

大容量・高応答交流可変速ドライブシステム

Large Capacity High Response AC Adjustable Speed Drive Systems

交流可変速ドライブの鉄鋼プラントへの適用はすでに定着しており、圧延機主機ドライブでは熱間可逆圧延機から冷間タンデム圧延機まで、およそ圧延機全分野を網羅している¹⁾²⁾。交流化による長所は顕著に認められてきており、構造的には完全ブラシレス化と単機容量増大、性能的には高応答化と界磁制御範囲拡大があげられる。用途によって要求される性能は異なり、冷間タンデム圧延機では連続化、板厚精度向上のため、特に過渡時も含めた速度制御の高精度・高応答が要求される。

それらのニーズを踏まえ、日立製作所は今回冷間タンデム圧延機主機用に高性能形全デジタル72アーム循環電流方式サイクロコンバータドライブシステムを製品化した。従来の交流可変速ドライブシステムの技術^{1)~5)}に加え、32ビットマイクロプロセッサを採用し、製品出荷前の工場内組合せ試験で目標の電流応答、速度応答を達成した。

谷口政隆* *Masataka Taniguchi*
服部正志* *Masashi Hattori*
守永大策** *Daisaku Morinaga*
平野泰弘** *Yasuhiro Hirano*
今川浩一*** *Kōichi Imagawa*
高橋潤一*** *Jun'ichi Takahashi*

1 緒言

交流可変速ドライブシステムは、パワーエレクトロニクス、マイクロエレクトロニクスの進歩・発展により、その性能が飛躍的に向上してきた³⁾。特にマイクロプロセッサの高速化、高機能化の進歩は著しく、圧延機主機ドライブの分野では圧延プロセスの安定性、圧延製品の高品質化と歩留りの向上に大きく貢献してきている。圧延機主機の中でも特に高精度・高応答を要求される冷間タンデム圧延機駆動用として、高性能形全デジタル72アーム循環電流方式サイクロコンバータドライブシステムを製品化した。最新の32ビット高性能プロセッサを採用した制御装置をはじめ、定圧形沸騰冷却方式を採用した電力変換装置、低リアクタンス化を図り、真空一体加圧含浸方式を採用した電動機に至るまで、随所に新技術を折り込んでいる。

本稿では、高性能形サイクロコンバータドライブシステムの概要および特徴について述べる。

2 圧延機主機用サイクロコンバータシステム要求性能比較

圧延機主機ドライブに適用される交流可変速ドライブシステムは、主にサイクロコンバータ方式である。圧延機の種類によってその要求される性能仕様は異なり、それらに応じたドライブシステムの方式が選択される。各種適用比較とこれ

までの日立製作所の納入適用実績を表1に示す。このたび製品化した冷間タンデム圧延機主機ドライブシステムは、72アーム循環電流方式であるが、連続化、板厚精度向上のため電流応答・速度応答の向上をはじめ、特に高性能化が要求される。従来の直流ドライブシステムと、このたび製品化した高性能形サイクロコンバータ方式ドライブシステムの性能比較を表2に示す。

3 高性能化技術

冷間タンデム圧延機適用に際し、従来技術に加えて要求された新たな技術課題があった。その主なものは、(1)低トルクリプルの実現、(2)定常および過渡時の揃(せん)速性向上、(3)故障時の板破断回避などである。上記(1)および(2)については電流応答、速度応答の向上(従来比1.5倍)によって実現し、(3)については2相制動技術によって対応した。

3.1 高応答化

冷間タンデム圧延機適用を考慮した場合、特に過渡時の揃速性向上と低トルクリプル化を図る必要がある。これらを実現するためには、速度および電流制御系の高応答化、サイクロコンバータ出力電圧および電流の波形改善(正弦波化)をする必要があり、このため制御演算の高速処理化を行った。制御演算には、速度および電流制御ループはもとより、負荷ト

* 新日本製鐵株式会社 設備技術本部 電気技術室 ** 日立製作所 日立工場 *** 日立製作所 大みか工場

表1 サイクロコンバータドライブシステム適用比較および実績 用途によって要求される性能仕様が異なり、それらに応じたドライブシステムの方式が選択される。

用途		熱間粗圧延機	熱間タンデム圧延機	冷間シングル圧延機	冷間タンデム圧延機
性能	高精度	△	○	○	◎
	高応答	△	◎	○	◎
	低トルクリプル	△	○	◎	◎
	定出力制御範囲	△	○	◎	◎
仕様	最高出力周波数 (低速・中速・高速)	○/—/—	—/—/○	—/○/○	—/—/○
	出力容量 (中容量・大容量)	○/○	—/○	○/○	—/○
方式		36 アーム・72 アーム 無循環	72 アーム循環	36 アーム・72 アーム 循環	72 アーム循環
実施例		●熱間圧延 サイジングプレス ●H形鋼 粗・中間 ●ピレットミル	●熱間圧延仕上 タンデム	●可逆圧延機 ●センジミアー	●冷間

注：◎ 必要性大，○ 必要性中，△ 必要性小

表2 主機ドライブシステムの性能比較 冷間タンデム圧延機主機駆動には、特に高性能形のサイクロコンバータシステムが必要とされる。

No.	性能項目	直流ドライブシステム	高性能形サイクロコンバータ
1	速度制御	応答 ω_c (rad/s)	10~20
2		精度(%)	±0.05
3		可変速範囲(%)	1~100
4		速度センサ	パルスゼネレータ (2,400 p/rev)
5	定出力速度範囲	1 : 3	1 : 6
6	トルク制御	応答 ω_c (rad/s)	100
7		直線性(%)	±2.5
8		リップル	ほぼ0
9	省電力 (5,000 kW クラス)	主回路効率(%)	90.0
10		力率	0.7

ルクオブザーバによる軸振動抑制制御，励磁電流 I_d とトルク電流 I_q の非干渉化制御，循環電流と負荷電流の非干渉化制御などがある。これら複雑な制御演算のサンプリング時間を従来比約 $\frac{1}{2}$ に短縮するため，32ビットマイクロプロセッサを採用した。このたび製品化した高性能新制御システムを適用した加減速運転特性を図1に示す。速度指令の加減速時間は実運転を模擬したものであり，速度応答は電動機単独運転で遮断角周波数 $\omega_c \cong 60$ rad/sに設定している。高応答のため，指令と速度フィードバックの偏差 $\Delta\omega_r$ が±0.02%以下と非常に小さく

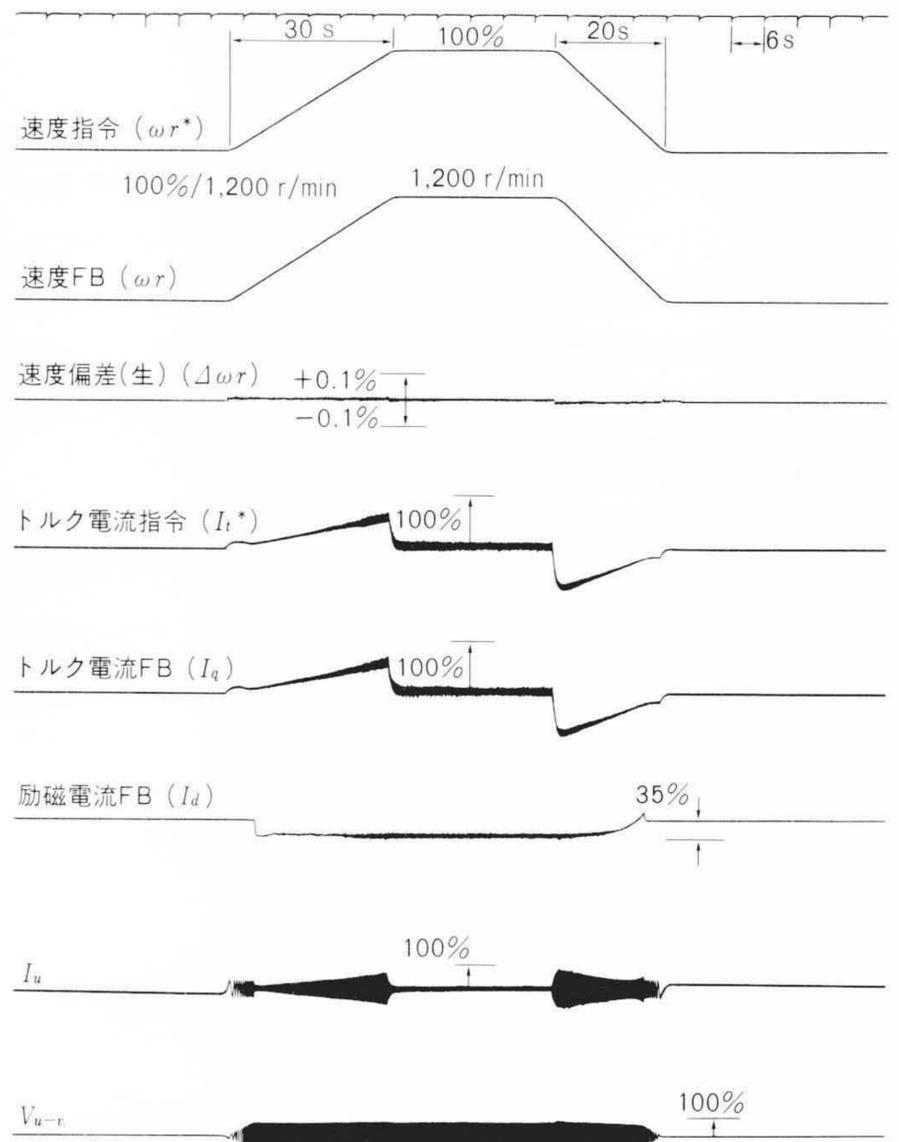


図1 加減速運転特性 速度偏差が±0.02%以下と非常に小さくなっている。

なっている。速度インディシャル応答を図2に示す。速度応答時間はピーク値までの到達時間で45 msであり，遮断角周波数 $\omega_c \cong 70$ rad/sを実現している。

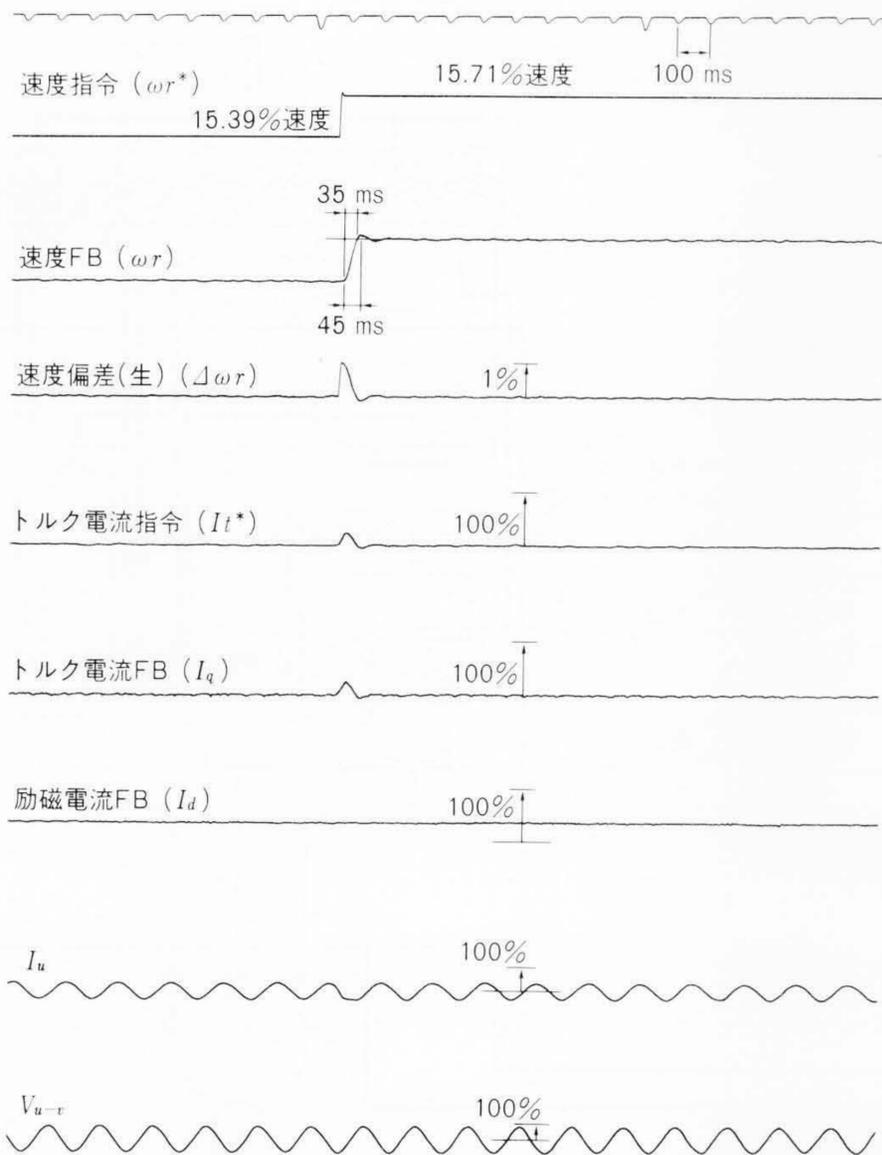


図2 速度インディシャル応答 ピーク値までの到達時間は45 msであり、遮断角周波数 $\omega_c \cong 70$ rad/sを実現している。

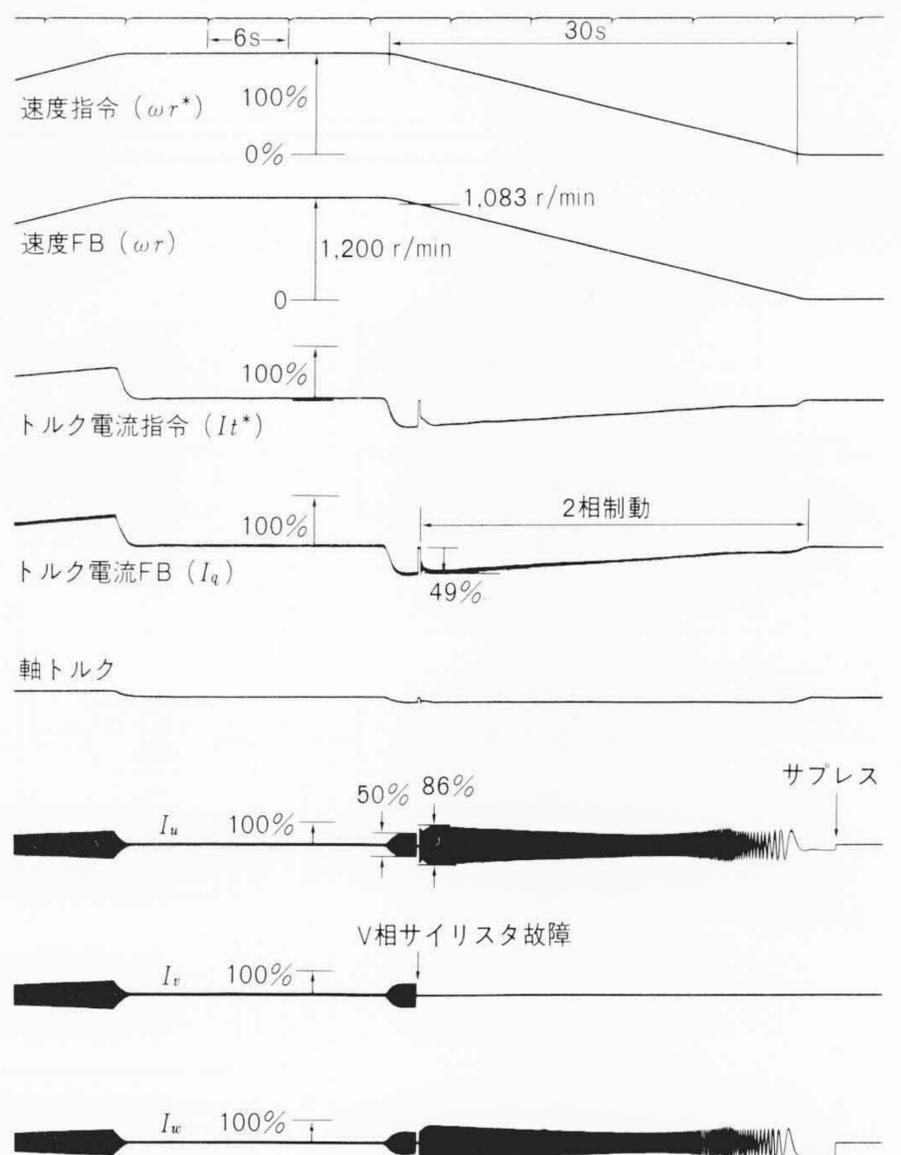


図3 減速途中で2相制動を行った例 2相運転時も、3相時と同一のトルクが発生しており、指令に追従したスムーズな減速運転となっている。

3.2 2相制動運転

誘導電動機の可変速駆動装置は、直流機のレオナード装置のようなDBR(Dynamic Brake Resistor)制動機能がないため、電力変換器に故障が発生した場合には自然減速またはブレーキなど機械的制動による減速となる。このため、圧延設備ラインでは故障発生時ライン全体に揃速性を持たせて減速させることができなかつた。2相制動運転機能では、電力変換器の1相に故障が発生した場合、健全な残りの2相を使用して運転を継続し、減速停止させることができる。サイクロコンバータ方式の場合、電力変換器回路が各相別々に構成されており、変換器の1相に故障が発生しても、健全な2相の変換器を使用して交流電流を流すことができる。

2相制動運転の場合、電動機中性点と変換器中性点を接続し、2相変換器と中性点回路によって2相交流電流を通流させることによって3相通流時に発生する磁束と同一の磁束が発生し、ベクトル制御による運転継続が可能となる。

2相制動運転を行った例を図3に示す。同図は、減速途中で電力変換器V相に故障が発生した場合を模擬したもので、健全なU相、W相を使用して減速運転を継続させている。2相運転時は、3相運転時(正常時)の $\sqrt{3}$ 倍の電流を流すことによって3相時と同一のトルクが発生しており、指令に追従した

スムーズな減速運転となっていることがわかる。

3.3 力率改善制御

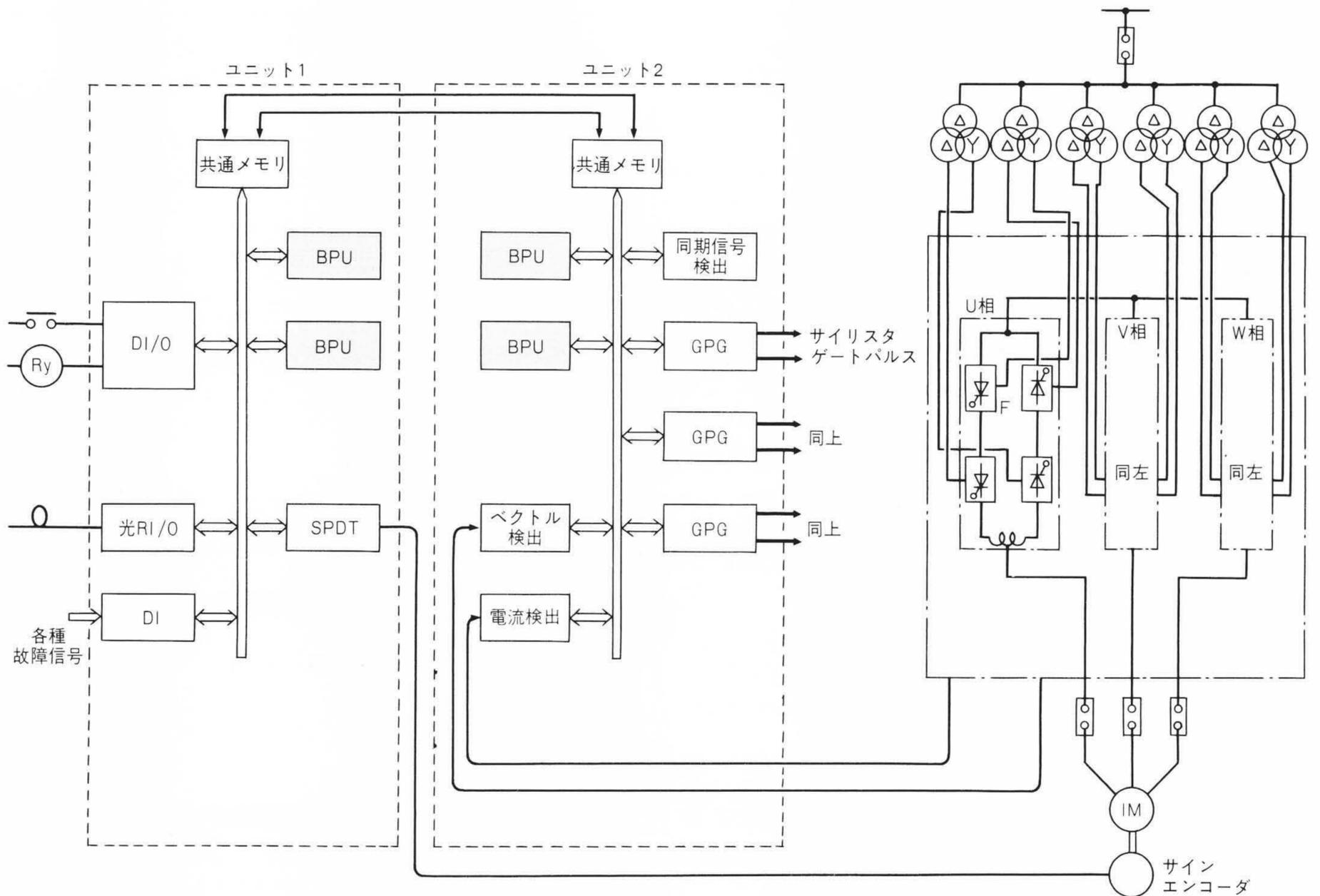
サイクロコンバータは出力電圧が交流電圧のため、サイリスタの移相制御角が180度から0度まで変化するため、直流出力のサイリスタ変換器に比べて力率が悪い。さらに循環電流制御方式では、循環電流分および直流リアクトルの電圧降下により、電圧利用率(サイクロコンバータの入力電圧に対する負荷電圧の比)が低下するために、さらに力率が低下する。

このたび製品化した循環電流制御方式では、循環電流と負荷電流の非干渉制御を適用し、循環電流の最小化を図っている。また、直流リアクトルの電圧降下を補正する制御方式として、過負荷時に負荷電流の変化率と逆符号の変化率を持つ循環電流を流すように制御することによって、直流リアクトル内部の磁束変化を減少させ、電圧降下を低減することによって電圧利用率を高め、力率の改善を図っている。

4 冷間タンDEM圧延機駆動サイクロコンバータシステム

新日本製鐵株式会社納め冷間タンDEM圧延機駆動サイクロコンバータシステムが完成したので、以下に概要を述べる。

今回使用したサイクロコンバータのシステム構成を図4に



注：略語説明 BPU (Basic Processing Unit), SPDT (Speed Detector), RI/O (Remote Input Output), GPG (Gate Pulse Generator)
DI/O (Digital Input Output)

図4 循環電流方式サイクロコンバータの新制御システム構成図

32ビットマイクロプロセッサによるマルチプロセッサ構成によって、高速演算処理を実現している。

示す。

4.1 電動機

このシステムに適用した電動機は、圧延機駆動用として不可欠である頻繁な負荷変動、衝撃トルクを十分考慮した構造とし、冷間タンデム圧延機駆動用として要求される広い界磁制御範囲(1対6)のため、低リアクタンス化および省エネルギーのための高効率化が図られている。以下にその特徴について述べる。

(1) 低リアクタンス化

界磁制御範囲が広い場合、漏れリアクタンスによる電動機の内部電圧降下が大きくなり、システムの力率が悪化、サイクロコンバータの容量増大となるため、電動機の低リアクタンス化が必要となる。このため、本機では固定子不割構造とし、一体注入方式を採用することによって固定子スロットサイズの低減、およびコイルエンド長の低減を図った。さらに、回転子スロット形状を最適化することによって漏れリアクタンスの低減を図り、低リアクタンス化を実現した。固定子の

外観を図5に示す。ただし、固定子不割構造の場合、据付け場所以外で固定子と回転子を組み合わせる状態では一体つりする必要があり、クレーン容量の増大、建屋スペースの増大となる。この電動機では、軸受台下部に中間ベースを設けることにより、据付け場所で分解・組立が可能な構造として、この問題を解消している。

(2) 高効率化

電動機発生損失のシステム全損失に占める割合は大きく、電動機の効率向上は省エネルギーに大きく寄与する。この電動機は、高効率化のためシュリンクリングはめあい構造を採用し、特殊銅合金製エンドリングの採用を避けた。さらに、通風経路の最適化によって風損を低減し、電動機の効率向上を図った。

また、冷却設備の簡素化による動力低減はシステムの高効率に寄与する。この電動機は耐環境性に優れており、特に内冷循環通風方式とする必要がないため、アップドラフト方式を採用し、冷却設備の簡素化を図った。また、冷却ファン容

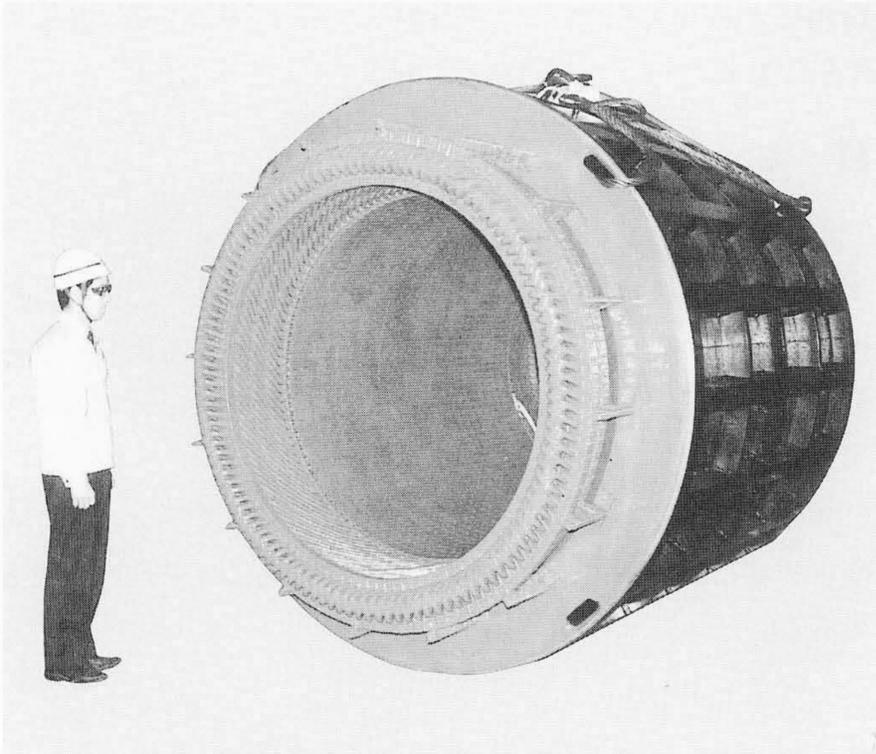


図5 固定子の外観 一体注入方式を採用している。

量の低減により、システムの高効率化を図っている。

4.2 サイクロコンバータ

サイクロコンバータの大容量化に伴い、熱処理能力が大きい沸騰冷却方式を製品化し、4,000 V・1,500 Aサイリスタ素

子1S1P72Aで、9,080 kVAの出力容量を実現した(強制風冷対比30%の容量アップ)。

沸騰冷却装置の構成を図6に示す。特長として熱負荷によって気化した蒸気分だけ液だめの容積を可変し、熱負荷によらず凝縮器内の圧力を大気圧で動作させる方式を採用することによって、信頼性向上を図っている。

また図6に示すように、発熱部と冷却部が分離していることに着目し、この間に絶縁継手を使用し、大地電位である冷却部だけに冷却風を通す方式とした。この方式により、充電部へのじんあいの影響を低減し、強制風冷方式で必須(す)であった空調電気室設置をやめ、一般電気室に設置することによって空調に必要な電力費の節約を図っている。

定圧形沸騰冷却式サイクロコンバータの外観を図7に示す。弱電回路を中央部に収納し、主回路高压部と分離して配置することにより、耐ノイズ性強化を図っている。

4.3 制御装置

高応答化、制御装置の小形化をねらいとして、新マイクロプロセッサを採用した制御装置を開発した。

高応答化を実現するためには、速度および電流制御ループ、オブザーバ制御、非干渉化制御、2相制動機能などの複雑な制御を高速処理する必要があり、このたび32ビットマイクロプロセッサを採用した新BPU(Basic Processing Unit)を開発

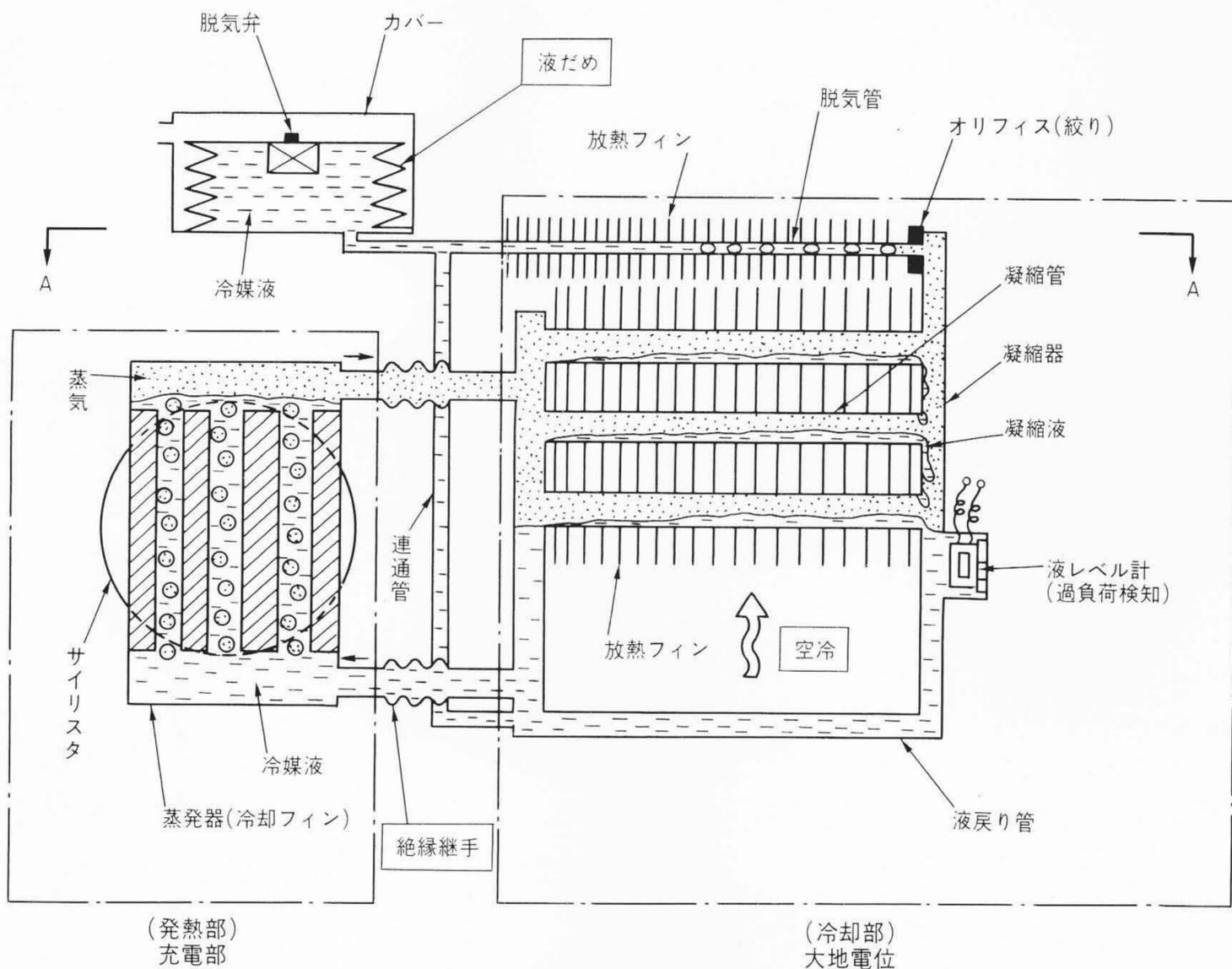


図6 定圧形沸騰冷却装置 この装置は蒸発器、凝縮器および液だめで構成している。

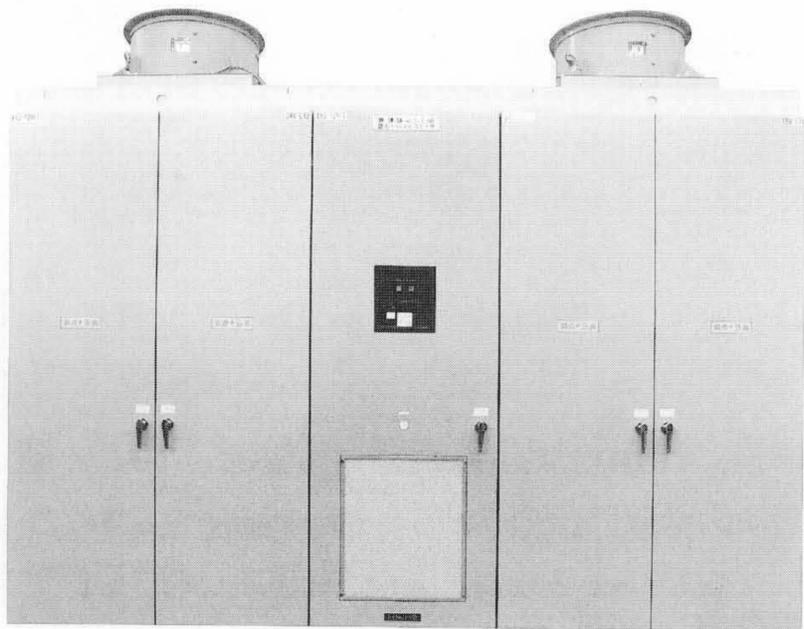


図7 サイクロコンバータの外観 定圧形沸騰冷却式サイクロコンバータの外観を示す。中央は弱電部品を収納し、強電から分離している。

した。新BPUによるサイクロコンバータ制御システム構成を先の図4に示す。32ビットマイクロプロセッサ4台のマルチプロセッサ構成により、サンプリング時間を従来比約 $\frac{1}{2}$ に短縮した。

また、72アーム分のゲートパルス発生回路に高機能制御プロセッサを採用することによって、同回路基板数を低減し、

新BPUの採用と相まって、制御ユニットの体積を従来比 $\frac{1}{2}$ に小形化した。

5 結 言

以上、冷間タンデム圧延機適用高性能形サイクロコンバータドライブシステムについて新技術を中心に述べた。特に高性能化技術によって高応答、低トルクリプルを実現し、最終製品である冷間コイルの品質向上に大きく寄与できるものと考えられる。

今後とも需要の多様化に対し、最適なドライブシステムを提供するため、新技術、新システムの開発にまい進する考えである。

参考文献

- 1) 神山, 外: 圧延主機用交流可変速ドライブ, 日立評論, 67, 4, 321~324(昭60-4)
- 2) 佐藤, 外: 圧延機用ACドライブシステム, 日立評論, 68, 8, 619~624(昭61-8)
- 3) 斎藤, 外: ACドライブシステムの現状と展望, 日立評論, 68, 8, 609~612(昭61-8)
- 4) 木谷, 外: 鉄鋼プラントにおけるACドライブシステム, 日立評論, 70, 6, 659~664(昭63-6)
- 5) 神山, 外: 電動機駆動用パワーエレクトロニクスの応用, 日立評論, 70, 10, 1049~1054(昭63-10)