

新世代アクチュエータの多自由度化可能性

新世代アクチュエータの多自由度化可能性調査専門委員会編

目次	
1. はじめに	3
1.1 背景	3
1.2 委員会活動状況	3
1.3 特許調査	4
2. 電界・磁界の直接作用型アクチュエータ	9
2.1 電磁アクチュエータ	9
2.2 静電アクチュエータ	12
3. 材料変形に基づいたアクチュエータ	20
3.1 圧電アクチュエータ	20
3.2 磁歪アクチュエータ	25
3.3 形状記憶合金アクチュエータ	29
4. 流体圧力に基づいたアクチュエータ	34
4.1 空気圧アクチュエータ	34
4.2 機能性流体アクチュエータ	40
4.3 水素吸蔵合金アクチュエータ	45
5. その他の原理に基づいたアクチュエータ	52
5.1 光駆動型アクチュエータ	52
5.2 生体アクチュエータ	56
5.3 ワイヤ牽引アクチュエータ	59
6. あとがき	67

新世代アクチュエータの多自由度化可能性 調査専門委員会委員

委員長 矢野 智 昭(産業技術総合研究所)
幹事 乾 成 里(日本大学)
竹村 研治郎(慶應義塾大学)
幹事補佐 上野 敏 幸(金沢大学)
五福 明 夫(岡山大学)
委員 青柳 学(室蘭工業大学)
井門 康 司(名古屋工業大学)
上田 靖 人(株 東 芝)
大井 英 司(オリエンタルモーター(株))
大崎 博 之(東京大学)
大路 貴 久(富山大学)
太田 智 浩(パナソニック(株))
岡 宏 一(高知工科大学)
奥山 晃 久(ハイデンハイン(株))
荻田 充 二(IEEJ プロフェッショナル)
土屋 淳 一(首都大学東京)

委員 百目 鬼 英雄(東京都市大学)
富田 良 幸(住友重機械工業(株))
楡井 雅 巳(長野高専)
野口 聡(北海道大学)
平田 勝 弘(大阪大学)
古崎 浩 幸(ミネベア(株))
堀越 敦(日本精工(株))
高橋 和 希(三菱電機(株))
宮城 大 輔(東北大学)
森實 俊 充(大阪工業大学)
山口 忠(岐阜大学)
山田 外 史(金沢大学)
脇若 弘 之(信州大学)
涌井 伸 二(東京農工大学)
渡辺 利 彦(IEEJ プロフェッショナル)
主な協力者 本田 智(首都大学東京)

1. はじめに

1.1 背景

近年，産業機器から医療福祉まで，広範囲にわたる応用を目指して，1 台のアクチュエータで多自由度の動きを実現する多自由度アクチュエータの研究が活発に行われている．多自由度アクチュエータは，以下の特長を有している．

- (1) 同一自由度実現に必要なアクチュエータの個数軽減により多自由度システムの小型・軽量化を実現する．
- (2) 制御に必要な演算量の軽減により制御の高速化を実現する．
- (3) ロボットの眼，宇宙における巨大トラス構造物，アクティブ多面体のジョイント部などの狭隘な空間に設置可能で，メンテナンスも容易である．
- (4) 複雑な動力伝達機構を組み込むことが困難なマイクロマシンの分野で，多自由度システムの直接駆動が可能である．
- (5) 1 軸モータの組み合わせでは組み付け誤差が生じて実現が難しい超高精密位置決めシステムを比較的容易に実現できる．
- (6) 多自由度システムの小型・軽量化や制御の高速化により，日本の電力エネルギーの 50 % 以上を消費するモータの省エネルギー・省資源を実現する．

多自由度アクチュエータの研究開発の活発化を受けて電気学会リニアドライブ研究会は 2002 年 4 月に海老原大樹委員長の下，「多次元ドライブ調査専門委員会」を発足させた．この委員会はサーフェスモータや球面モータなどの多自由度アクチュエータの研究動向を超音波モータなどの新原理アクチュエータを含めて幅広く調査した．委員会は調査結果を整理・分類し，電気学会技術報告第 1029 号「多次元ドライブシステムの可能性を探る」⁽¹⁾を出版して，2004 年 3 月に解散した．

「多次元ドライブ調査専門委員会」の調査の結果，多自由度アクチュエータの研究開発は活発に行われているが，サーフェスモータ以外に商品化された多自由度アクチュエータがないことが明らかになった．そこで，多自由度アクチュエータの個々の要素技術について，その到達点と解決すべき問題を明らかにするため，2004 年 4 月に「多自由度モータとその要素技術調査専門委員会」を矢野智昭委員長の下に発足させた．委員会は電気学会技術報告第 1081 号「多自由度モータとその要素技術」⁽²⁾を出版して，2006 年 3 月に解散した．

「多自由度モータとその要素技術調査専門委員会」の調査時期に，多自由度アクチュエータの研究分野が巨大な望遠鏡の駆動からマイクロの分野まで幅広く広がり，実用化が見えてきた．また，文部科学省特定領域研究 438「ブレイクスルーを生み出す次世代アクチュエータ」(2004.4 ~ 2009.3, 領域代表者樋口俊郎 (東大)) において開発された

さまざまな新原理にもとづくアクチュエータが実用に近づくとともに，それらのうちほとんどのアクチュエータが多自由度化できることがわかってきた．そこで，2006 年 4 月に「多自由度モータのシステム化技術調査専門委員会」を矢野智昭委員長の下に発足させた．多自由度モータのシステム化技術調査専門委員会では，調査対象とする多自由度アクチュエータを従来の電磁モータに限定しないで，電気と関連があるアクチュエータ全般とし，調査結果を応用分野別にまとめた．限られた委員で広範な応用分野および駆動原理をすべて網羅することは不可能なので，委員各自が興味を持っている応用分野について調査をおこなった．委員会は，電気学会技術報告第 1140 号「多自由度モータのシステム化技術」⁽³⁾を出版し，2008 年 3 月に解散した．

新原理にもとづくアクチュエータの研究の広がりを受けて，上記委員会と並行して 2006 年 10 月に「新世代の電気・磁気アクチュエータ調査専門委員会」を平田勝弘委員長の下に発足させた．新世代の電気・磁気アクチュエータ調査専門委員会は，電気・磁気駆動のアクチュエータ全般を調査対象として，その研究動向と技術課題，設計解析法について調査し，電気学会技術報告第 1169 号「新世代の電気・磁気アクチュエータ」⁽⁴⁾を出版して，2008 年 9 月に解散した．

上記 4 つの委員会は 6 年 6 ヶ月間の活動で委員会を 53 回，幹事会を 1 回，見学会を 5 回開催し，調査文献数はそれぞれ 80 件，83 件，121 件，134 件であった．この間に 8 回のリニアドライブ研究会を協賛し，2003 年 8 月に産業応用部門大会シンポジウム「多次元ドライブシステムの現状と将来展望」，2005 年 12 月に産業応用フォーラム「多次元ドライブシステムの可能性を探る」，2006 年 3 月に全国大会シンポジウム「多自由度モータとその要素技術の研究動向一実用化を目指して」，2007 年 3 月に全国大会シンポジウム「リニア電磁駆動装置解析手法の体系とその動向」，2007 年 8 月に電気学会産業応用部門大会オーガナイズドセッション「ブレイクスルーを生み出す次世代アクチュエータ」，2008 年 8 月に産業応用部門大会シンポジウム「多自由度モータとその要素技術一研究動向と課題」，2008 年 11 月に産業応用フォーラム「多自由度モータのシステム化技術」を担当した．また，国際会議 SPEEDAM2004 における OS「Surface motors」を企画した．国際会議 LDIA2003，LDIA2005，SPEEDAM2006，LDIA2007，SPEEDAM2008 において委員が主体的に関わり，実行委員，オーガナイザ，論文発表などを行った．

1.2 委員会活動状況

新世代アクチュエータの多自由度化可能性調査専門委員会は，多様な駆動原理を有する新世代アクチュエータの研究開発動向とその多自由度化技術の研究動向調査を行い，新世代アクチュエータの多自由度化可能性を個別に検討することを目的として発足した．委員会は産業界，学界，官界から選出された 31 名で構成されている．平成 21 年 4