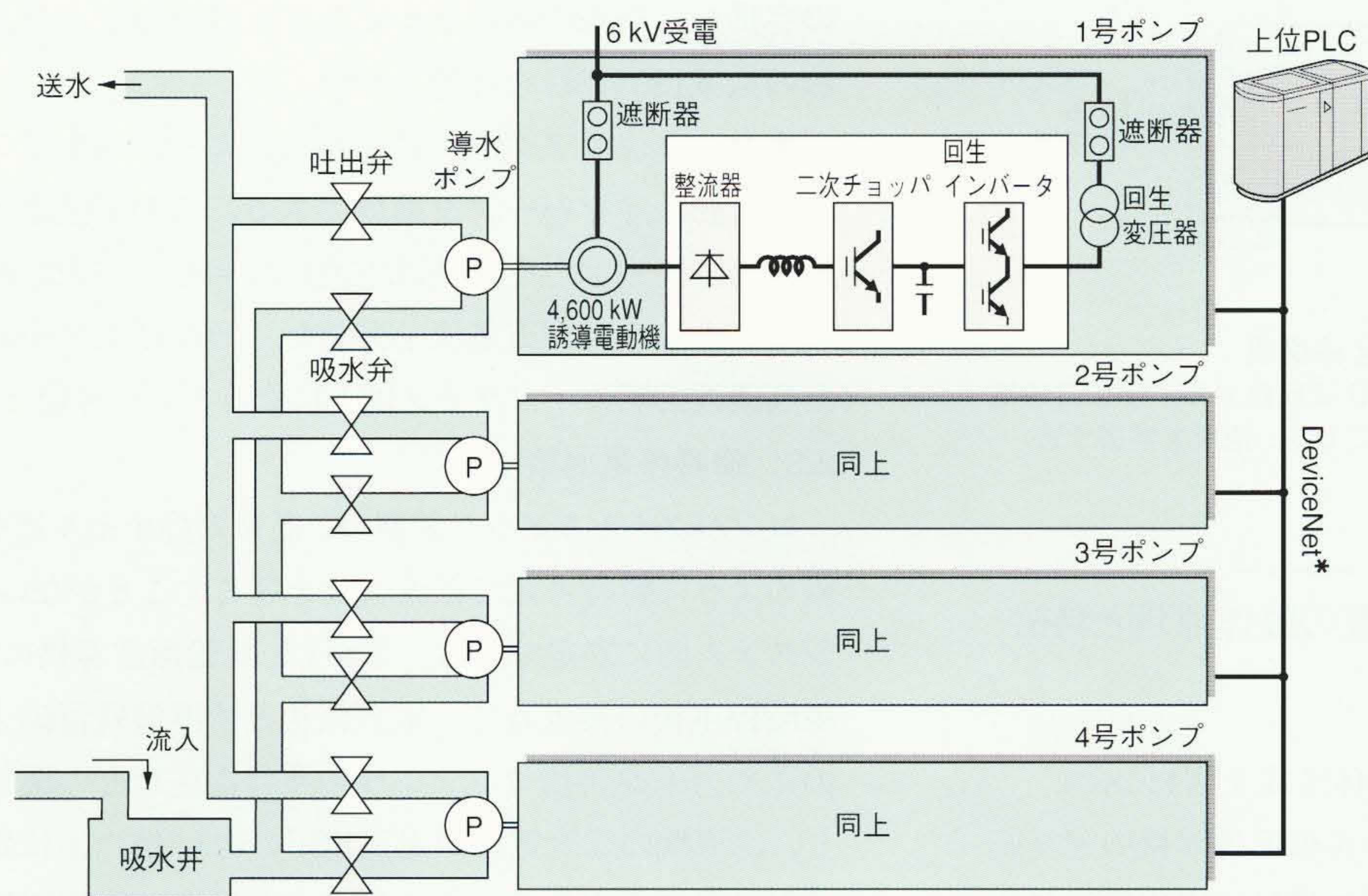


巻線形誘導電動機用高効率可変速ドライブシステム (コンパクトセルビウス装置)

High-Efficiency Variable-Speed Drive System (Compact Scherbius System) for Wound-Rotor Induction Motors

櫻井浩二 Kôji Sakurai 松本邦次 Kunitsugu Matsumoto 根本治郎 Haruo Nemoto
大尾典雄 Norio Daio 千葉 浩 Kô Chiba



注：略語説明など
P (Pump)
PLC (Programmable Logic Controller)
* DeviceNetは、ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) の登録商標である。

神奈川県内広域水道企業団相模原ポンプ場納め4,600 kW誘導電動機可変速セルビウス装置と周辺構成

国内最大クラスの誘導電動機の色度制御にコンパクトセルビウス方式を採用し、変換器の小型化、システム効率の向上、高調波の低減を図っている。上位リンクには、DeviceNetを適用している。

誘導電動機の色度制御装置は、インバータの大容量化や高圧化などのシーズと省エネルギー・高調波対応などのニーズを両輪として、多様な発展を続けている。

巻線形誘導電動機を高効率に可変速ドライブするコンパクトセルビウス装置は、一次電力制御の主インバータ方式にはない、次の特徴を持つ。

- (1) 主インバータ方式の約半分以下の容量の変換器、特にポンプやブローなどの二乗負荷の場合には約 $\frac{1}{6}$ の変換器容量で済むので変換器盤寸法を30%に縮小できる。さらに、力率改善用コンデンサも省略でき、省スペース化が可能である。
- (2) 変換器の容量を小型化できるので、装置の発生損失を20%以上改善できる。
- (3) 二次抵抗制御や二次短絡回路との併用によってバックアップ運転が容易にでき、駆動システムとして信頼性の向上を図れる。

日立製作所は、コンパクトセルビウス装置“HIVECTOL-CSB”をシリーズ化することにより、100kW程度の小容量クラスから6,000kWの大容量機までの品ぞろえを完了し、ポンプやブロー、かくはん機(ゴム製造用バンバリー、セメントキルンほか)など各種産業の駆動装置としての用途に加え、小水力可変速誘導発電設備にも展開している。

1 はじめに

1997年に開催された地球温暖化防止京都会議で、CO₂の排出量を、1990年に比べて6%削減する数値目標が採択された。この目標達成のために、産業用電動機をドライブ装置導入によって可変速化し、プラントエネルギーの効率を向上させることが求められている。また、1994年に制定された通商産業省の高調波抑制ガイドラインに準拠した、高調波発生量の抑制も重要な課題である。

これらのニーズに対して、種々の電力変換器、特にインバータ方式による電動機駆動装置が製品化されている。

日立製作所は、巻線形誘導電動・発電機(以下、誘導機と言う。)用可変速装置として、従来のセルビウス方式に比べて大幅に小型化(30%減)した「コンパクトセルビウス装置」をシリーズで製品化し、発売している。その動作原理は、誘導機の二次電流(すなわち「発生トルク」)をチョップで調節し、誘導機の回転数を制御するものである。

ここでは、巻線形誘導機用コンパクトセルビウス速度制御装置の概要と導入例について述べる。

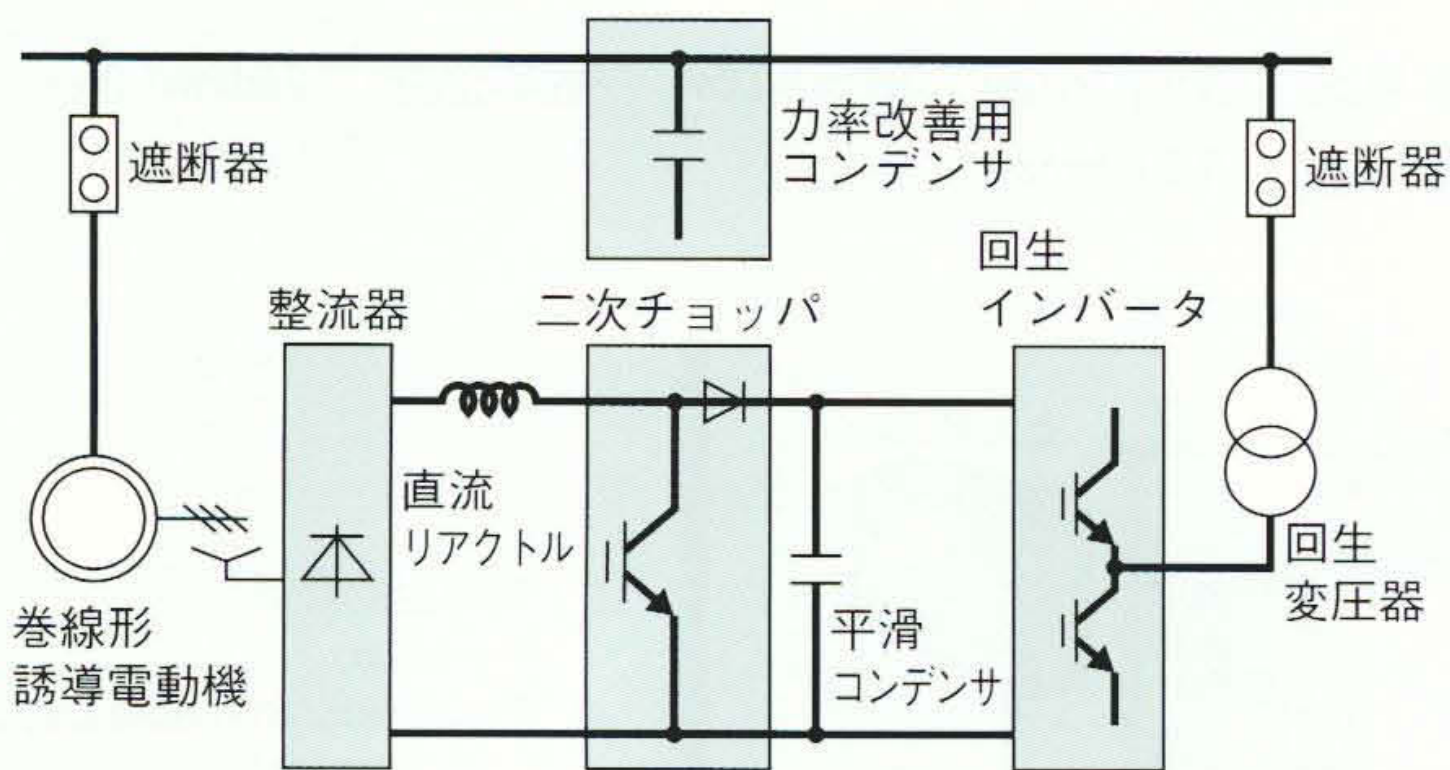


図1 コンパクトセルビウス装置の全体構成

誘導機の発生トルクは、二次電流にほぼ比例する。その二次電流を整流後にチョッパで調節することにより、速度を制御する。

2 コンパクトセルビウス装置の動作原理と特徴

2.1 動作原理

コンパクトセルビウス装置の全体構成を図1に示す。

コンパクトセルビウス装置は、巻線形誘導機の速度制御装置である。誘導機の発生トルクはほぼ二次電流に比例するので、その二次電流を調節し、速度を制御する。発生トルクを調節し、速度を制御する方法は他の電動機速度制御方式と同じである。

主回路は、整流器と平滑用の直流リアクトル、二次チョッパ、平滑コンデンサ、回生インバータおよび変圧器で構成する。整流器は、巻線形誘導機のスリップリングからの二次電流を交流から直流に変換する。二次チョッパは、電流通流率を調整することにより、直流に変換された二次電流を制御し、誘導機の発生トルクと速度を制御する。回生インバータは、二次チョッパの作動によって平滑コンデンサに充電した二次電力を交流に変換し、変圧器を介して電源に回生する。これらの一連の動作により、高効率の可変速制御を行う。

2.2 従来の静止セルビウス装置との比較

従来の静止セルビウス装置と比較して、コンパクトセルビウス装置の主な改良点は下記の2点である。

- (1) 二乗負荷の場合、回生インバータの容量を $\frac{1}{6}$ に低減でき、装置全体を小型化、高効率にできる(誘導機容量ではなく、負荷に応じて回生インバータ容量を決定する。)
- (2) 回生電流を力率1.0と正弦波に制御することから、通商産業省が制定している高調波抑制ガイドラインをクリアできる。

上記2点を達成するために追加した主変換器が、二次チョッパである。二次チョッパは、誘導機の二次電流を

制御することにより、回生インバータが二次回生電力だけを制御することを可能とした。これにより、ポンプやブローなどの速度の二乗に比例する負荷(トルク)にコンパクトセルビウス装置を適用した場合、回生インバータの容量を、従来の静止セルビウス装置の約 $\frac{1}{6}$ とし、盤寸法の低減(30%減)を可能とした。

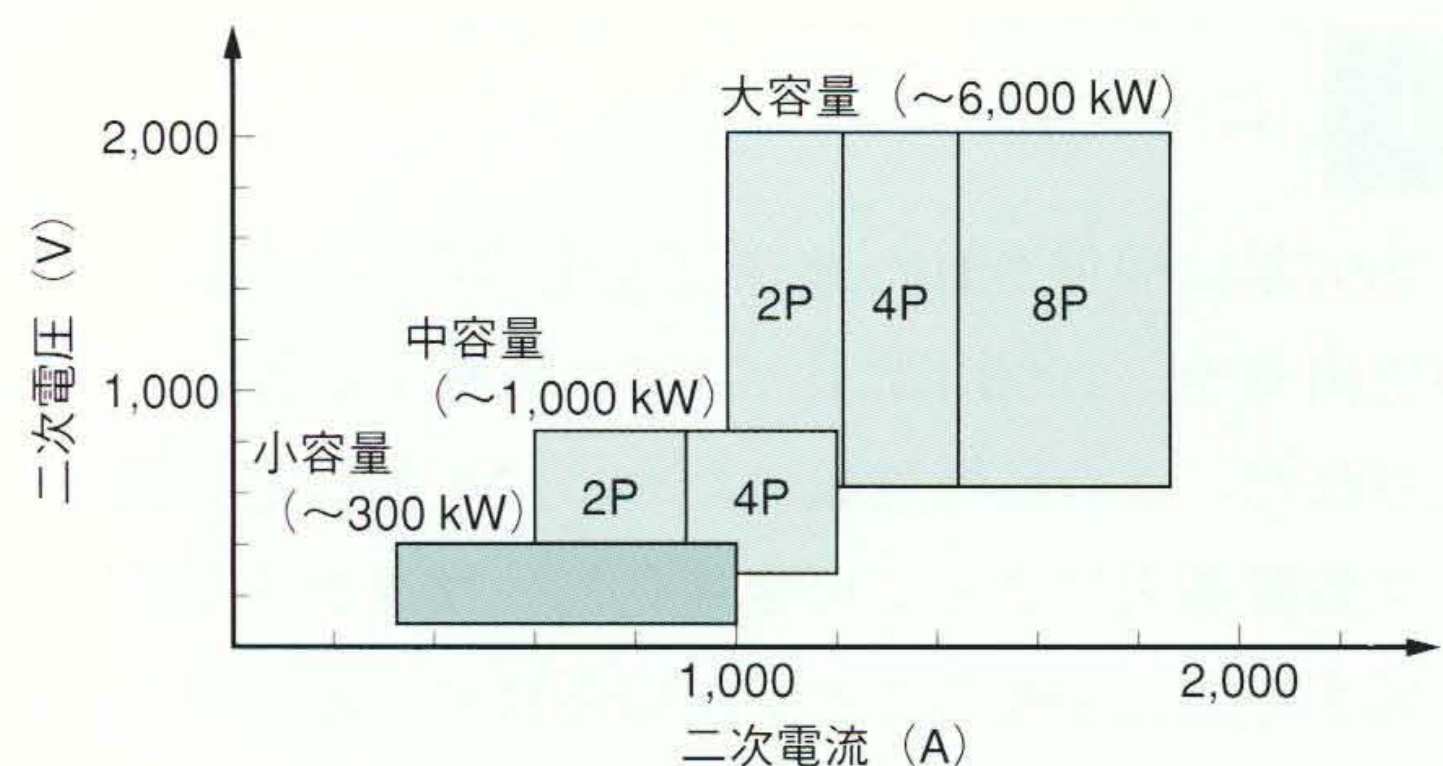
また、直流リアクトル昇圧作用により、回生インバータに正弦波インバータを適用できる。この正弦波インバータは、回生電力を正弦波電流に制御し、電源に回生することから、高調波電流を抑制し、通商産業省が制定した高調波抑制ガイドライン以下にすることを可能とした。

2.3 瞬時停電対策

コンパクトセルビウス装置は、従来の静止セルビウス装置のように瞬時停電で転流失敗を起こすことがないので、系統的に安定である。しかし、巻線形誘導機の場合、瞬時停電後の復電時に、電源位相と誘導機残留磁束位相の差や力率改善用コンデンサの残留電圧などの関係により、誘導機の二次電圧が定格電圧の約1.5倍以上に異常に上昇することがある。その異常な上昇電圧を放電抵抗器によって放電し、正常電圧に復帰後に運転を再開する方式を採用した。これにより、従来の静止セルビウスでは必要であった高速度遮断器や異常電圧抑制抵抗器といった装置寸法の増大につながる機器が、コンパクトセルビウス装置では不要か、または小型なものとすることができた。

2.4 製品系列マップ

コンパクトセルビウス装置の製品系列マップを図2に示す。コンパクトセルビウス装置では、動作上、主回路直流電圧を電動機の定格二次電圧全波整流値以上にしなければならない。そのため、製品系列は、電動機の二次電圧と容量により、小容量、中容量、大容量クラスの3



注: 略語説明 P(ユニット並列数)

図2 コンパクトセルビウス装置の製品系列マップ

ユーザーのニーズに合わせて、300 kWの小容量から6,000 kWの大容量まで品ぞろえしている。

クラスとしている。小容量クラスでは、駆動可能な電動機の二次電圧は400 V以下、容量は300 kWまでに、中容量クラスでは、電動機の二次電圧は850 V以下、容量は1,000 kWまでに、大容量クラスでは二次電圧は2,000 V以下、容量は6,000 kWまでにそれぞれ対応している。

また、ユニット・素子・導体立体構造並列化シミュレーション技術を駆使し、二次チョップと回生インバータをユニット化することにより、素子並列数を2P、4P、8Pとすることを可能とした。これにより、出力容量拡大への対応を容易とした。

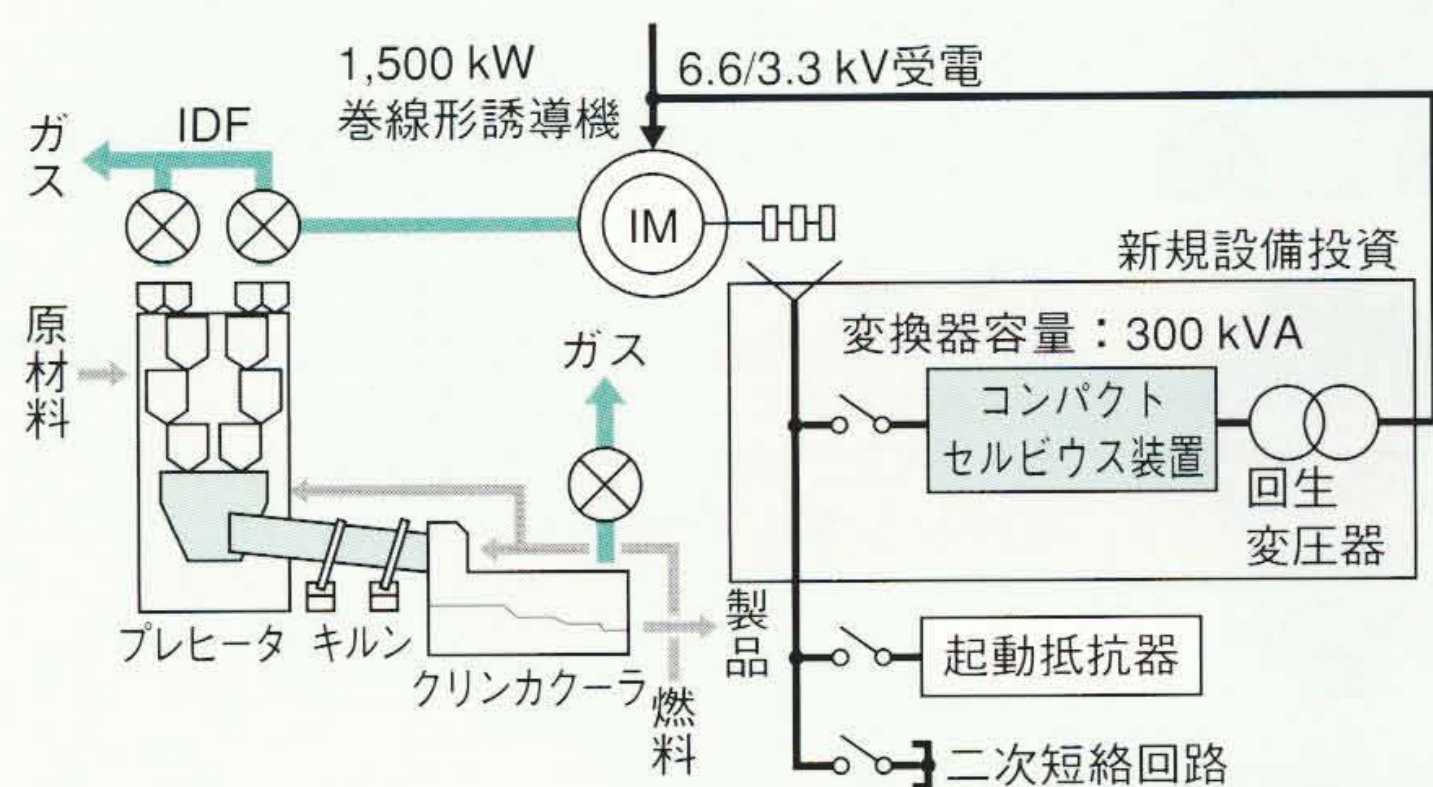
中容量クラス以上では、二次チョップの素子耐圧を確保するために、スイッチング素子を上下2直列としている。さらに、その上下の素子のスイッチング位相を180度ずらすことにより、高電圧化に伴う電流リップの増加を抑制した。同様に、回生インバータ側も、中容量クラス以上では3レベルPWM(Pulse Width Modulation)を採用し、電源高調波の抑制を図っている。

3 導入例

3.1 セメント製造設備への適用

セメント工場納めのコンパクトセルビウス装置の導入例を図3に示す。

この例では、セメントキルンのIDF(誘引ファン)の駆動用に、これまでは水抵抗器を用いてきた部分をコンパクトセルビウス装置を切り替え設置して常用とし、水抵抗器を予備用としている。コンパクトセルビウス装置では、IDFが二乗負荷であることから、回生インバータと変圧器の容量を、IDF電動機の約 $\frac{1}{6}$ (300 kVA)にできる。導入のメリットは、以下のとおりである。



注：略語説明 IDF (Induced Draft Fan；誘引通風機)
IM (Induction Motor)

図3 コンパクトセルビウス装置のセメント工場への導入例
コンパクトセルビウス装置を導入することにより、IDF速度を生産量に最適な風量に設定し、操業エネルギーの消費量を節約できる。

(1) 設備投資の低減

既設の誘導電動機を流用できるので、初期設備投資が低減できる。

(2) 省エネルギー効果

IDFの速度を設備生産量に最適な風量に設定することにより、操業時の電力エネルギー消費量を節約できる。これら省エネルギーなどによるコンパクトセルビウス装置の設備投資量の回収期間は、数年程度である。

(3) 保守費の低減

コンパクトセルビウス装置の導入によって水抵抗器は予備用とすることができるので、保守費が軽減できる。

(4) バックアップ運転

既設の起動抵抗器と二次短絡回路により、定期修理時や非常時のバックアップ運転ができる。

(5) 電気室の省スペース化

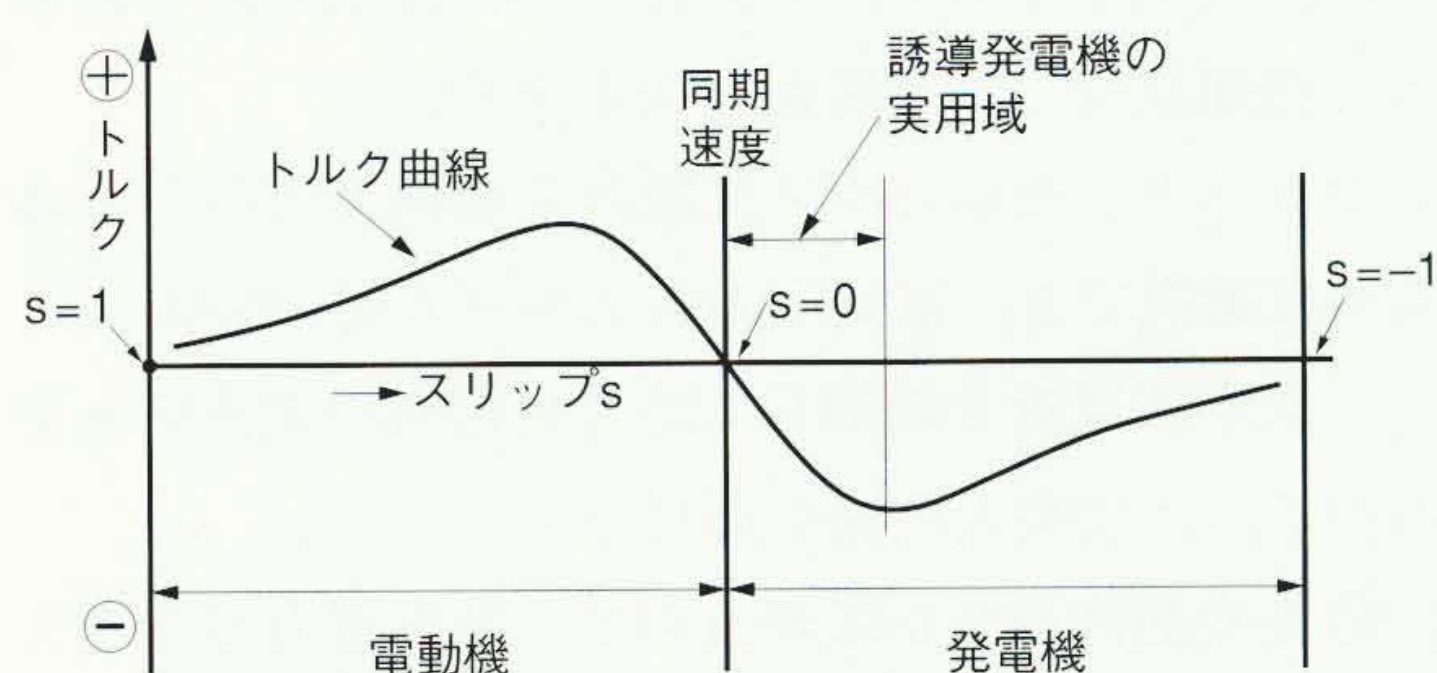
従来の主インバータ方式に比べて、コンパクトセルビウス装置の盤寸法は約70%に縮小できるので、電気室の省スペース化が可能となる。

3.2 コンパクト可変速誘導発電システム

水車などによって誘導機を同期速度以上で運転(図4参照)して発電する、誘導発電システムは、励磁装置や同期投入装置が不要であるなどのメリットがあることから、数千キロワット程度までの小水力発電に採用されている。

この事例では、コンパクトセルビウス装置を小水力誘導発電に採用し、ダム水位変動に対しても安定に運転でき、かつ高効率である誘導発電システムについて紹介する。

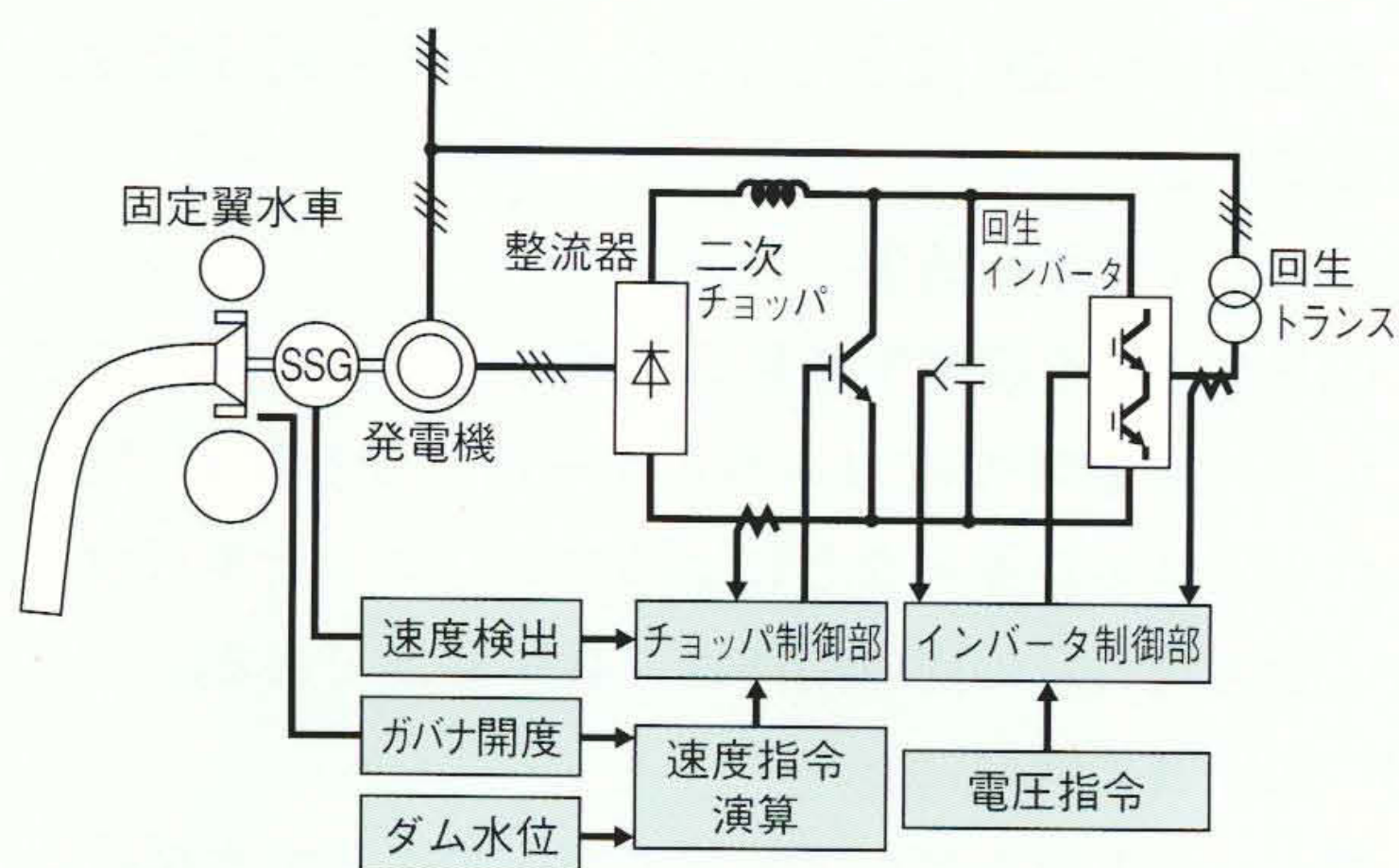
ダム水位の大きな変化に伴って有効落差が大幅に変動する水力発電所では、固定翼形フランシス水車を適用すると、設計落差域以外の落差での水車効率の低下が著しい。さらに、キャビテーション発生など水車寿命への影響が懸念されるため、可動翼水車を採用してきた。しかし、



注：略語説明 s(すべり)

図4 誘導機のトルク特性

誘導発電では、スリップ(s)がマイナスの領域、すなわち同期速度以上の領域で運転する。



注：略語説明 SSG (Speed Signal Generator)

図5 1,800 kWコンパクト可変速誘導発電システムの構成

中部電力株式会社小里川発電所の1,800 kW可変速誘導発電システムの構成を示す。コンパクトセルビウス装置は、流量やダム水位情報を取り込み、水車効率を最適にする速度で誘導発電機を運転する。

可動翼水車は構造が複雑で寸法が大きく、高価格になることや、保守面でも費用がかかるなどの課題がある。

この課題を解決するシステムが、固定翼水車にコンパクトセルビウス装置を採用した可変速誘導発電機方式である。コンパクトセルビウス装置は、誘導発電機の二次電力を回生して効率を上げ、かつ速度を最適な値とする制御を行う。

中部電力株式会社は、この可変速誘導発電システムの実用化研究を日立製作所と共同で実施し、30 kW実機とシミュレーションにより、所期の性能で運転できることを確認している。

これらの成果により、中部電力株式会社小里川発電所の1,800 kW誘導発電のコンパクトセルビウス装置への適用を図った。その可変速誘導発電システムの構成を図5に示す。

この可変速方式の採用メリットは下記の4点である。

- (1) 固定翼水車なので周辺機器や制御保護装置を簡素化でき、初期投資と保守費が抑制できる。
- (2) コンパクトセルビウス装置の主変換器容量を小容量なものに選択でき、電気室の省スペース化が図れる。
- (3) 二次巻線電流を制御して誘導発電機の電源併入を行えるので、一次突入電流を抑制できる。
- (4) 落差変動許容域が広がるので、発生電力量を増大できる。

4 おわりに

ここでは、コンパクトセルビウス装置の作動原理の概

要と仕様、およびポンプやファン、誘導発電などへの具体的な導入例について述べた。

巻線形誘導機は、主要な設備の駆動装置として、すでに数十年以上の歴史を持っている。しかし、その現有設備の稼働率向上、省エネルギー化、老朽化更新、高調波対策などのために、新たな可変速システムの導入が必要とされている。また、種々の制約条件があり、その解決を求めているユーザーは多い。日立製作所が開発したコンパクトセルビウス装置は、トータルとして少ない設備投資でこれらのニーズに十分対応でき、ユーザーに大きな成果をもたらすものとする。

参考文献

- 1) 菊池，外：コンパクトセルビウス方式交流可変速制御，第45回全国水道研究発表会論文7-10(1994.5)
- 2) T. Sukegawa: A Compact Scherbius Drive Employing a Boot Chopper and a PWM Inverter, Trans. IEE of Japan, Vol. 119-D, No. 8/9(1999)
- 3) 内田，外：誘導発電機を用いた新可変速発電システムの実用化，平成11年電気学会全国大会，No. 1818

執筆者紹介



櫻井浩二

1993年中部電力株式会社入社，工務部 所属
現在，水力発電の技術開発に従事
電気学会会員
E-mail: sakurai.kouji@chuden.co.jp



大尾典雄

1973年日立製作所入社，電力・電機グループ 情報制御システム事業部 ドライブシステム センタ 所属
現在，電動応用システムの企画取りまとめに従事
電気学会会員
E-mail: n-daio@omika.hitachi.co.jp



松本邦次

1962年日立製作所入社，電力・電機グループ 社会システム事業部 所属
現在，上下水道電気設備のシステム取りまとめとエンジニアリングに従事
電気学会会員
E-mail: kunitsugu-matsumoto@pis.hitachi.co.jp



千葉 浩

1971年日立製作所入社，電力・電機グループ 情報制御システム事業部 ドライブシステム センタ 所属
現在，電動応用システムの企画・設計に従事
E-mail: k-chiba@omika.hitachi.co.jp



根本治郎

1992年日立製作所入社，電力・電機グループ 情報制御システム事業部 ドライブシステム センタ 所属
現在，電動応用システムの開発・設計に従事
E-mail: h-nemoto@omika.hitachi.co.jp