および専用試験装置による検査工程のコンペヤ化。</p>
3	性 能 向 上	<p>(i) 瞬時応答のマイナーループ制御系による軽負荷時における制御性能の改善。</p> <p>(ii) 用途により電流のレート制御系により電流の異常過大変化率による転流失敗の防止。</p>

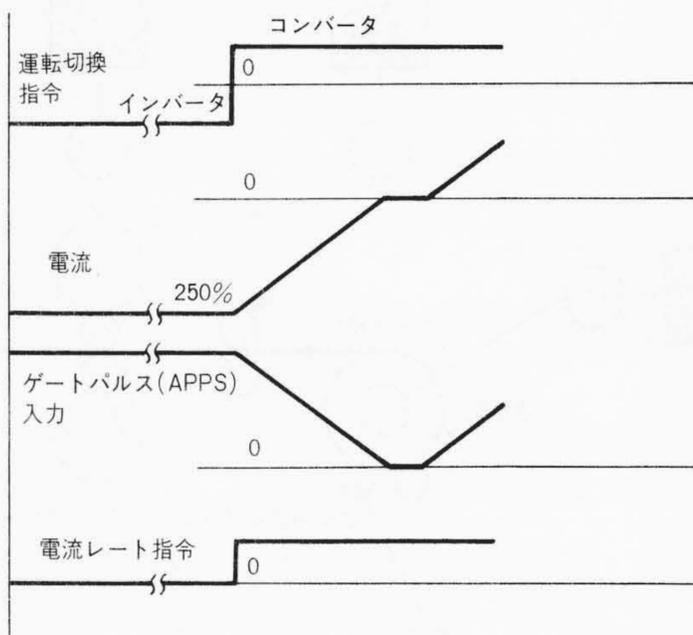
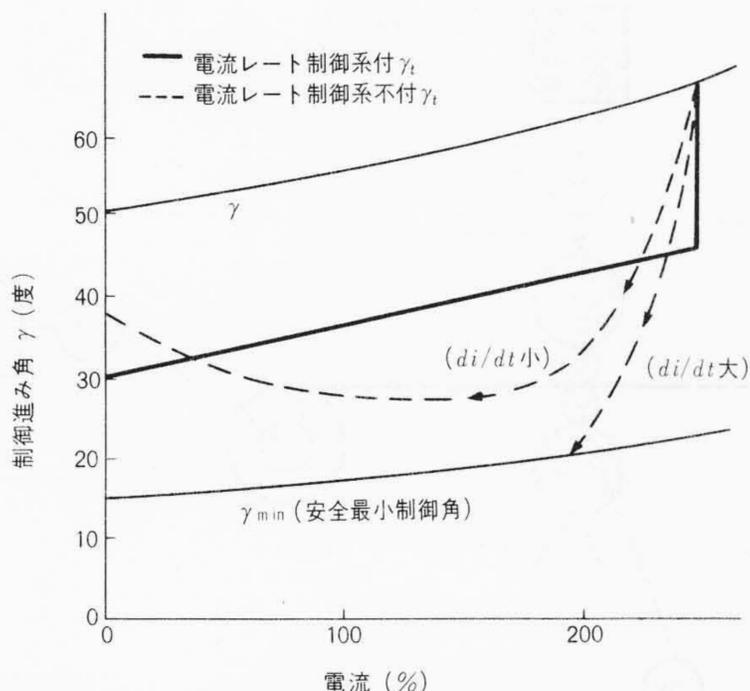


図1 電流レート制御系による過渡制御角 Fig. 1 Transient Control Angle in the Current Control System

インバータ運転時、瞬時にコンバータ運転に切り換えたときの過渡制御角 $\gamma_t$ の変化を示したもので、 $\gamma_t$ は電流の変化率 $di/dt$ によりかなり大きく変化する。

能および負荷の種類などにより、最も適した機種が選択できるような機種が準備されている。

表3は、用途に最も適した機種を選ぶためのフローチャートである。まず、機械の要求性能をよく調査し、運転方向、切換ひん度、切換時間および電動機容量などを考慮すれば、おのずと最も適した機種を選択することができる。

4.2 代表的適用例

直流電動機が使用されている用途には、どこにでも適用できる。ここでは、その代表的適用例について示すことにする。

(1) 製鉄工業への応用

直流電動機を高応答、高ひん度で最も多く応用する分野は、製鉄工業であり、数百ワットから数千キロワットの容量まで多種多様である。

図2はn基冷間圧延機用主スタンドに応用した例である。与えられた用途に対しHILECTOLのどの形式のものを選択するかは4.1に従い、高応答加減速、高ひん度運転方向切換で高精度な制御が要求される主スタンド、巻取機、巻戻し機、圧下装置には、H-1形を使用し、高ひん度可逆運転であるが、運転方向の切換時間をあまり問題としないピンチロールには、H-2または容量によりH-4形を使用、低ひん度可逆運転をするクレードルロールには、H-3

表3 HILECTOLシリーズを選択するためのフローチャート Table 3 Flow Chart for the Selection of HILECTOL Series

用途に最も適した機種は、機械の要求性能をよく調べ、運転方向、切換ひん度、切換時間および電動機容量などを考慮すれば、おのずと決まる。

HILECTOL	H - 1	H - 2	H - 3	H - 4	H - 11	H - 12
項目	H - 1	H - 2	H - 3	H - 4	H - 11	H - 12
電源相数	三相	三相	三相	単相	三相	単相
サイリスタの構成	逆並列	逆並列	単変換	逆並列	単変換	単変換
制御方式の おもな特長	(1) APPS 1台による無循環電流パルス切換方式 (2) 軽負荷時の性能劣化補償	(1) APPS 1台による無循環電流パルス切換方式 (2) 軽負荷時の性能劣化補償	(1) 主回路単基切換方式 (2) 軽負荷時の性能劣化補償	(1) APPS 1台による無循環電流パルス切換方式 (2) 軽負荷時の性能劣化補償	(1) 軽負荷時の性能劣化補償	(1) 軽負荷時の性能劣化補償
おもな用途	熱間および冷間圧延機用 主ロール 圧下	熱間圧延補機用 テーブル類 圧下	冷間圧延機用 補機 各種搬送コンベヤ類	精整 プッシャ 昇降スキッド	精整 稿正機	精整 稿正機

備考：APPSはゲートパルス発生器

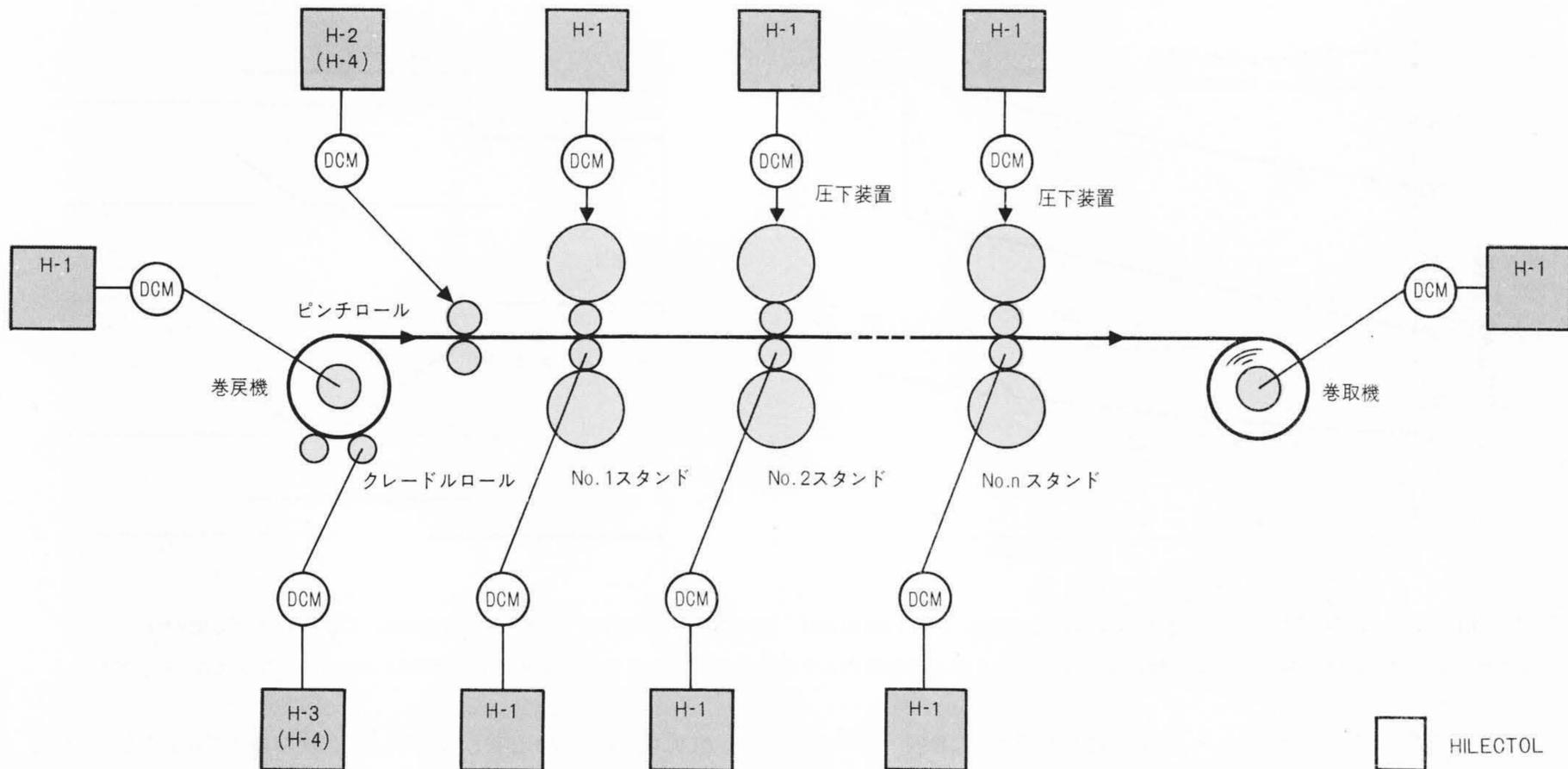


図2 n基冷間圧延機用主スタンドへの応用  
各用途に対しHILECTOLのどの形式のものを選択するかは、表3の選択法による。

Fig. 2 An Example of Application to N-stand Tandem Cold Rolling Mill

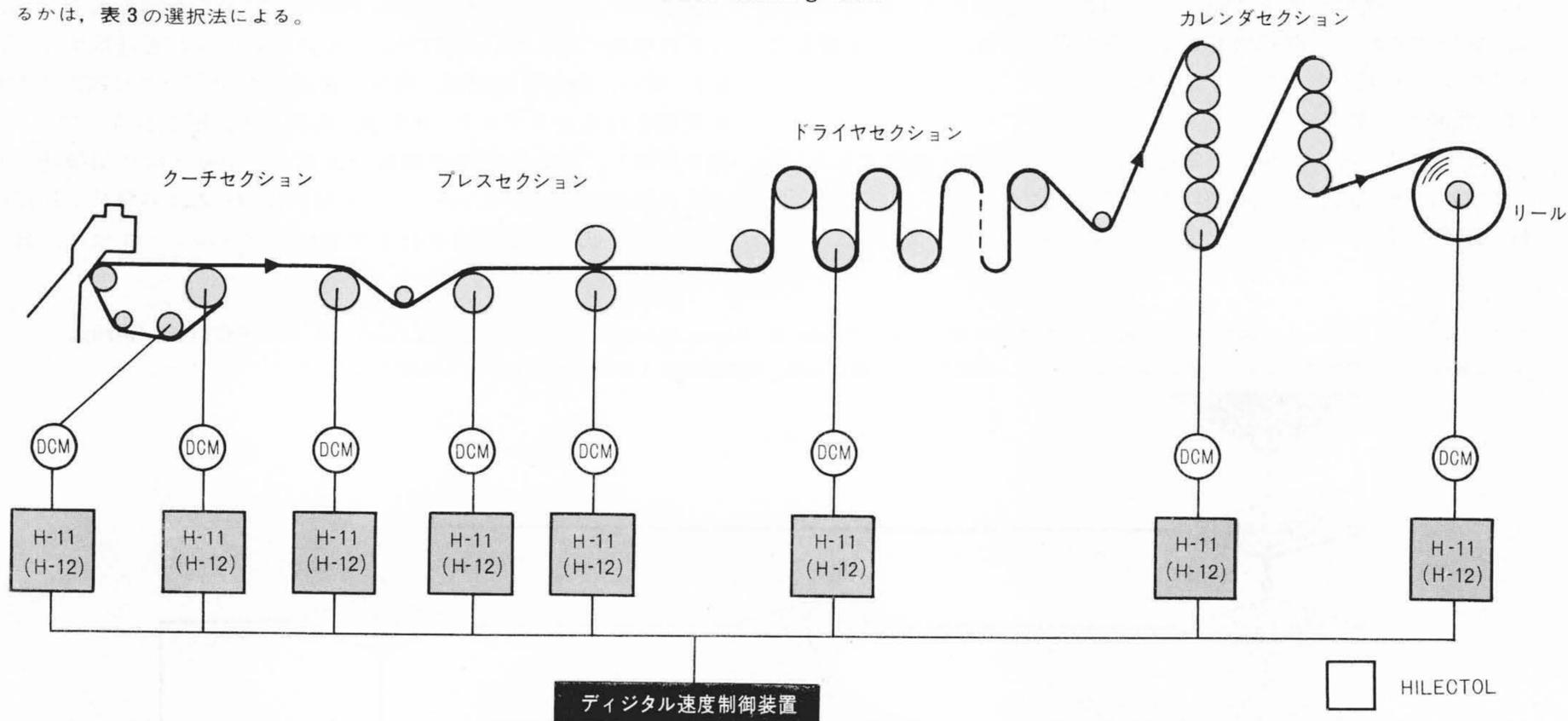


図3 抄紙機における応用例 Fig. 3 An Example of Application to Paper Mill  
HILECTOLの形式選択には表3の選択法を適用する。

形が適している。

(2) 製紙工業への応用

製鉄工業について直流電動機の応用の多いのが製紙工業であり、高応答、高精度な制御が必要とされる。製紙工業の場合は、数キロワットから数百キロワットの電動機まで多種多様であるが、高ひん度の可逆運転は必要でなく、高精度で長時間安定な連続運転が要求されるものが多い。

図3は抄紙ラインに応用した例である。各装置の選択にあたっては、先にも述べたように高ひん度の可逆運転を必要としないため、ほとんどのものに対して単変換のH-11形を使用し、逆転に際しては電動機の界磁を切り換えて行なう。また、高精度の制御が要求されるためデジタル速度制御が付加される場合が多い。以上、二つの例を示したが4.1に述べた選択法を適用することにより、HILECTOLはあらゆる用途に適用できるものとする。

5 結 言

HILECTOLシリーズは、以上説明したように日立製作所が経済性、信頼性および性能向上を主眼として新らしく開発した標準サイリスタ・レオナード装置である。本シリーズは現在のところ6機種準備されており、ユーザーは用途に最も適した装置を選ぶことができる。

標準化と多様化とは、一般にあい反する関係にある。しかし、HILECTOLシリーズは、サイリスタ変換回路、接触器回路および制御回路が完全に標準化されており、特に制御回路のICパッケージは全シリーズ共通で、標準化と多様化とが同時に満足されており、予備品の手持数は必要最少限にて済むよう考慮されている。最近になって交流電動機の可変速制御方式の適用も進み、特に一般産業分野において直流電動機に代わって実用化され始めようとしているが、それについては稿を改めて紹介したいと考えている。