

磁気支持応用技術と環境調和

環境調和型磁気支持応用技術 調査専門委員会編

目 次

1. 諸言	3	5. システムの安定運用と磁気浮上	30
1.1 調査活動の背景	3	5.1 はじめに	30
1.2 調査活動の記録	3	5.2 電力システムの安定運用に役立つ 磁気支持系の設計と特性評価	30
1.3 技術資料の分類	4	5.3 耐故障性を考慮した設計および 故障検出技術による磁気支持系の安定化	32
2. エネルギーリサイクルと磁気浮上	6	5.4 非線形共振を考慮した設計による 磁気支持系の安定化	33
2.1 はじめに	6	5.5 おわりに	36
2.2 フライホイールに関する磁気支持技術	6	6. 高品質・高精度化と磁気浮上	37
2.3 磁気浮上関連技術を応用した エネルギー活用	9	6.1 はじめに	37
2.4 おわりに	13	6.2 半導体露光装置における 磁気浮上ステージ技術	37
3. パワーセービングと磁気浮上	14	6.3 電子線露光装置における 環境適合ステージ技術	39
3.1 はじめに	14	6.4 ターボ分子ポンプと磁気浮上技術	41
3.2 機械的な浮上方式によるゼロパワー制御	14	6.5 鋼板表面高品質化のための磁気浮上技術	43
3.3 反磁性グラファイトを用いた ゼロパワー制御	15	6.6 おわりに	43
3.4 減速機付モータを用いた磁気浮上機構	16	7. 乗り心地の向上と磁気浮上	45
3.5 並列磁気浮上におけるゼロパワー制御	18	7.1 はじめに	45
3.6 おわりに	21	7.2 鉄道に関する技術	45
4. 長寿命化・保守低減と磁気浮上	22	7.3 自動車に関する技術	48
4.1 はじめに	22	7.4 エレベータに関する技術	49
4.2 固液分離機	22	7.5 おわりに	53
4.3 補助人工心臓	23	8. 結言	54
4.4 シールレスポンプ	25	8.1 環境調和型磁気支持応用技術の動向	54
4.5 たわみ軸振動抑制高速モータ	27	8.2 今後の調査活動	54
4.6 おわりに	29		

環境調和型磁気支持応用技術
調査専門委員会委員

委員長 森下 明平(工学院大学)
幹事 大橋 俊介(関西大学)
幹事 長谷川 均(鉄道総合技術研究所)
幹事補佐 伊東 弘晃(東芝)
委員 青井 辰史(三菱重工)
市川 修(職業能力開発訓練大)
大崎 博之(東京大学)
大島 政英(諏訪東京理科大学)
岡 宏一(高知工科大学)
押野谷 康雄(東海大学)
栗田 伸幸(群馬大学)
桑田 巖(IHI)
坂本 茂(日立製作所)
坂本 泰明(鉄道総合技術研究所)

委員 地藏 吉洋(三菱電機)
杉浦 壽彦(慶應義塾大学)
鈴木 晴彦(福島工専)
竹本 真紹(北海道大学)
田中 慶一(ニコン)
千葉 明(東京工業大学)
鳥居 肅(東京都市大学)
滑川 徹(慶應義塾大学)
増澤 徹(茨城大学)
水野 毅(埼玉大学)
村井 敏昭(東海旅客鉄道)
山口 仁(崇城大学)

1. 緒 言

1.1 調査活動の背景

物体を電磁力で非接触支持する磁気支持システムは接触によって物を支持する機械的支持機構に比べ、振動・騒音の低減や保守の軽減が容易である。リニアドライブ技術委員会では、こうした特長を備えた磁気支持技術がリニアドライブ技術の応用拡大に欠かせないものであることから、調査対象を磁気支持技術に絞った専門委員会を設けて調査研究活動が続けてきた。昭和 63 年の磁気浮上方式調査専門委員会を発足以来、この技術に関連する応用、システム、産業利用、実用化の調査を実施し、今日実用化を迎えたシステムの礎となった技術をまとめ、さらには非線形、連成問題、ダイナミクス、高機能化、電気・機械システム融合化技術の調査を実施して 21 世紀に礎となるべき技術の調査を行ってきた。表 1.1 に歴代の磁気浮上関連の調査専門委員会を列挙する⁽¹⁾。これらの活動により、磁気支持応用機器の発展、普及に貢献し、近年、多くの磁気支持応用機器において実用化及び応用の拡大が見られるようになった。

まず、磁気支持応用機器の代表例である磁気浮上式鉄道は、ドイツのトランスラピッドが上海空港アクセス路線として商業運転され、すでに 500 万人以上の乗客を運んでいる。国内でも HSST が 2005 年の愛知万博開催にあわせて 2004 年に開業し、現在では年間 600 万人以上の乗客を運んでいる。また、超電導リニアも評価委員会から高い評価を受け、営業線建設に向けた動きが進んでいる。

産業応用分野でも、新領域も含めて実用化、応用の拡大が見られる。まず、磁気軸受を使用した人工心臓の臨床試験数が日本やドイツで増加し、半導体製造の純水ポンプなどに非接触磁気支持とモータを一体化したベアリングレス

表 1.1 磁気浮上関連歴代委員会

設置年月	解散年月	委員会名称
1988.4	1990.3	磁気浮上方式調査専門委員会 委員長：松村 文夫
1990.4	1992.3	磁気浮上応用技術調査専門委員会 委員長：松村 文夫
1992.4	1994.3	磁気浮上システム技術調査専門委員会 委員長：小豆澤 照男
1994.4	1996.3	磁気浮上産業応用調査専門委員会 委員長：小豆澤 照男
1996.4	1998.3	磁気浮上産業応用調査専門委員会 委員長：小豆澤 照男
1998.4	2000.3	磁気浮上系における非線形技術調査専門委員会 委員長：引原 隆士
2000.6	2002.5	磁気浮上系における非線形技術調査専門委員会 委員長：引原 隆士
2002.10	2004.9	磁気支持応用機器におけるダイナミクス 調査専門委員会 委員長：村井 敏昭
2004.10	2006.9	磁気支持応用機器の高機能化協同研究委員会 委員長：村井 敏昭
2006.10	2008.9	磁気支持応用における電気・機械システム融合化 技術調査専門委員会 委員長：森下 明平
2008.10	2011.9	環境調和型磁気支持応用技術調査専門委員会 委員長：森下 明平

モータの利用が拡大している。また、磁気支持で非接触案内を実現した磁気案内エレベータも製品化されている。さらに高温バルク超電導体利用の超電導軸受を適用したフライホイールエネルギー貯蔵システムでは 10kWh、スラスト方向の重量支持に超電導軸受を適用した場合は 50kWh の電力貯蔵に成功した例も報告されている。

磁気支持応用機器の実用化および応用拡大が進む一方で、社会的価値観が従来の“軽薄短小・低コスト”から安心・安全や環境負荷の軽減へと移行してきており、快適性や CO₂ 排出量などが注目されるようになっている。

このような背景のもと、これまでの技術的視点に立脚した調査活動から社会的視点から技術を俯瞰する調査活動を行うことを目的として、環境調和型磁気支持応用技術調査専門委員会が 2008 年 10 月に発足した。本委員会の目的は、最近の磁気支持応用技術を調査し、環境側面からその動向を明らかにすることにある。

本報告書は、環境調和型磁気支持応用技術調査専門委員会の 2011 年 9 月までの 3 年間にわたる調査活動を報告するもので、全 8 章で構成されている。第 1 章では本委員会調査活動の概要を説明する。第 2 章以降第 7 章ではエネルギーリサイクル、パワーセービング、長寿命化・保守低減、システムの安定運用、高品質・高精度化、乗り心地の向上のそれぞれの視点から最近の磁気支持応用技術についての調査結果をまとめた。第 8 章では環境調和型磁気支持応用技術の動向と今後の調査活動の方向性を述べた。

1.2 調査活動の記録

1.2.1 委員会の調査検討事項

環境調和型磁気支持応用技術調査専門委員会では以下の事項に関して調査検討を行った。

- (1) 磁気支持応用における磁性材料と応用システムの解決すべき課題と解決手法
- (2) 電気・機械連成系の解決すべき課題と解決手法
- (3) センサレス制御等先端的制御手法とその適用目的
- (4) 磁気支持応用機器におけるドライブ技術の解決すべき課題と解決手法

調査検討は各委員より提出された技術資料および見学会資料に基づき、各委員の専門領域についての知見から横断的に行われた。

1.2.2 委員会の構成メンバ

本委員会は当初 20 名で構成されていたが、2 名の退任と 8 名の増員を経て 2 頁に示す 26 名の構成メンバで活動を進めた。

1.2.3 委員会の開催記録

表 1.2 に示すように、計 18 回の委員会を開催して調査活動をおこなった。本委員会の特徴として、2 回に 1 回の割合で計 9 回の見学会を行い、実際の装置から環境調和型磁気