

最新 超高速ドライブ・ベアリングレス関連技術

超高速ドライブ・ベアリングレス関連技術調査専門委員会編

目 次

1. 総論	3	4.3 新しい磁気支持方式	26
1.1 まえがき	3	4.4 センサレス磁気浮上および 磁気軸受の現状	29
1.2 超高速、ベアリングレスの経緯	3	4.5 新しいセンサレス磁気浮上・ 磁気軸受方式	30
1.3 なぜ高速化なのか	4	4.6 本章のまとめ	33
1.4 高速化の基盤技術	4	5. ベアリングレスドライブの構造と 制御技術	35
1.5 超高速ロータのトレンド	6	5.1 まえがき	35
1.6 磁気軸受支持のトレンド	6	5.2 巻線構造と軸支持力の発生原理	35
1.7 ベアリングレスのトレンド	6	5.3 最新モータ構造	36
1.8 あとがき	6	5.4 最新制御技術	40
2. 超高速回転機の構造	8	5.5 あとがき	42
2.1 はじめに	8	6. 超高速ドライブの応用事例	43
2.2 回転子の構造	8	6.1 まえがき	43
2.3 ロータダイナミクス	10	6.2 スピンドルモータ	43
2.4 超高速回転機に連結される機械 システム	11	6.3 フライホイール	44
2.5 軟磁性材料	13	6.4 高速タービン駆動用モータを 有する掃除機	45
2.6 結言	15	6.5 コールドコンプレッサ	46
3. 超高速回転機の制御技術例	16	6.6 超小型ガスタービン用 超高速発電電動機	47
3.1 はじめに	16	6.7 歯科用モータ	48
3.2 大容量遠心形ターボコンプレッサ への応用	16	6.8 本章のまとめ	48
3.3 車載用過給機への応用	19	7. まとめ	49
3.4 まとめ	24	8. 文献データベース	50
4. 回転主軸の磁気支持と制御技術	25		
4.1 まえがき	25		
4.2 磁気軸受の応用と問題点	25		

超高速ドライブ・ベアリングレス関連技術調査専門委員会委員

委員長 千葉 明(東京理科大学)
幹事 市川 修(職業能力開発総合大学校)
佐藤 忠(荏原総合研究所)
幹事補佐 大島 政英(諏訪東京理科大学)
委員 上野 哲(立命館大学)
大山 和伸(ダイキン空調技術研究所)
岡 宏一(高知工科大学)
岡田 養二(茨城大学)
小川 和伸(モリタ東京製作所)
小田 裕也(ワコー技術)
金箱 秀樹(三協精機製作所)
桜井 貴夫(三菱重工業)
進士 忠彦(東京工業大学)

委員 須永 義弘(本田技術研究所)
高橋 俊雄(石川島播磨重工業)
竹本 真紹(武蔵工業大学)
田中 博一郎(パワーモーターシステム)
徳増 正(東芝電力・社会システム社)
野口 李彦(長岡技術科学大学)
針江 博史(富士電機モータ)
深尾 正(武蔵工業大学)
吉田 俊哉(東京電機大学)
吉田 光伸(三井化学)
和多田 雅哉(武蔵工業大学)
渡辺 洋(三井化学)

途中退任
委員

1. 総 論

1.1 まえがき

最近、モータドライブの高速化、小型化が進みつつある。電力用半導体モジュールの大量生産により半導体電力変換装置の小形化、低価格化が進み、さらに、マイクロプロセッサの高機能化、高速化が進み、50 Hz 以上の周波数での駆動が安価に実現できる状況にある。さらに、減速ギヤなどの機械部品も高速化に対応しつつある。そこで、永久磁石モータ、誘導モータの高速駆動、小形軽量化が実現しつつある。

たとえば、50 Hz、1,500 r/min で 200 W のモータを 8 倍周波数の 400 Hz で駆動すれば、軸出力は回転角速度とトルクの積であるので、12,000 r/min で 8 倍の軸出力 1,600 W の出力が得られる。したがって、等しい重量で変換パワーは 8 倍に向上できる。あるいは、等しい出力パワーであれば、モータを小形軽量化できる。回転速度を増加すればさらにその効果は大きい。

しかし、この際、いかにして次の課題を解決すればよいのが問題になる。

- 単位体積当たりの変換パワーが増加するため、鉄損などの各種損失の低減
- 高い回転数に耐えうる回転子構造
- ドライブ装置の制御
- 軸受の高速化
- 巻線の直列数の低減と並列数の増加の決定方法

既に 50,000 r/min で 75 kW の小型高効率プロワドライブが開発され、さらに、70,000 r/min で 11 kW のスピンドルドライブが開発されている。いずれも磁気軸受により主軸を支持する構成であり、一つのドライブには数台のインバータが電流を供給している。安価で信頼性が高い半導体電力変換装置が果たす役割は大きい。さらに、磁気軸受機能とモータ機能を磁氣的に一体化したベアリングレスドライブの研究、応用も進んでいる。

本稿は超高速ドライブ・ベアリングレス関連の最新技術の背景、概要を紹介する。続いて「超高速回転機の構造」、「超高速回転機の制御技術例」、「回転主軸の磁気支持と制御技術」、「ベアリングレスドライブの構造と制御技術」、「超高速ドライブの応用事例」を記載する。極力最新技術に焦点をあてて取り上げる。各解説は各項目の第一人者により執筆されており、これまでの経緯、現状、将来技術など多彩な構成である。

1.2 超高速、ベアリングレスの経緯

電気学会では、超高速ドライブ、発電システムについては 1985 年の電気学会全国大会でシンポジウムが開催された⁽¹⁾。さらに、1994 年⁽²⁾、また、1996 年、1998 年の全国大会では「超高速モータの技術動向」⁽³⁾、「超高速ドライブ

表 1.1 超高速、ベアリングレス関係の調査

1.	超高速ドライブ技術調査専門委員会 1996 年 10 月から 2 年間 技術報告「超高速ドライブ技術」
2.	ベアリングレスドライブ協同研究委員会 2001 年 10 月から 2 年間 2003 年産業応用部門大会にてシンポジウムを開催 「ベアリングレスドライブ技術」
3.	超高速ドライブ・ベアリングレス関連技術調査専門委員会 2003 年 10 月から 19 名でスタート。最終的に 24 名。 2005 年 9 月まで。 2005 年産業応用部門大会にてシンポジウムを開催 「超高速ドライブ・ベアリングレス関連技術」 半導体電力変換技術委員会にて

技術」⁽⁴⁾の題名でシンポジウムが開催され、また、部門誌に解説「超高速回転機と駆動技術」⁽⁵⁾が掲載されている。その後、表 1.1 に示すように 1996 年 10 月から 2 年間にわたり超高速ドライブ技術調査専門委員会（委員長：深尾正）が設置され、超高速回転機、駆動用半導体電力変換装置、ドライブの構成、応用などについて調査が行われ、調査報告書「超高速ドライブ技術」電気学会技術報告第 749 号が 1999 年 11 月に発行されている⁽⁶⁾。この調査報告書は何度か増刷され、電気学会優秀技術活動賞技術報告賞を受賞した。その後、文献(7)(8)などにサーベイが報告されている。この委員会終了より既に 7 年が経過しつつあり、新しい超高速モータ発電機の応用が広がりつつある。たとえば、自動車のターボチャージャ直結用、エネルギー蓄積フライホイール駆動用、マイクロガスタービン、小型ガスタービン、モバイル情報機器用ガスタービン直結用、ヘリウム冷凍装置用など、新しい応用が広がりつつある。いくつかの応用では、磁気軸受をもちいて磁気力により非接触で高速に回転する主軸を支持している状況にある。

一方、ベアリングレスドライブについては 1997 年、2001 年に電気学会誌解説、部門誌解説などが掲載されている⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。さらに、2001 年 10 月から 2 年間にわたりベアリングレスドライブ協同研究委員会（委員長：千葉明）が設置され、2 年間にわたりベアリングレスドライブの構成、回転機、変換装置、制御方法などが調査され、鹿児島で開催された産業応用部門大会でシンポジウム「ベアリングレスドライブ技術」⁽¹¹⁾が開催された。さらに、スイス、米国ベンチャー会社による半導体製造装置用のベアリングレスモータが輸入されている状況にある。また、2005 年 3 月には「磁気軸受とベアリングレスドライブ」(英文)と題した本がまとめられている⁽¹²⁾。

このような状況下で、2003 年 10 月より「超高速ドライブ・ベアリングレス関連技術調査専門委員会」が半導体電力変換技術委員会に設置され、①超高速ドライブ、②磁気