

大形直流電動機の最近の技術開発

Recent Technology Development for Large DC Motors

竹村 明* Akira Takemura

圧延用を主体とする大形直流電動機に対する最近のニーズは高性能・高信頼性に加え、省資源、省エネルギー、省メンテナンスが挙げられる。日立製作所は、これらのニーズにこたえるため、関連部門との連携のもとで幅広い技術開発を進めてきた。

その結果、高性能・高信頼性の代表としては「リアクタンス電圧均一化電機子の実用化」があり、整流性能が大幅に向上することが確認された。また、省資源対策としては高出力化を年々着実に伸ばしており、省エネルギーでは主電動機の高効率化の目標を明確にした。一方、省メンテナンスとしては整流子面の凹凸監視装置など、予防保全技術の充実に努める一方、整流子面を荒損せず、しかも摩耗の少ないGH-930シリーズ新形ブラシの開発に成功した。

1 緒言

大形直流電動機に対する最近のニーズとして従来からの高性能・高信頼性に加え、省資源、省エネルギー、省メンテナンスが重要なテーマとして挙げられている。

日立製作所は、これらのテーマに対し積極果敢に取り組み、着実にその成果を挙げてきているが、それらの要点を図1に示す。これらのうち、H種絶縁、機械耐力の向上及び整流特性の解析については既に本誌にも紹介した^{1)~3)}。ここでは、
(1) 高性能・高信頼性……リアクタンス電圧均一化電機子
(2) 省資源……高出力化
(3) 省エネルギー……高効率化の考え方
(4) 省メンテナンス……予防保全技術、新形カーボンブラシなどについて、その概要を述べ参考に供したい。

2 新技術とその効果

2.1 高出力化(HPD機)

高出力化とは別名HPD機(High Power Density machine)で、小形・軽量化を意味する。このことは単機製作限界の拡大と電気装荷(AC)の増加が基本となる。

一般に回転電機の製作限界は Pn 値〔=容量(kW)×回転速度(rpm)〕で表わすが、直流機の場合は整流能力の制限で決まる場合が多い。一方、整流の難易度を示すリアクタンス電圧の大きさは、ACに比例することはもとより、単電機子製作限界の指標である M 値〔= $Pn \times \text{Field Range}$ 〕にほぼ比例するため、ACを増加させるためには整流能力の向上が不可欠となる。また、直流機で最大の問題であるフラッシュオーバーの起こしやすさを示すフラッシュオーバー係数は、平均セグメント電圧をブラシアーム間移動時間で割ったものであり、この値も高出力化に対し重要なポイントとなる。

図2は M 値の変遷を主体にして開発過程を示したものであり、H種絶縁の実用化、整流性能の向上により M 値が飛躍的に上昇したことを示している。

2.2 リアクタンス電圧均一化電機子“HICOM”の実用化

先に高出力化に伴い整流性能の向上が必要であることを述べたが、この開発のために詳細な整流解析が行なえるようになってきている³⁾。更に、リアクタンス電圧均一化電機子を採用した直流機“HICOM DCM”を新たに開発し⁴⁾、整流性能の

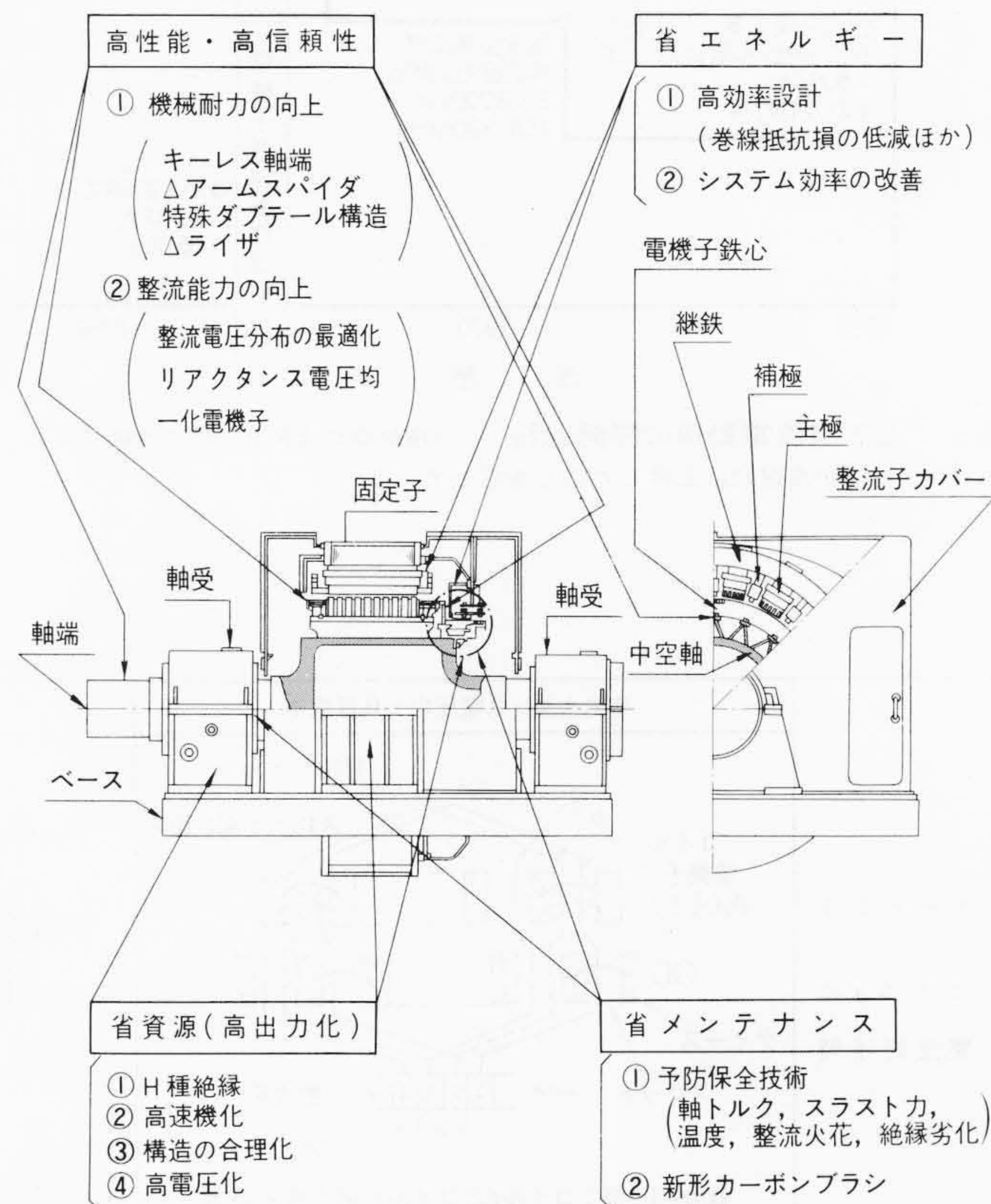


図1 大形直流電動機の開発ポイント 高性能・高信頼性に加え、省資源、省エネルギー、省メンテナンスが重要なテーマである。

飛躍的向上を図っている。図3は“HICOM DCM”の原理を示すもので、各整流コイルの自己及び相互漏れインダクタンスは整流開始から終了時まで1整流子片周期ずれて同一値となり、また整流起電力についても同様のことがいえることから、各整流コイルの無火花帯の幅と中心位置が一致することを意味している。図4は“HICOM”を適用した製品の工場での組立時の外観を示す。

* 日立製作所日立工場

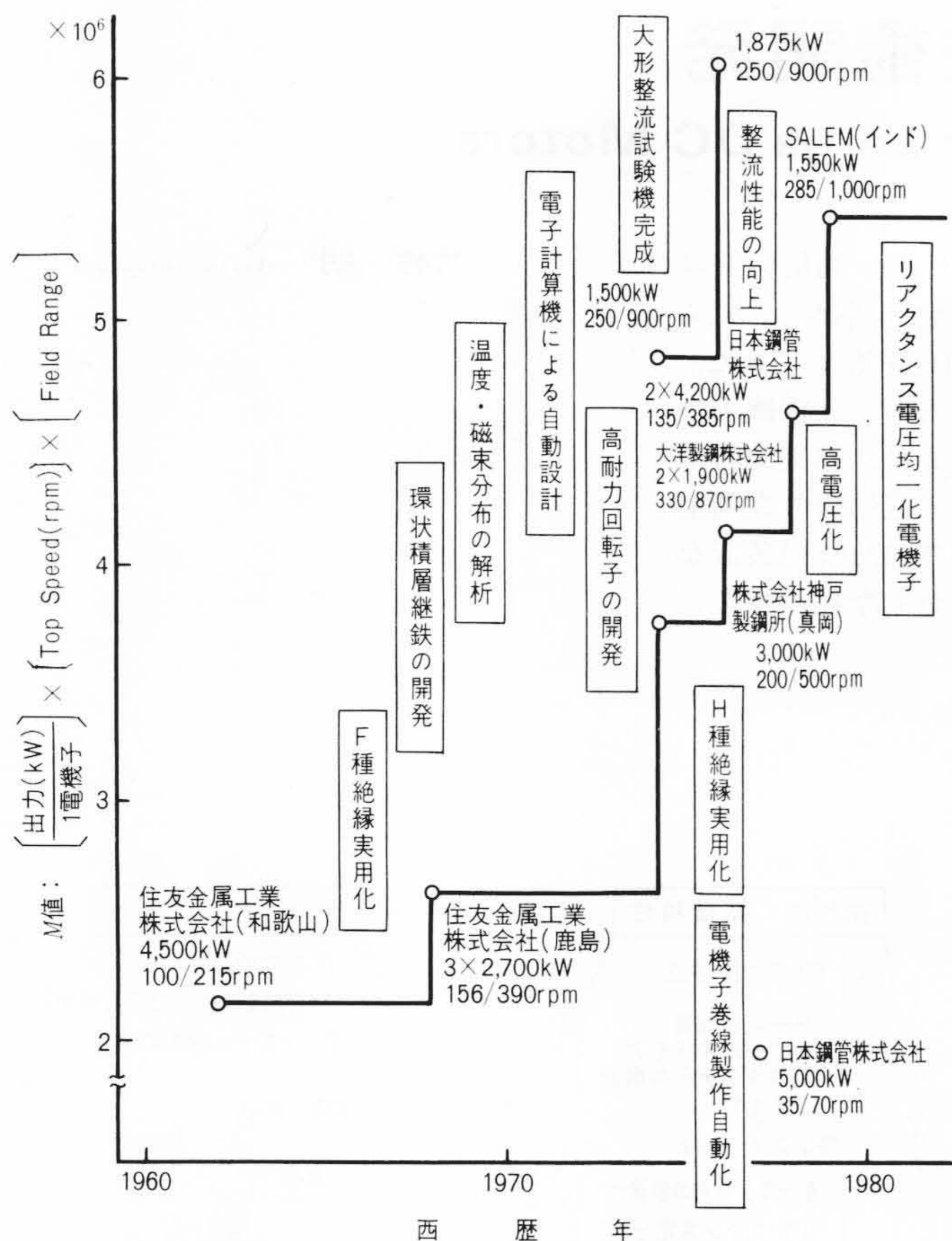


図2 大形直流電動機の開発過程 H種絶縁の実用化, 整流性能の向上により, M値が飛躍的に上昇したことを示している。

2.3 省エネルギー(高効率化)

プラントの高効率化を考える場合, 高効率化によるコストアップとの関係で各機器をどこまで高効率化を図ればよいかが問題となる。その考え方として, まずプラント電気品に対する損失分布を調べ, 各機器の高効率化により主機及び付帯設備の変化(付帯設備に必要な動力はすべて損失とみなせる。)を考慮して最適効率点を求める必要がある。図5はあるプラント(主機総出力2万5,500kW)の損失発生源を損失の大きい順に示したものである。これにより電動機とその冷却設備での損失が半分以上であることが分かり, また主電動機の損失を下

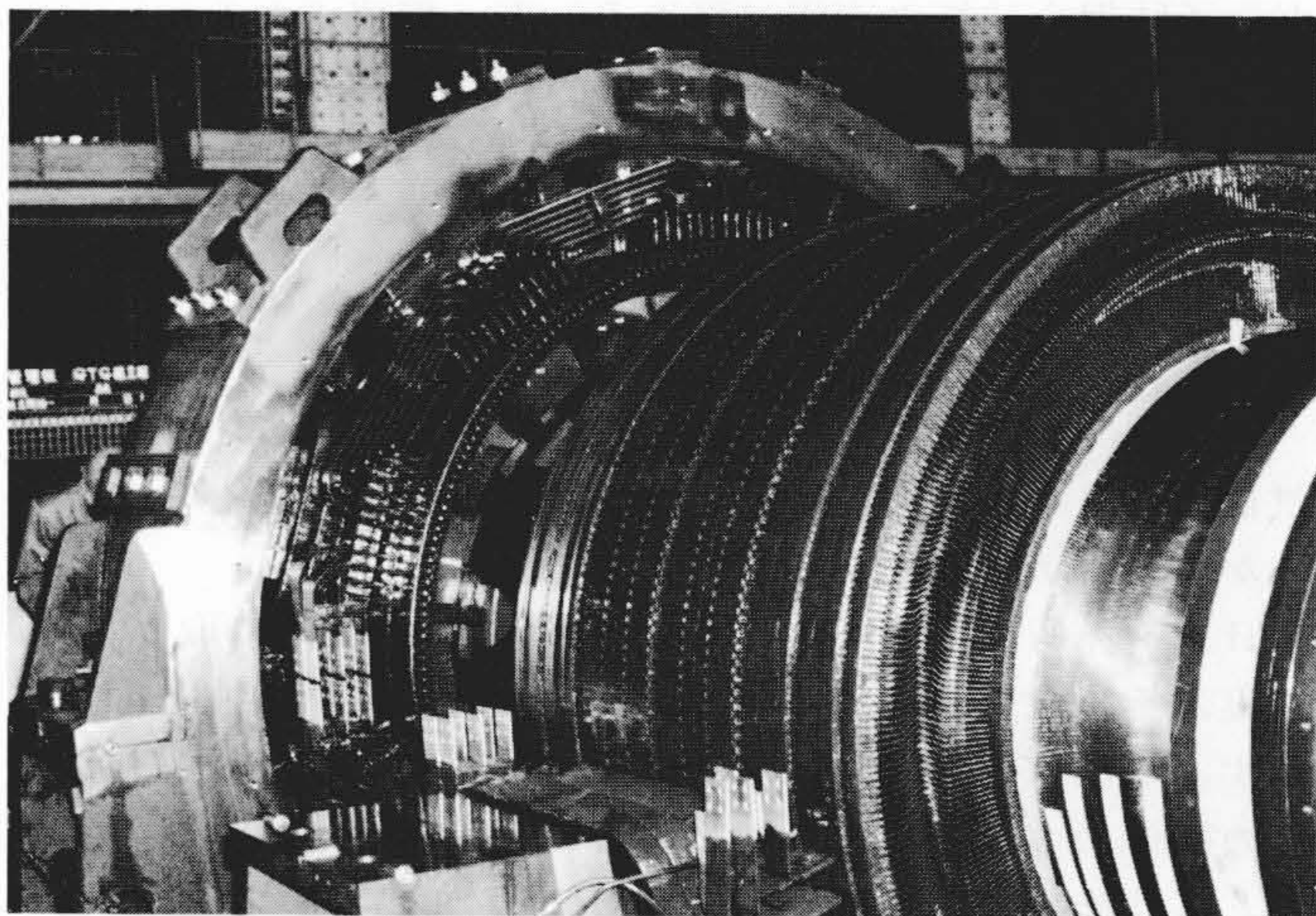


図4 “HICOM”適用の2×2,750kW直流電動機 ミル用主電動機に適用した第1号機であるが, 従来形に比べて, 整流性能向上に効果があることが確認された。

	リアクタンス電圧均一化電機子	普通形電機子
モード: I コイルaの 整流終了時	鉄心(I)側でコイルaとコイルb間で相互誘導作用が働く。	コイルaとコイルb間で相互誘導作用が働く。
モード: II コイルbの 整流終了時	鉄心(II)側でコイルbとコイルc間で相互誘導作用が働く。	コイルbとコイルcが異なるスロットにあるため, 相互誘導作用がない。
整流終了時の リアクタンス電圧	$e_{r1} = e_{r2}$	$e_{r1} < e_{r2}$
特 長	補極磁束分布とリアクタンス電圧積上の形状を合わせやすい。	補極磁束分布とリアクタンス電圧積上の形状を合わせにくい。

図3 リアクタンス電圧均一化電機子の動作原理 コイルa, bのいずれの整流終了時も, 同一スロット内に必ずブラシで短絡されたコイルが存在するので, 各整流コイルのリアクタンス電圧は等しくなる。

げることによって冷却設備が小さくなり、冷却設備としての損失も減少することを考慮すれば、電動機を高効率化するのが最も大切であることが分かる。以上の考え方を図で表わしたのが図6である。電動機単体だけで損失低減量に対するコスト上昇を評価したものがAの曲線であるが、損失低減によるランニングコスト低減に見合うイニシャルコスト上昇限度ラインの交点以上の高効率化、すなわち冷却設備のイニシャルコスト減少、冷却設備及び主回路機器の損失低減量も考慮したCの曲線で評価する必要がある。

2.4 省メンテナンス

(1) 予防保全技術

圧延機駆動用電動機は、頻繁な速度及び負荷の変動、衝撃トルクや変動するスラストなどの過大な外力を受けるため、運転中の状態を十分に管理する必要がある。この目的のため、外力に対しては軸トルク及びスラスト力監視装置により、温度に対しては固定子サーチコイル及びFMテレメータ使用による回転子温度監視、更に入・排気監視などにより著しく寿命を縮めるような運転を監視する。

整流子回りのメンテナンス軽減あるいはメンテナンス時期把握という面では、整流火花監視、ブラシの摩耗限度監視、更にはGapセンサを用いた整流子面凹凸の常時監視などを開発している。

絶縁の劣化状況は目視点検だけでなく、絶縁抵抗値やその電圧依存特性、成極指数などにより定量的に把握したり、開発済みである絶縁診断装置(HIT: Hitachi Insulation Tester)を用いて異常発生時に異常場所を的確に判定することができる⁵⁾。

表1にこれらのまとめを示す。

(2) 新形カーボンブラシの採用

ブラシの性能評価は、従来の無火花帯による評価から更に

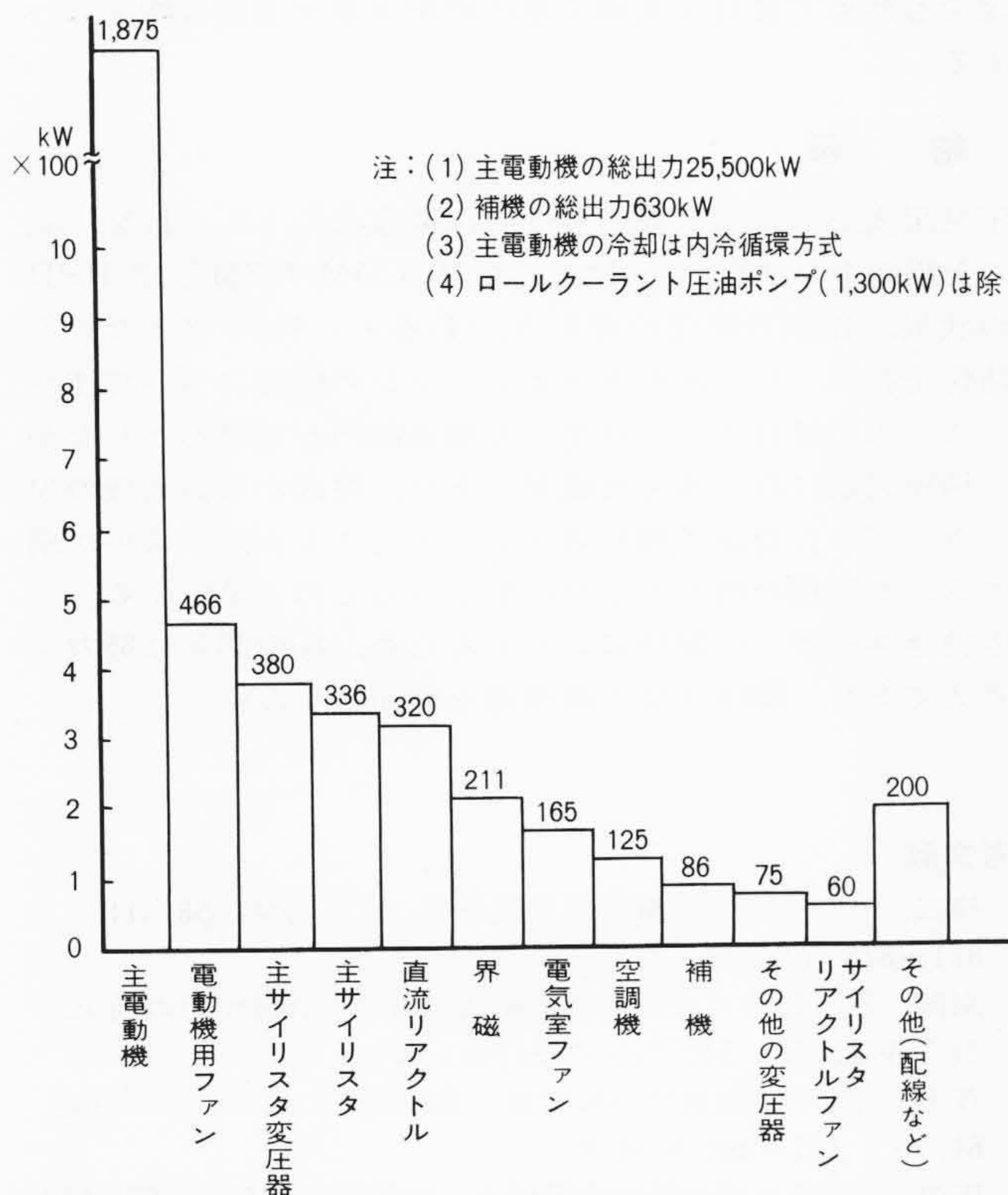


図5 コールドタンデムミル電気設備損失の内訳 (主電動機100%負荷時) 全損失は4,299kWであり、主電動機とその冷却設備での損失だけで54%を占める。

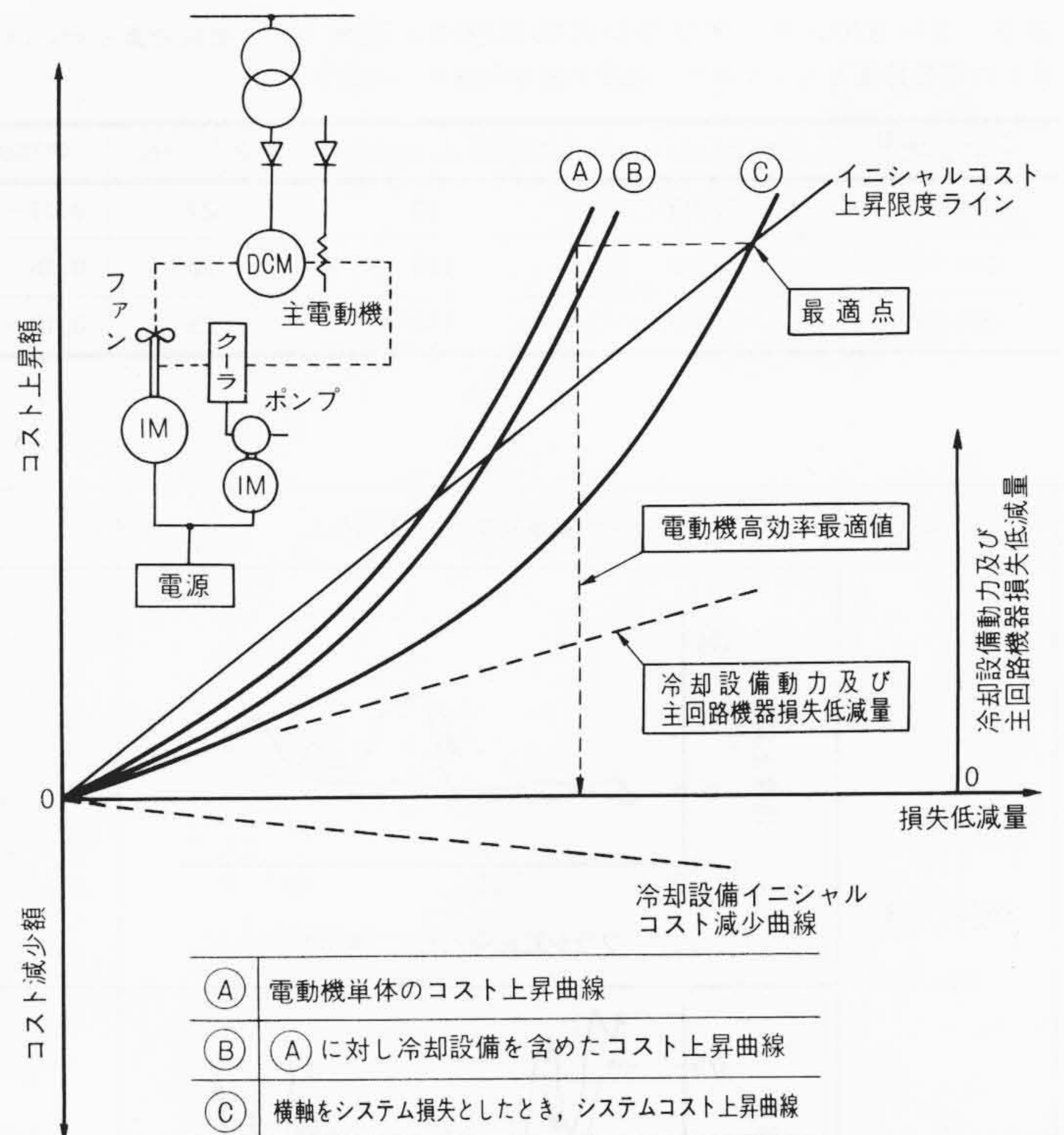


図6 最適効率決定の考え方 主電動機の高効率化は、イニシャルコスト上昇限度ラインと冷却設備のイニシャルコスト低減、冷却設備及び主回路機器の損失低減量も考慮したCとの交点が最適値となる。

表1 直流電動機の予防保全技術 既に開発済みのものについて一覧表にして示す。

No.	分類	項目	内容	目的
1	機械耐力	(1)軸トルク	軸はり付けゲージ+FMテレメータ→(カウントアラーム)	(A), (B), (C)
		(2)軸スラスト力	軸受主板はり付けゲージ→(カウントアラーム)	"
2	温度上昇	(1)電機子巻線温度	サーミスタ+FMテレメータ→(自動記録アラーム)	"
		(2)主極巻線温度 補極巻線温度	サーチコイル→(")	"
		(3)軸受温度	サーチコイル→(")	"
		(4)入排気温度	サーチコイル→(")	"
3	整流	(1)整流火花	光電管による増幅→(")	"
		(2)整流子面の凹凸	Gapセンサ→(定期的記録アラーム)	(A), (B)
		(3)カーボンの摩耗	光ビームによるリミットスイッチ→(")	"
4	絶縁劣化	(1)絶縁抵抗	接地抵抗に流れる電流→(")	(A), (B), (C)
		(2)絶縁診断	絶縁診断装置(HIT)	(C)

注: 目的(A)監視保守の省力化
目的(B)保守時期の予知
目的(C)異常診断
略語説明 HIT (Hitachi Insulation Tester)

広義のメンテナンスの少ないブラシという評価に移ってきており、この背景のもとに開発されたのがGH-930シリーズ新形ブラシである。

ブラシの重要な性能は潤滑性と座乗性であり、生成と脱落を繰り返しながら均衡を保っている整流子皮膜を常に安定に保持する必要がある。従来の高抵抗ブラシは油煙を原料とするが、難黒鉛化性炭素材のため潤滑性に乏しく、このため長期的に見た場合整流子損傷を引き起こしやすい傾向にある。

これに対し整流子を荒損せず、しかも摩耗が少ない特性を

表2 GH-930シリーズブラシの物理特性と適用 低抵抗で柔らかいので、整流子の荒損、のめり防止に効果がある。GH-930はピーク負荷条件下でも安定した摺動特性をもっており、適度の皮膜調整能力がある。

項目 ブラシ	比抵抗($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	曲げ強さ(kg/cm^2)	硬 さHs	摩擦係数	電流密度(A/cm^2)	速 度(m/s)	適 用
GH-930	1,700	130	27	0.17~0.20	12	50	皮膜調整良, ピーク負荷, 小~大形機
GH-931	1,700	130	30	0.16~0.19	12	50	皮膜形成良, 平滑負荷, 小~大形機
GH-932	1,500	160	25	0.16~0.19	12	60	皮膜形成良, 平滑負荷, 中~大形機

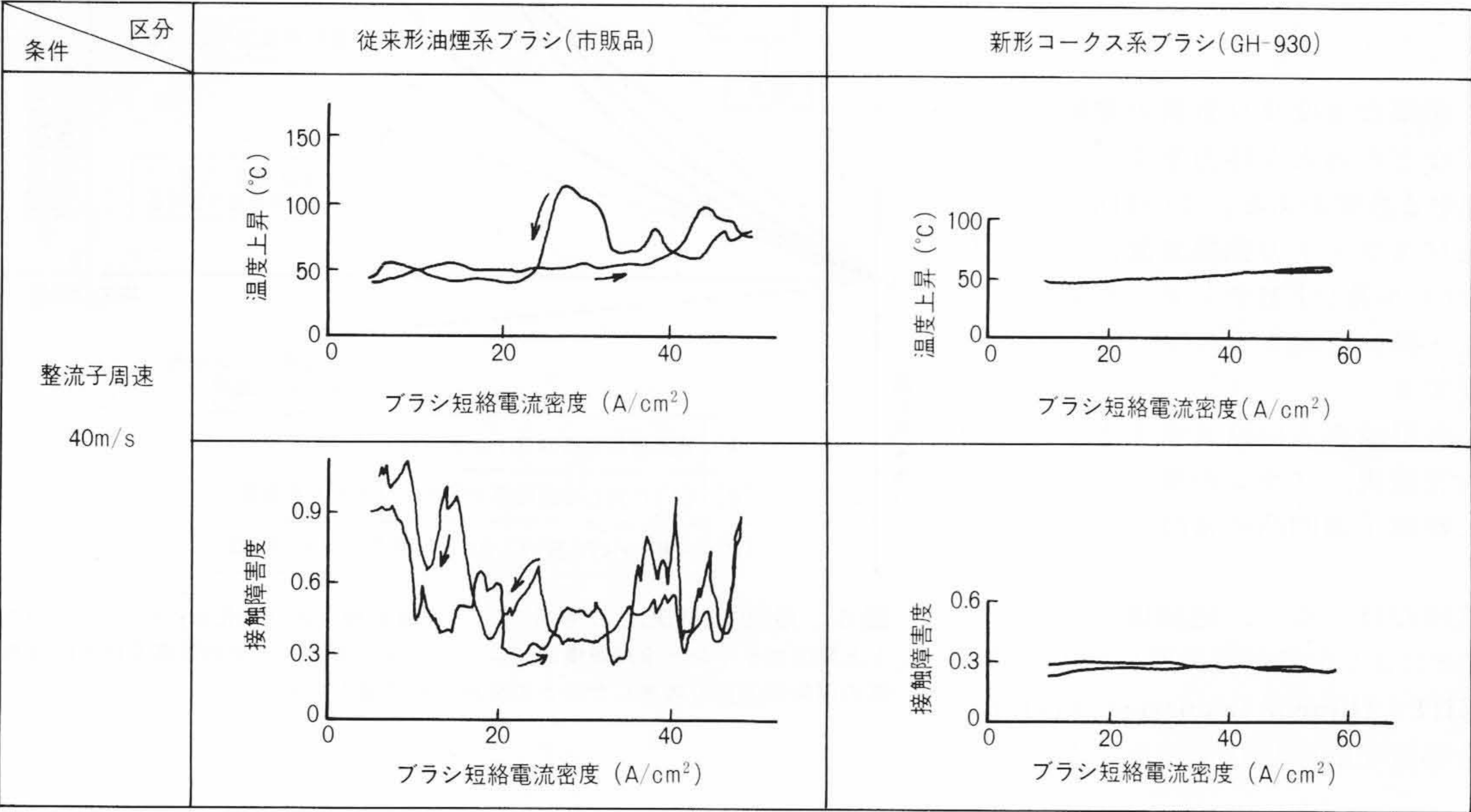


図7 ブラシすり特性の比較 整流子周速40m/s, 短絡電流25A/cm²で25時間運転後のブラシのすり特性を示す。短絡電流又は速度を変化させても、GH-930は接触状態が極めて安定していることが分かる。

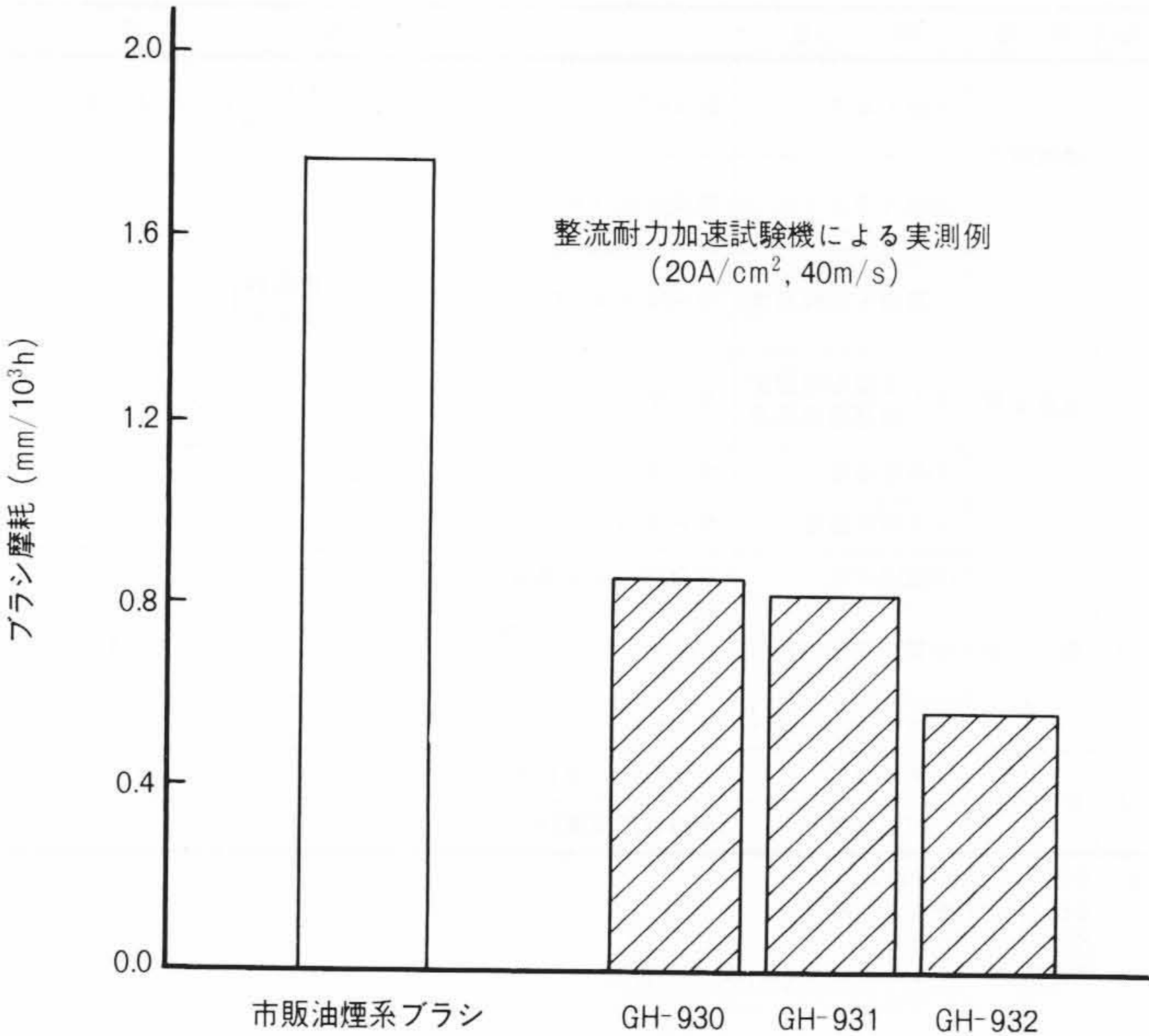


図8 GH-930シリーズブラシの摩耗 試験機による摩耗の実測値を示す。GH-930シリーズは従来材の半以下であり、ブラシの交換周期は大幅に改善される。

もつブラシがGH-930シリーズ新形ブラシである。その物理的特性を表2に、また長時間運転後、ブラシ短絡電流又は速度を変えても接触状態が極めて安定していることを、従来ブラシとの比較で図7に示す。ここで接触障害度とは、接触電圧に含まれている高周波リップル分を表わし、実機での動特性

と相関性が大きい。
ブラシ摩耗は図8に示すように従来材の半以下であり、現地でも極めて良好な成績を挙げ使用実績が着実に増加しつつある。

3 結 言

圧延用大形直流電動機の最近の技術成果のうち、(1)整流能力の大幅向上を目的として開発した“HICOM DCM”, (2)HPD機の状況、(3)高効率化の考え方、(4)省メンテナンスのための予防保全技術、及び新形カーボンブラシの概要について述べた。これらの新技術は、いずれも関連部門が連携をとりながら、積極果敢に取り組んだ成果であり、従来から直流機の欠点とされていた整流子回りのメンテナンスも大幅な改善が期待でき、直流機の特長が十分に生かせるものと確信する。引き続きユーザーの期待にこたえるため、技術開発に努力する考えであり、関係各位の御指導をお願いしたい。

参考文献

- 1) 袴田, 外: 中形回転機用新H種絶縁, 日立評論, 58, 11, 871~875(昭51-11)
- 2) 園部, 外: 最近の大形直流電動機における機械耐力の向上, 日立評論, 62, 10, 755~758(昭55-10)
- 3) 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)
- 4) 田原, 外: 直流機の新構成電機子, 電気学会論文誌, 57-B48 (昭57-6)
- 5) 松延, 外: 直流機用新絶縁診断法の開発, 電気学会論文誌, 56-A 6 (昭56-1)