

ダイバータレス大形直流電動機

Diverterless Large DC Motors

可変速範囲の広い圧延機駆動用大形直流電動機は、ブラシから火花を発生しない領域である無火花帯の位置が、回転速度の増加によって移動する無火花帯移動現象があるため、従来、外部補償装置を設けて補償していた。今回、直流電動機の磁気回路をくふうすることにより、無火花帯移動現象を直流電動機自体で補償できる外部補償装置不要のダイバータレス大形直流電動機を開発した。その構成は、主極と補極間の補極鉄心先端側に磁性体から成る磁気ブリッジを設けるもので、きわめて単純な構成である。470 kW機および1,200 kW機に適用して検証した結果、計算どおり無火花帯移動現象を補償できることを明らかにした。

小原木春雄* Haruo Koharagi

田原和雄** Kazuo Tahara

江藤哲生*** Tetsuo Etō

1 緒 言

圧延機用を主体とした大形直流電動機は、年々、単機大容量化、高速化、小形・軽量化が図られ、また制御技術の進歩によって電氣的、機械的限界まで使用されるようになった。この結果、整流的には厳しい運転条件となり、全運転領域でブラシから火花を発生しない無火花整流を達成することが困難となってきている。直流電動機のよりいっそうの高性能・高信頼性を図るには、整流性能の向上が必須(す)条件となる。このため、すでに本誌にも述べたが、設計段階で整流性能を定量的に評価できる整流計算方法、個々の整流コイルの整流性能を等しくできるリアクタンス電圧均一化電機子、および摩耗の少ない低抵抗ブラシを開発し、整流性能の向上を図ってきた^{1),2)}。一方、可変速範囲の広い大形直流電動機には、固有の問題として低速運転時と高速運転時の無火花帯の位置が異なる「無火花帯移動現象」を生じることが知られている^{3),4)}。その発生原因については、実験および理論解析上から検討されてきたが、結果的には従来外部補償装置を付加して対処している^{5),6)}。

本稿では直流電動機システムの省スペース、省メンテナンスおよび低コスト化を目的に、外部補償装置を省略するため直流電動機自体で無火花帯移動現象を補償できる新補極構造を考案した。また、計算および実機を通してその動作原理を明らかにし良好な結果を得たので、以下にその概要とともに述べる⁷⁾。

2 無火花帯移動現象とその補償方式

2.1 概 要

大形直流電動機では、**図1(a)**に示すように低速運転時の無火花帯の位置に対し、高速運転時の無火花帯の位置があたかも補極が強くなるように下側(減励磁側)へ移動する現象が発生する。これを無火花帯移動現象と称している。何ら補償を行わない場合、低速運転時には負荷電流の横軸上に無火花帯が存在するので、ブラシから火花を発生しない。しかし、高速運転時では、負荷電流の横軸上から無火花帯が外れる同図(a)のA点以上の負荷電流では、ブラシから火花を発生する。ブラシからの火花の発生は、ブラシ摩耗を増加してメンテナンスの時期を早めるとともに、ブラシ周りの整流トラブルが発生しやすくなるなどの問題を生じる。なお、無火花帯を回転速度を横軸にとって表すと、同図(b)のようになる。

無火花帯移動現象の補償方法については、種々提案され、最近実用された方式を代表例として**図2**に示す。従来の直流電動機は同図(a)に示すように、補極の根元に補極巻線とは差動に作用する補助補極巻線を設け、これに外部補償装置から電流を供給する構成である。外部補償装置は、無火花帯の中心線に沿って補助補極巻線電流 I_p を供給し、無火花整流を達成する。これに対し、外部補償装置を不要化した直流電動機を便宜上「ダイバータレス直流電動機」と呼称する。

ダイバータレス直流電動機は、同図(b)に示すように、主極と補極間の補極鉄心先端側に磁性体から成る磁気ブリッジを設けるもので、きわめて単純な構成である。磁気ブリッジは界磁巻線と補極巻線の起磁力差を利用し、主極と補極間の漏

* 日立製作所 日立研究所 ** 日立製作所 日立研究所 工学博士 *** 日立製作所 日立工場

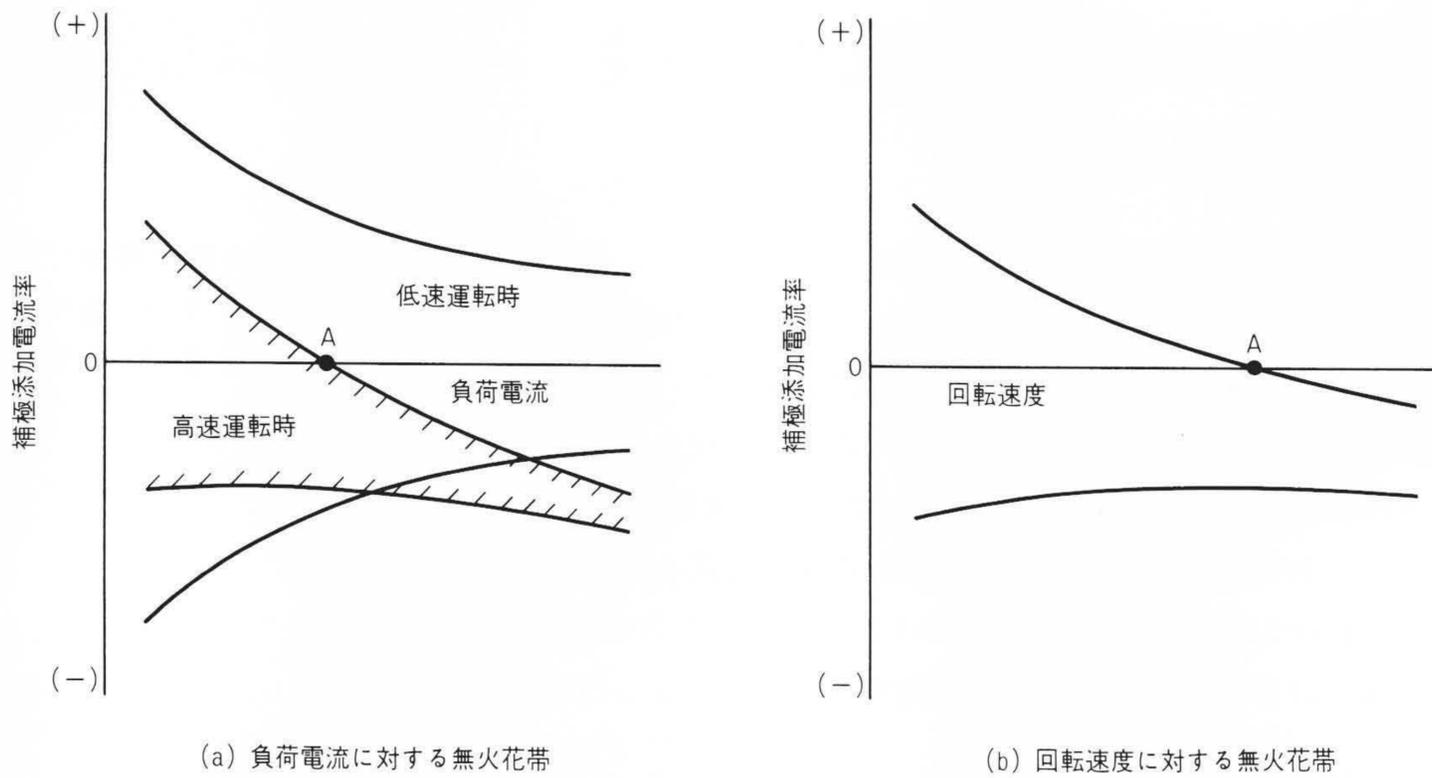


図1 無火花帯移動現象 回転速度に対して、無火花帯の位置が移動する無火花帯移動現象の説明図を示す。

項目	(a) 従来の直流電動機	(b) ダイバータレス直流電動機
構成	<p>補助補極巻線 外部補償装置 主極 補極</p>	<p>磁気ブリッジ 主極 補極</p>
無火花帯	<p>注: I_P (補助補極巻線電流) 補助補極巻線電流 回転速度 $(+)I_P$ 0 $(-)I_P$</p>	<p>補助補極巻線電流 回転速度 $(+)I_P$ 0 $(-)I_P$</p>

図2 無火花帯移動現象とその補償方式 外部補償装置を用いた従来の直流電動機と、磁気ブリッジにより外部補償装置を省略できるダイバータレス直流電動機の構成比較を示す。

れ磁束を変化させて補極ギャップ磁束を調整し、無火花帯を回転速度の横軸上に存在させるように作用する。したがって、ダイバータレス直流電動機は、従来方式に対し補助補極巻線や外部補償装置を省けることから、省スペース、省メンテナンスによる高信頼性および低コスト化を達成することができる。

2.2 ダイバータレス直流電動機の原理

無火花帯移動現象を補償するには、回転速度の増加に応じて補極磁束を減少させればよい。そこで、大形直流電動機では低速運転から高速運転までの速度変化を、界磁巻線起磁力の大きさを調整することに着目し、磁気ブリッジを設けた新補極構造を考案した。新補極構造から成るダイバータレス直流電動機の原理を図3に示す。ここで、同極の主極と補極間に設けた磁気ブリッジを磁気ブリッジI、異極間に設けた磁気ブリッジを磁気ブリッジIIとする。

その原理は図3中に示すように、全界磁の低速運転時には界磁巻線起磁力 AT_f を補極巻線起磁力 AT_i よりも大きく設定する。これにより、鎖線で示す界磁鉄心中を通る主磁束の一部が磁気ブリッジI側を通過して補極磁束となり、補極ギャップ磁束 ϕ_B が増加する。弱め界磁の高速運転時には、起磁力 AT_f を起磁力 AT_i よりも小さく設定する。これにより、鎖線で示す補極鉄心中を通る補極磁束の一部が、磁気ブリッジI側

を通過して主磁束となり、補極ギャップ磁束 ϕ_T が減少する。すなわち、ダイバータレス直流電動機は、界磁巻線起磁力と補極巻線起磁力の大小の関係を利用して、磁気ブリッジI側を通る漏れ磁束の方向と大きさを変化させることにより、補極ギャップ磁束の大きさを調整して無火花帯移動現象を補償するものである。

磁気ブリッジを通る漏れ磁束の調整は、磁気ブリッジの厚みや磁気ブリッジと界磁鉄心間のギャップ長を変化して行う。最適な漏れ磁束を得る磁気ブリッジの設計定数は、磁路仮定法による磁界計算では高精度の漏れ磁束算出が難しいことから、二次元の有限要素法による磁界解析を行って決定した。

2,000 kW機および470 kW機の磁束分布の計算結果を図4に示す。磁気ブリッジI側を通過する漏れ磁束の方向は、同図(1)の2,000 kW機および(2)の470 kW機とも、同図(a)の低速運転時(全界磁)の場合は主極から補極へ、同図(b)の高速運転時(弱め界磁)の場合は補極から主極へとなっていることがわかる。

以上述べたダイバータレス直流電動機の原理、および動作を磁界解析で明らかにしたので、実機に適用して検証した。

3 実機確認結果

ダイバータレス直流電動機は、すでに多数台に適用している。ここでは、表1に示す仕様の470 kWおよび1,200 kW直流

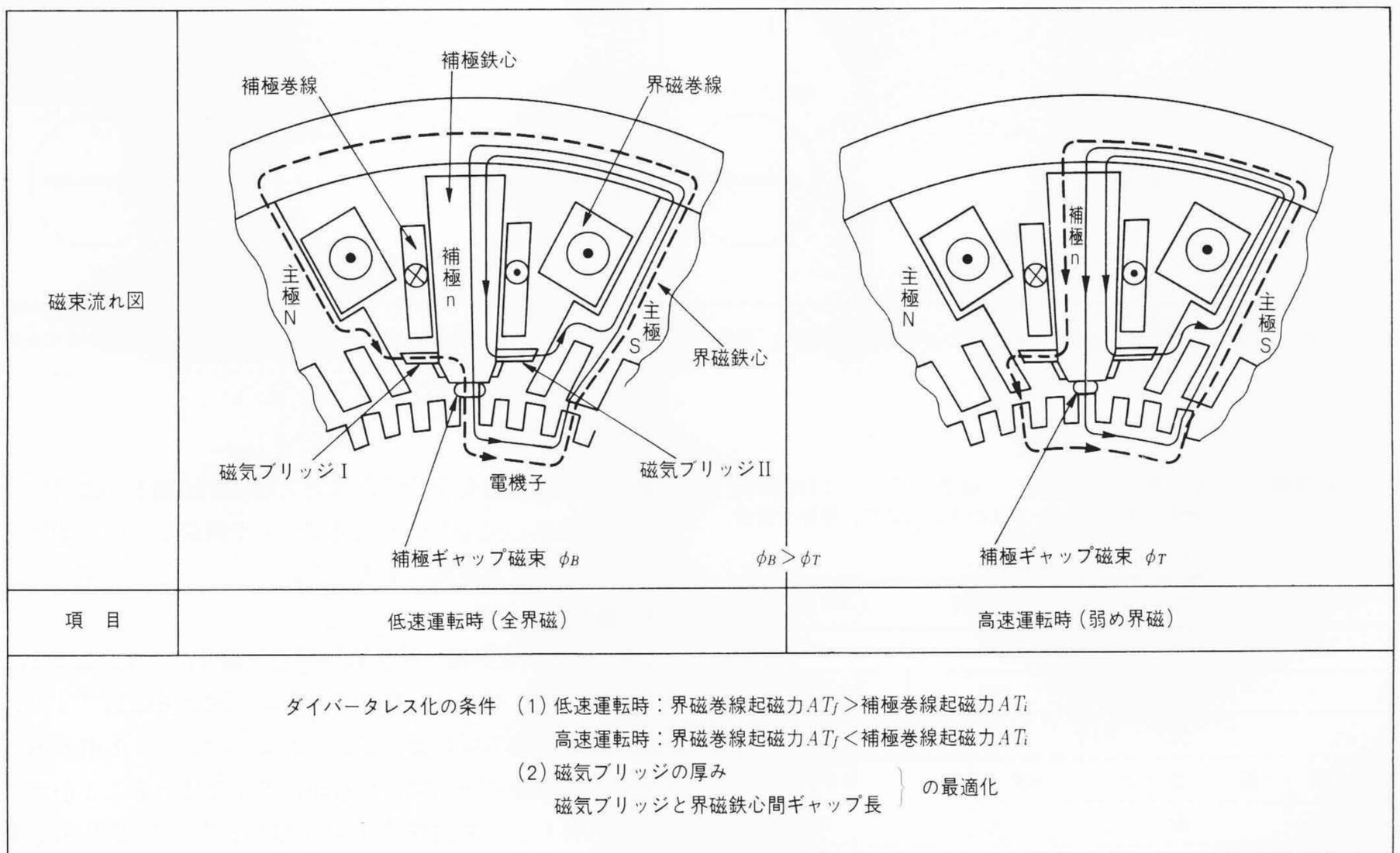


図3 ダイバータレス直流電動機の原理 低速運転時と高速運転時での磁気ブリッジI, IIを通る漏れ磁束の流れ方向を利用した、ダイバータレス直流電動機の原理説明図を示す。

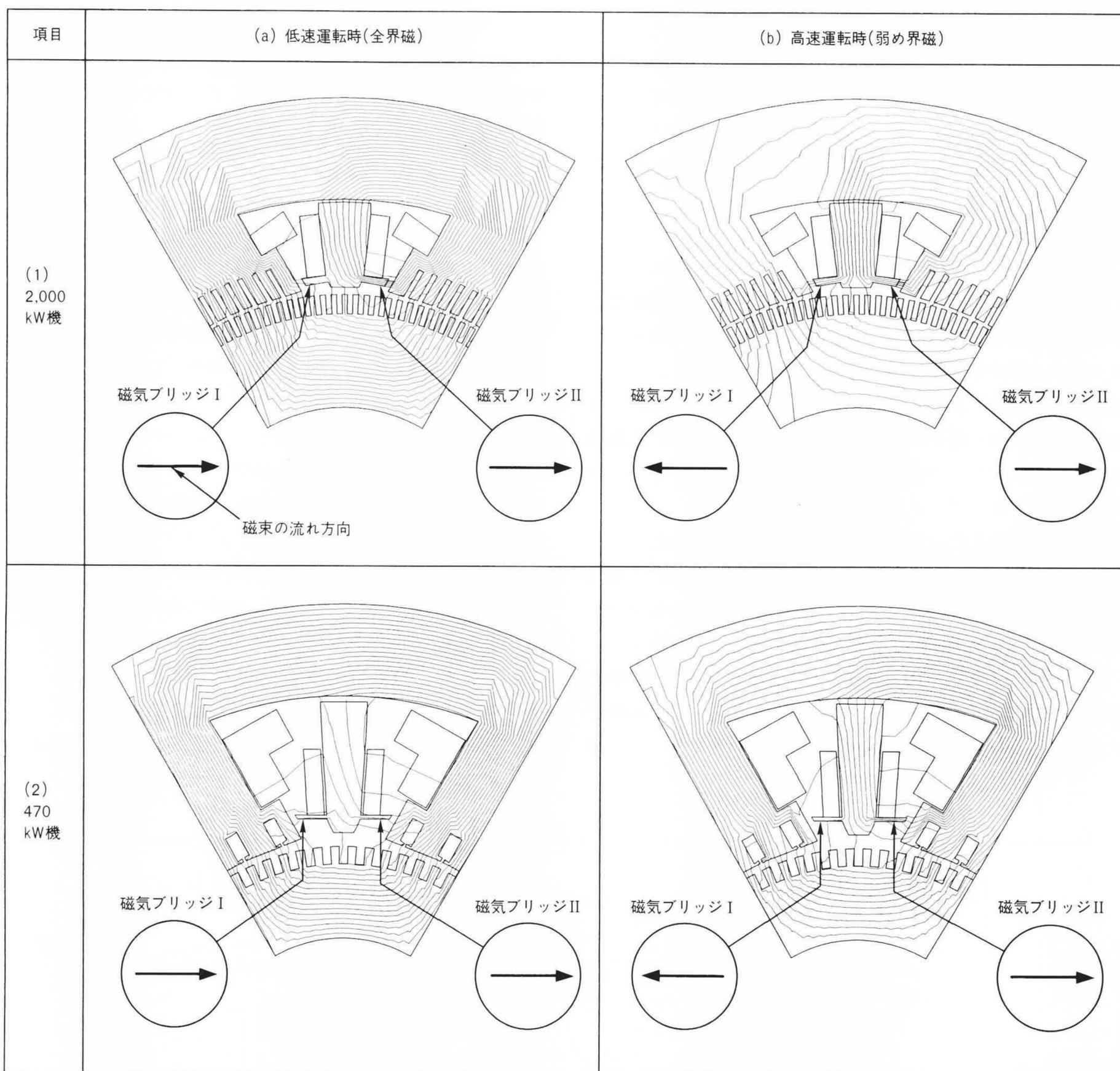


図4 ダイバータレス直流電動機の磁束分布(100%負荷時) 磁気ブリッジを設けた2,000 kW機および470 kW機の磁界解析による磁束分布を示す。

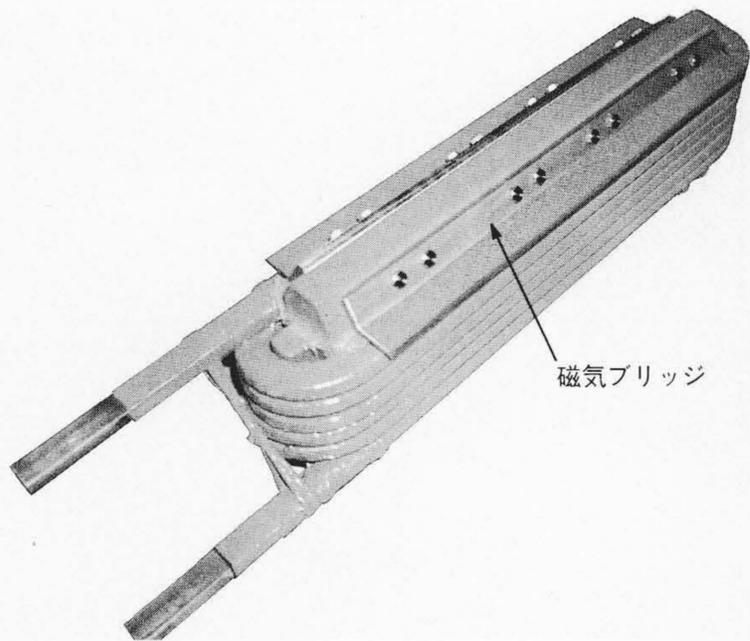
表1 対象機的主要仕様と設計定数 磁気ブリッジは470 kW機が厚み6 mm, 1,200 kW機が厚み9 mmと比較的薄いもので、軟鉄で構成した。

項目		470 kW機	1,200 kW機
出力 (kW)		470	1,200
電圧 (V)		440	1,200
電流 (A)		1,200	1,140
回転速度 (r/min)		400/1,525	210/860
極数		6	6
磁気ブリッジの厚み (mm)		6	9
磁気ブリッジギャップ長 (mm)		11	10

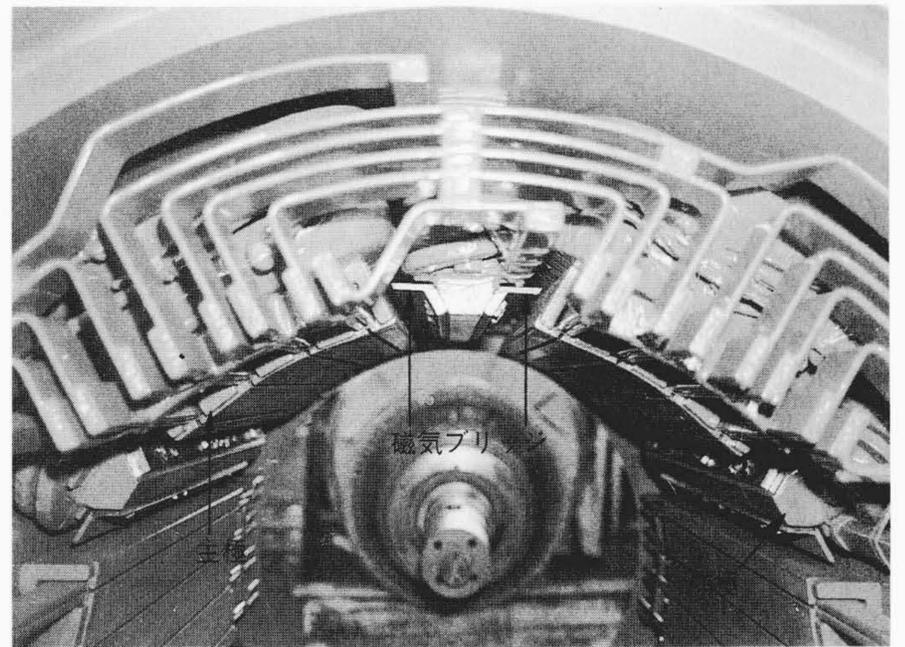
電動機への適用結果を示す。磁気ブリッジは図5(a)に示すように、補極鉄心先端部に数箇所ボルトで固定し、同図(b)に示すように主極と補極間に配置した。

3.1 補極飽和特性

470 kW直流電動機の補極飽和特性を図6に示す。ここで、実線は実測値、鎖線は計算値である。同図から磁気ブリッジのない原設計機の場合は、実測値および計算値とも全界磁と弱め界磁の補極ギャップ磁束量がほぼ同じであることがわかる。これに対し、磁気ブリッジを設けたダイバータレス直流電動機の場合には、実測値および計算値とも全界磁よりも弱め界磁での補極ギャップ磁束量が負荷電流の増加に比例して



(a) 補極



(b) 固定子

図5 470 kWダイバータレス直流電動機の磁気ブリッジの取付状況の固定子組込状況を示す。

補極鉄心先端への磁気ブリッジの取付状況，磁気ブリッジを設けた補極

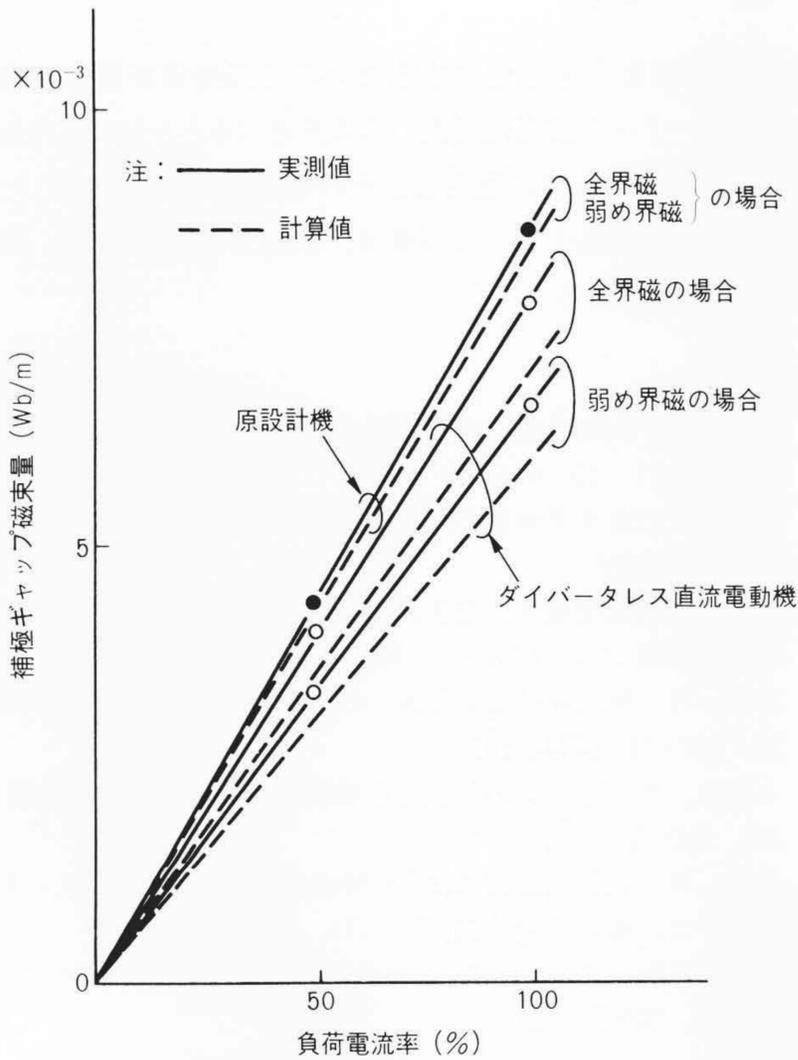
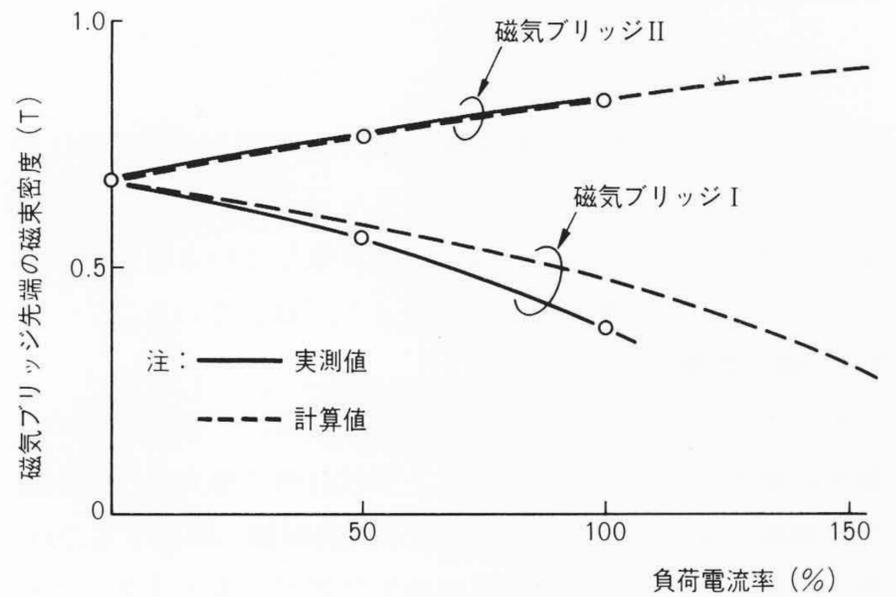
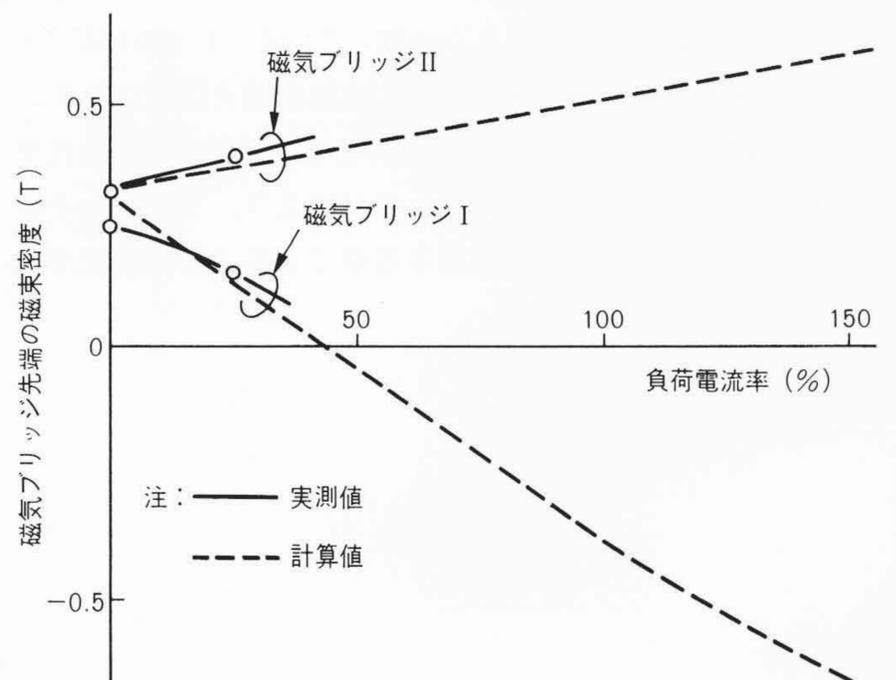


図6 470 kW直流電動機の補極飽和特性 磁気ブリッジのない原設計機と磁気ブリッジを設けたダイバータレス直流電動機の補極磁束量の実測値と計算値を比較して示す。

小さくなる。磁気ブリッジを通過する漏れ磁束による磁気ブリッジ先端の磁束密度を図7に示す。ここで、磁束密度は主極Nから補極nおよび補極nから主極Sへ通過する漏れ磁束を正として示している。同図(a)の全界磁の場合は、磁気ブリッジI、IIの先端の磁束密度がともに正である。これに対し、同



(a) 全界磁の場合



(b) 弱め界磁の場合

図7 470 kWダイバータレス直流電動機の磁気ブリッジ先端の磁束密度 全界磁と弱め界磁の場合での負荷電流に対する磁気ブリッジ先端の磁束密度の変化を示す。

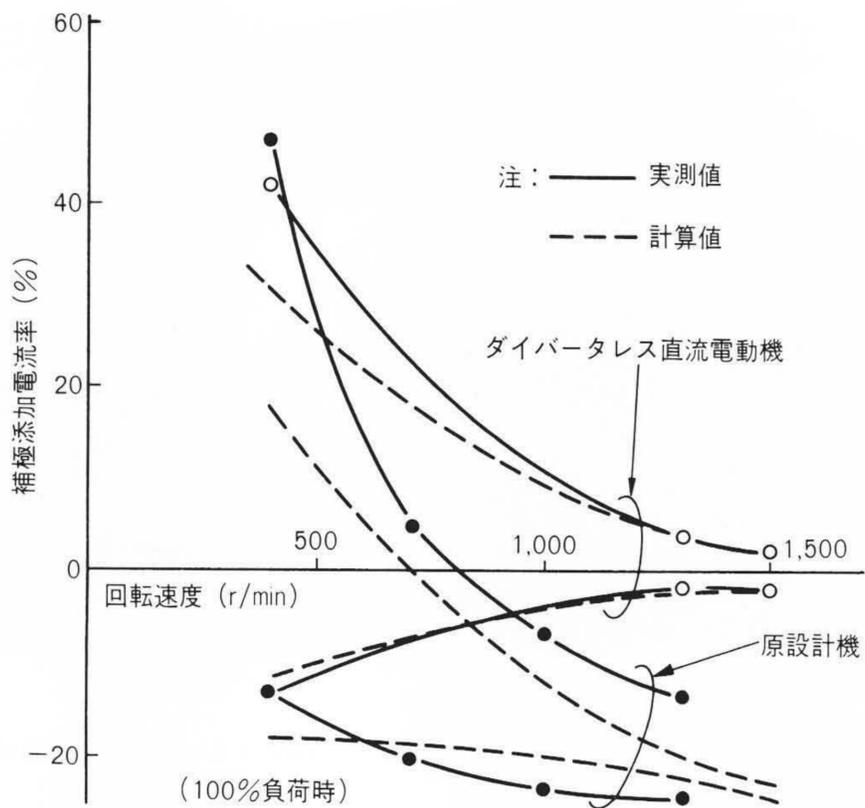


図8 470 kW直流電動機の無火花帯 磁気ブリッジのない原設計機と、磁気ブリッジを設けたダイバータレス直流電動機の無火花帯を比較して示す。

図(b)の弱め界磁の場合の磁束密度は、磁気ブリッジ II 側については正のままであるが、磁気ブリッジ I 側については負荷電流の増加とともに正から負へ方向反転していることが確認できた。なお、計算値と実測値はよく一致している。

3.2 無火花帯

470 kW直流電動機の無火花帯を図8に示す。無火花帯の計算値は整流計算を行って求めた。原設計機の場合は、回転速度の増加に伴って無火花帯の位置が減励磁側へ移動するため、無火花整流を達成するには外部補償装置を必要とする。これに対し、磁気ブリッジを設けたダイバータレス直流電動機の場合は、無火花帯が回転速度の横軸上に存在する。また、無火花帯の計算値は実測値とよく一致している。1,200 kWダイバータレス直流電動機の無火花帯の実測結果を図9に示す。1,200 kW機でも磁気ブリッジを設けることにより、無火花帯が回転速度の横軸上に存在する。これにより、ダイバータレス直流電動機は、外部補償装置を省略できることが検証できた。

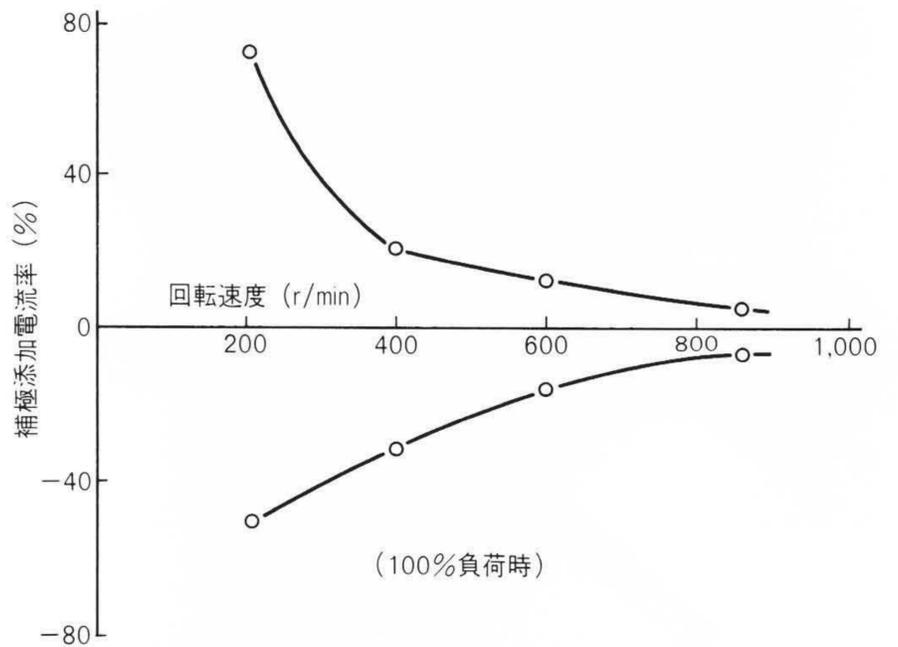


図9 1,200 kWダイバータレス直流電動機の無火花帯の実測結果 磁気ブリッジを設けた1,200 kW機の無火花帯の実測結果を示す。

4 結 言

無火花帯移動現象を補償するための外部補償装置を省略できるダイバータレス直流電動機の原理を述べるとともに、470 kW機および1,200 kW機に適用し、その有効性を明らかにした。なお、この電動機はすでに多機種、多数台に適用され、現在順調に稼動中である。

参考文献

- 1) 茂木, 外: 大容量直流回転電機の整流特性の検証, 日立評論, 61, 7, 487~490(昭54-7)
- 2) 竹村: 大形直流電動機の最近の技術開発, 日立評論, 65, 2, 137~140(昭58-2)
- 3) 松井, 外: 直流機無火花帯の移動量に及ぼす回転数の影響, 電気学会論文誌, 103-B, 1(昭58-1)
- 4) 石川, 外: 無火花帯移動現象とその補償方法, 日立評論, 51, 10, 897~900(昭44-10)
- 5) 小原木, 外: 直流機の整流特性補償装置, 電気学会論文誌D, 108, 942(昭63-10)
- 6) 仲村, 外: 大形直流機における整流改善のインテリジェント化について, 電気学会論文誌D, 110, 534(平2-5)
- 7) 小原木, 外: ダイバータレス直流機の実用化検討, 電気学会全国大会, 700(平2-3)