

## 製紙産業の発展に大きな影響を与えた技術： 抄紙機の世界速度制御

紙パルプ技術協会 製紙産業技術遺産保存・発信

過去 50 年間の技術革新の大きな成果の一つに抄紙機の大型化があげられる。例えば新聞用抄紙機では、1950 年頃は 3.5m 幅で抄紙速度 300m/分であったものが近年では 10m 幅で 1800m/分にまでなっている。そこには、抄紙機のデザインにはじまり、各装置の開発・改良、副資材の開発等、多くのエンジニアリングの成果が組み込まれている。そのひとつに抄紙機の世界速度制御がある。

抄紙機では、数多くのロールが回転しており、抄紙機上では紙は引っ張られることで伸びていく。それらのロールの回転速度を、伸びに合わせる必要があり、所定通りに制御しないと断紙が発生する。

ロールの回転速度は、それを駆動する電動機の回転で制御されている。この電動機を制御させる装置がドライブ装置で、近年の大型・高速化により、より大容量のドライブ装置が必要とされ、より精度良くモータを回転させることが求められてきた。

可変速ドライブの変遷を中心に、技術革新を引き起こしたアナログからデジタルへの変遷を概観する。

### 1. 可変速ドライブの変遷

#### 1.1 ラインシャフトドライブ

抄紙機が小型で低速の頃は、抄紙機の脇を通したシャフトを元起し電動機で回転させ、この回転するシャフトからそれぞれのロールが機械的な変速機で回転動力を得ていた。代表例として、ワードレオナード方式があり、これは一般動力電源で電動機を運転し、直結された発電機で可変の直流電圧を発生させ元起し電動機へ供給していた。シャフトの回転速度は直流電圧の高さで制御されており、ロールの回転を増すには、発電機の直流電圧を上げ元起し電動機に印加することで行っていた。(右ページ図 1 参照)

#### 1.2 セクショナルドライブ

##### 1.2.1 ワードレオナードから静止レオナードへ

抄紙機の大型化、高速化によりラインシャフトによる機械式制御から、ロールを個々に制御するセクショナルドライブへと移行していく。一例として、各ロールに直流電動機を設置しそれぞれに可変の直流電圧を供給する。それには、その直流電圧を生み出すドライブ装置の技術開発が大きく寄与した。まず、直流電圧の発生源として発電機ではなく水銀整流器を使用する静止レオナード方式が採用され、これで得た可変直流電圧でロールの直流電動機を回転させる。これにより速度制御応答性が飛躍的に向上した。さらに、1960 年より、水銀整流器に代わりサイリスタ(シリコン制御整流器)を使用したサイリスタレオナードが実用化され、またたくまに主流となった。また、直流電動機の回転数を検出し(PLG)、フィードバック制御が取り入れられ、個別にコントロールすることが可能になった。

##### 1.2.2 ブラシレス・セクショナルドライブ

直流電動機は、回転子にブラシを接触させる必要があり、この保守が煩雑であった。それを改善すべく、1969 年に同期電動機駆動サイリスタモータが開発された。これは、くし形磁極を持った同期電動機とサイリスタ変換器を使用した交流式サイリスタモータで、1974 年に世界で初めてブラシレス・セクショナルドライブ(直流電動機に必要なブラシのない)の抄紙機が稼働した。これにより、メンテナンスが大幅に軽減された。

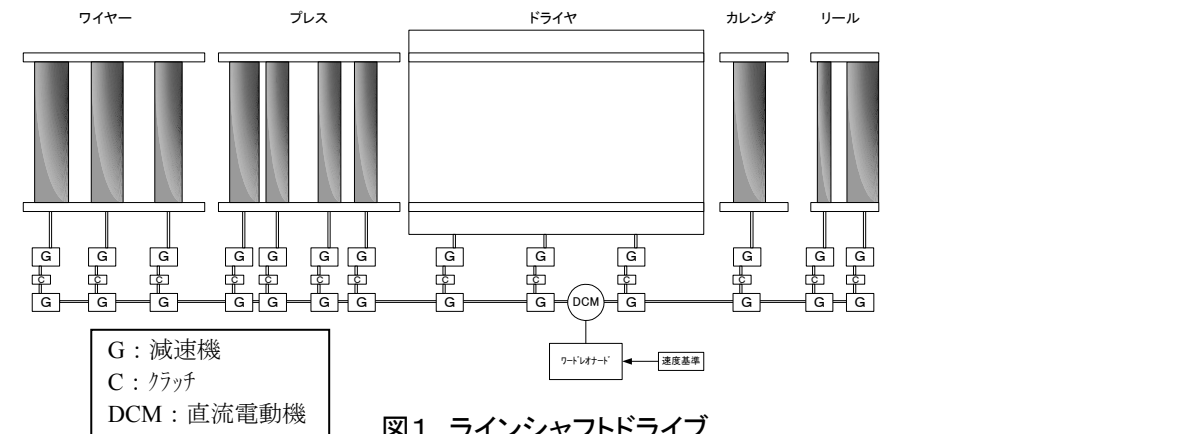


図1 ラインシャフトドライブ

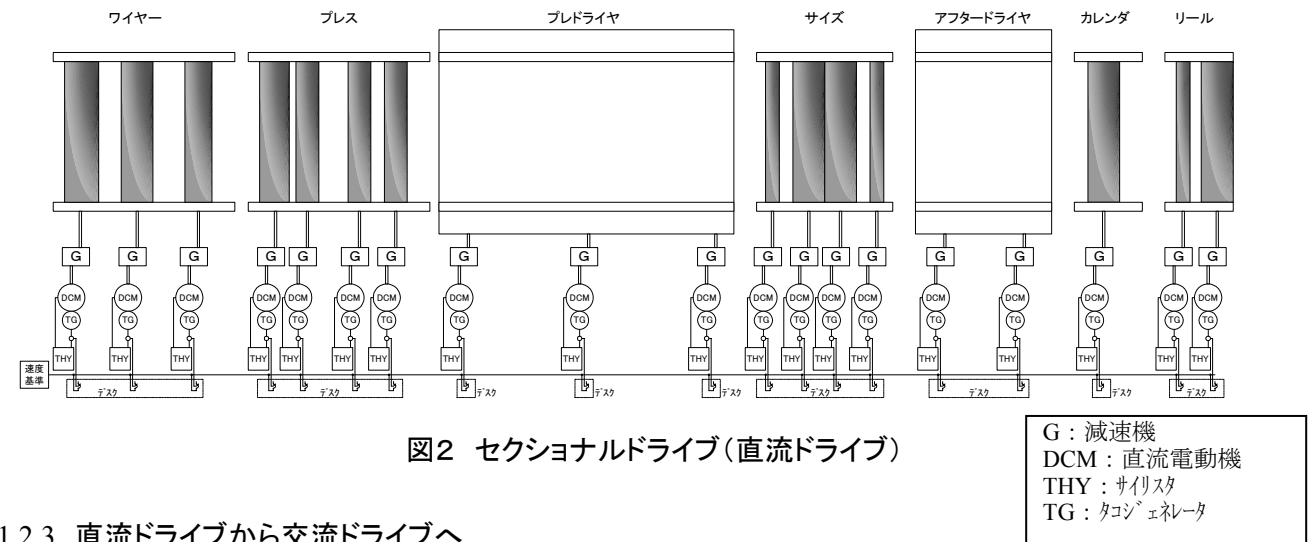


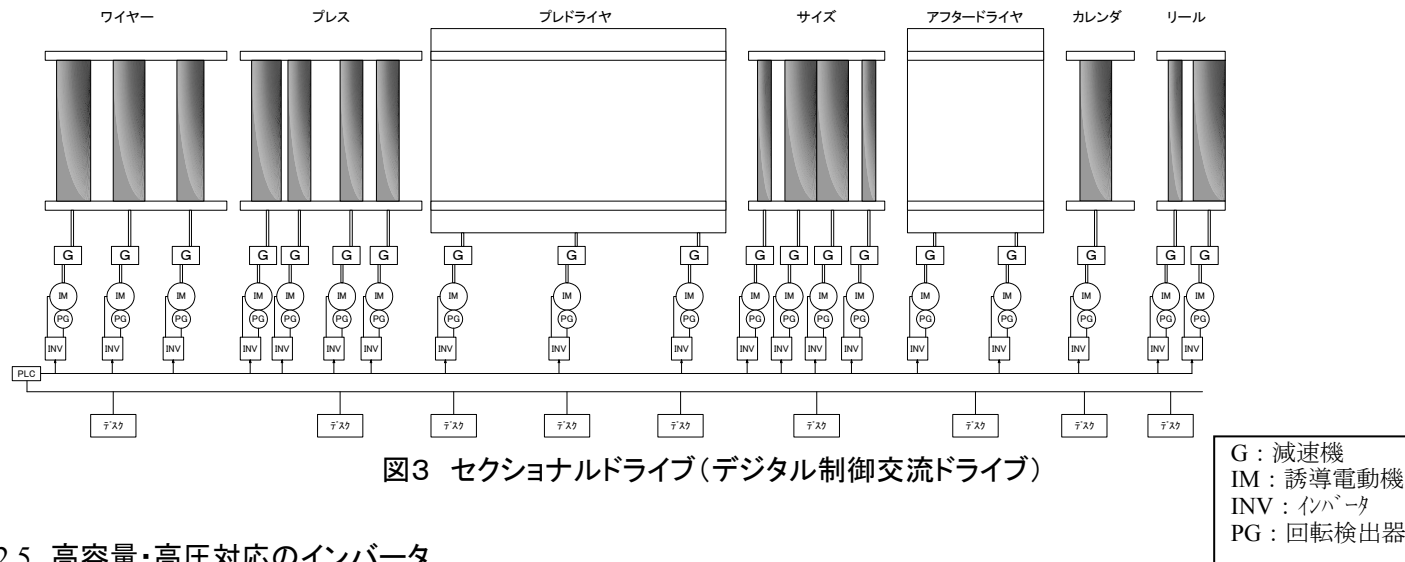
図2 セクショナルドライブ(直流ドライブ)

#### 1.2.3 直流ドライブから交流ドライブへ

しかし、メンテナンスの容易な交流電動機への要望は強く、その技術開発が続いた。交流電動機(誘導電動機)でロールの回転数を変えるには、供給する交流の周波数を変えることになる。これを可能にしたのが、1970 年に開発されたサイリスタによる電流形インバータで、これと同時期に実用化されたベクトル制御技術とを融合させた誘導電動機を使用した高性能交流可変速ドライブが登場し、直流ドライブに迫る性能を実現した。しかしこの時代は、インバータの制御回路はまだアナログで高精度の演算を行っていたため、温度等周囲環境の影響を受けやすい設備であった。1979 年にはそれによるセクショナルドライブが稼働した。中容量以上で、温度、湿度等電動機の設置環境の良くないところで(ウエットパート等)で適用された。

#### 1.2.4 交流ドライブの高性能化(電流形インバータから電圧形インバータへ)

次いで、1980 年代初めにパワートランジスタを用いた電圧形インバータが開発され、小容量クラスのドライブに採用された。また、デジタル化が急速に発展した時代で、マイクロプロセッサを使用した正弦波 PWM 方式(Pulse Width Modulation)が採用され、その特徴は、電動機の運転効率がよく、トルク脈動が少ないことであった。当初、パワートランジスタは、許容電圧が低く、200V クラスの電動機が対象であったが、その後、パワートランジスタの許容電圧の上昇、容量の拡大等の技術開発により、400V 級の電動機にも適用できるようになり、徐々に電流形サイリスタインバータを凌駕していった。



### 1.2.5 大容量・高圧対応のインバータ

パワートランジスタに対し、高速スイッチング・低損失が可能な IGBT(絶縁ゲートバイポーラトランジスタ)が開発され、1990 年頃よりパワートランジスタに代わるようになってきた。1995 年には IGBT デジタル制御電圧形インバータ駆動による抄紙機が稼働した。現在では、1000kW クラス以上の大容量の電動機が駆動されている。ちなみに、1950 年代の幅が狭い抄紙機では電動機は 200kW 程度であった。

さらに、抄紙機の大型・高速化に対応するため、より高電圧対応の 3 レベル高圧 IGBT インバータが 1997 年に抄紙機に適用された。

## 2. アナログからデジタルへ

過去 50 年間の技術開発の一つの特徴が、アナログからデジタルへ、に要約される。

### 2.1 コントローラのデジタル化

1960 年代はアナログで精密な速度制御をおこなうため、安定した基準 DC110V を作る RVG(Reference Voltage Generator)と精密な回転計発電機(100V)を組み合わせたもの、粗調整と微調整(1:1/10)を組み合わせたものなどが使われた。次第に抄紙機の高速化の要求が高まるにつれ、従来の±0.05%から±0.01%クラスの精度が求められる、アナログ制御の外側にデジタルフィードバックを持たせる必要があった。

1970 年では、デジタル制御基板を用い、速度基準を F/V 変換してデジタル速度基準を作り、PLG(パルス発信器)により回転数をフィードバック入力して、各モータ間の速度差を 0.01%で監視・表示するアナログデジタル混在のハイブリッド型のドロー監視装置が実用化された。これにより温度によるドリフトを除くことができた。さらに、1970 年代後半には、12 ビットのマイコンが導入されてくる。そして、1980 年代には、現在使われている PLC(プログラマブルロジックコントローラ)に受け継がれていく。

### 2.2 ドライブ装置のデジタル化

1980 年代初めに、16 ビットのマイクロプロセッサが登場し、全デジタル制御のサイリスタレオナードが開発され、順次電流形サイリスタインバータ、電圧形トランジスタインバータにも利用されていく。1987 年に全デジタルインバータ駆動セクショナルドライブの抄紙機が稼働した。ドライブ装置のデジタル化は、制御精度の向上と、安定性、再現性、温度ドリフトフリーなどの性能面での向上のみならず、専用のドライブ LAN で主幹装置に接続することで完全なデジタル制御を実現した。

1990 年代に入って、32 ビット化、マルチプロセッサ化、さらにはドライブ専用プロセッサが開発された。これにより、保守性が向上し、PWM 機能、ベクトル制御機能が高速化し、サンプリング周期を大幅に向上させた。現在も更なる進化をつづけている。(資料提供:日本製紙(株) 菊地 啓一)

## 抄紙機駆動用可変速ドライブとコントローラの変遷

