

産業用リニアドライブ技術と応用の変遷

産業用リニアドライブ技術と応用の変遷調査専門委員会編

目 次

1. まえがき	3	4. モータ・アクチュエータの変遷	33
2. 研究開発活動の変遷	3	4.1 リニアモータの分類	33
2.1 リニアドライブ技術活用の歴史的変遷	3	4.2 リニア誘導モータ	34
2.2 電気学会における活動の変遷	5	4.3 リニア直流モータ	35
2.3 特許技術活用の変遷	7	4.4 リニアステッピングモータ	37
3. 産業応用の変遷	13	4.5 リニア同期モータ	39
3.1 概要	13	4.6 リニア振動アクチュエータ	42
3.2 搬送	13	4.7 最近のモータ・アクチュエータ	43
3.3 工作機械	16	5. 要素部品と要素技術の変遷	47
3.4 半導体・画像パネル加工機	19	5.1 概要	47
3.5 情報機器	21	5.2 磁石・磁性材料	47
3.6 家電	24	5.3 軸受	50
3.7 輸送	25	5.4 センサ	53
3.8 医療・福祉機器	27	5.5 駆動・制御技術	54
3.9 その他	29	5.6 リニアモータの高速・高加速度化の変遷	56
		5.7 ゼロパワー制御と応用の変遷	62
		6. あとがき	68

産業用リニアドライブ技術と応用の変遷 調査専門委員会委員

委員長 渡邊利彦(IEEJ プロフェッショナル)
幹事 水野勉(信州大学)
幹事 矢島久志(S M C)
幹事補佐 村口洋介(シンフォニアテクノロジー)
委員 碓賀厚(大分県産業創造機構)
乾成里(日本大学)
打田正樹(鈴鹿工業高専)
江澤光晴(キヤノン)
海老原大樹(東京都市大学)
荻田充二(IEEJ プロフェッショナル)
岸田和也(東洋電機製造)
金弘中(ROYAL MOTION)
栗山義彦(NEOMAX エンジニアリング)

委員 小林学(三菱電機)
佐藤海二(東京工業大学)
杉田聡(山洋電気)
仲岩浩一(多摩川精機)
楡井雅巳(長野工業高専)
野村健(日本トムソン)
長谷川英視(オリエンタルモーター)
平田勝弘(大阪大学)
星俊行(安川電機)
増澤徹(茨城大学)
森下明平(工学院大学)
米津武則(鉄道総合技術研究所)
和多田雅哉(東京都市大学)

途中退任委員

鹿山透(安川電機)
太田聡(鉄道総合技術研究所)
仲興起(三菱電機)
丸山一樹(東洋電機製造)
井田英二(日本トムソン)

1. まえがき

リニアドライブ技術委員会によるリニアモータ・アクチュエータとそのシステム化技術に関する調査活動は、技術委員会の母体となった調査専門委員会の活動を含めると 30 年に及んでいる。この間に、リニアドライブの活用は様々な分野に拡大している。しかし、世の中の要請の変化により消滅していった分野も存在する。この 30 年間にはパワーエレクトロニクスの飛躍的な発展、ネオジム磁石の発明に代表される材料技術の進歩、三次元磁気回路解析などの設計解析技術の進歩などがもたらされた。このような発展・進歩は、リニアドライブ技術の研究開発環境を格段に改善している。一方では研究開発者の世代交代も進んでおり、初期段階の開発や応用事例を直接経験している研究開発者のなかで現役を退かれる方も増えている。したがって、現在の視点でこれまでの技術や応用の変遷を見直し体系化することは、今後の研究開発の糸口を発見するうえで極めて有用であり、世代間の技術継承を確実にするためにも有益である。

産業用リニアドライブ技術と応用の変遷調査専門委員会は、2010 年 4 月に設置され、次のような視点による変遷と動向を中心に調査検討を進めた。

- (1) リニアモータ・アクチュエータの種類別に見た構成と性能改良および応用分野
 - (2) 産業機器、民生機器分野でのリニアドライブ技術応用事例
 - (3) 設計解析技術、センサや支持案内機構などの要素技術そして、活動の成果として次のような効果が得られることを念頭に置いて活動した。
- (1) リニアドライブ技術と応用の変遷の体系化による技術継承への寄与
 - (2) 産業機器、民生機器分野におけるリニアドライブ技術応用の可能性の提示
 - (3) 新規な設計解析技術、新規なセンサや支持案内機構などの要素技術の必要性の提示

この委員会の活動に当たっては、初期段階の開発経験を持つ研究開発者と若手の研究開発者とがこのような調査活動を一緒に行うことにより世代間の技術継承に寄与することも考慮した。

本技術報告は、2 年間にわたる活動成果を、研究開発活動、産業応用、モータ・アクチュエータ、要素部品と要素技術の各側面からの見た変遷としてまとめ報告する。

2. 研究開発活動の変遷

2.1 リニアドライブ技術活用の歴史的変遷

本報告の内容の多くは、リニアドライブの産業応用が進展した 1960 年代以降となっている。ここでは、リニアドラ

イブの産業応用が発展する以前の、電気モータの黎明期から Prof. E. R. Laithwaite により LIM の理論解析がなされる 1960 年頃までの間についてのモータ技術とリニアモータ活用について文献等で調査した内容を報告する。

電気モータの黎明期におけるリニアモータの活用について本報告で取り上げた項目と関連するトピックスとを年代順に並べて表 2.1 に示す。リニアモータに直接関連するトピックスについては年号を白抜きで表している。リニアモータの研究開発における歴史的変遷をひもとくと、たびたび面白い事項を発見するものである。たとえば、電気モータの開発自体が先に開発されている先輩格のレシプロエンジンの模倣から始まっていることである⁽¹⁾。1776 年の James Watt の蒸気機関の発明、1829 年の Robert Stephenson による蒸気機関車 Rocket 号の登場があり、電池を動力源とし煙を出さず低騒音も期待できる電磁によるエンジンは魅力的であったようである。その一例として、図 2.1 にその構成を示すような、2 個の可動ロッド型電磁石を交互に動かして回転運動をさせるレシプロエンジンをアメリカの発明家 Charles Grafton Page が 1839 年に製作している⁽²⁾。このスケッチには図示はされていないが、フライホイールの回転軸には機械的な接点機構が備えられこれによりソレノイド 1 とソレノイド 2 とが交互に駆動される。これが世界初のリニア振動アクチュエータ (LOA) であろう。この形態を発展させ、1842 年に Robert Davidson が電動エンジンを作り自

表 2.1 リニアモータ活用の変遷と関連トピックス

年	トピックス
1824	Arago の円盤
1829	Stephenson の蒸気機関車, Rocket 号
1834	Jacobi の電池駆動の 28 フィート長のボート用モータ
1838	Page の回転磁石
1839	Page の往復動式モータ
1841	Wheatstone の LSTM
1841	Wheatstone の偏心リング式電磁エンジン
1842	Davidson の電気機関車
1851	Page の電気機関車
1881	Siemens & Halske による水車で駆動される交流発電機
1886	Tesla による誘導電動機
1886	Gordon による二相交流発電機
1894	Fleming のジャンピングリング
1895	Jacquard による織機シャトル用 SR 形 LSM の特許
1910	Birkeland による LDM の特許
1910	Merchon による多相 LIM の特許
1915	熔融金属搬送用電磁ポンプ
1922	Japolsky による鍛造用ハンマー
1931	Japolsky による Runner の提案
1945	米国海軍による Electropult の試行
1950	Verte による電磁ポンプの理論的解析
1955	Laithwaite 教授による LIM の理論的解析