

## 解 説

## 学術貢献賞を受賞して（機能性流体フルードパワーをめざして）\*

中野 政身\*\*

\* 平成 29 年 8 月 21 日原稿受付

\*\*東北大学流体科学研究所，〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

## 1. はじめに

この度は、日本フルードパワーシステム学会・学術貢献賞という栄えある賞を頂き、大変喜ばしく光栄に感じる。フルードパワー分野及び学会の発展にどれだけ貢献できたのか心もとないところであるが、大学院生の頃から流体工学・フルードパワーシステム分野の研究・教育に長年携わってきた地道な活動や業績が認められてのものと思う。特に、1996 年から現在まで、本学会内に機能性流体に関する 6 つの研究委員会(各 3 年間)を設置し、委員長として活発な活動を推進することによって、本学会の機能性流体を活用したフルードパワー技術分野の研究展開や発展、並びに学術的交流に関して何かしらかの貢献ができたのではないだろうか。機能性流体のフルードパワー分野への展開に関して一緒に活動してきた研究委員会のメンバーには心から感謝の意を表す。

フルードパワー分野の研究は、高圧ガスバルブから発生する振動・騒音の発生とその低減化に関する研究<sup>1),2)</sup> (昭和 55 年度日本機械学会賞(論文)受賞)及び超音速多孔平行噴流から発生する騒音の減音の効率化に関する研究<sup>3)</sup>とその成果の多孔型低騒音弁設計への展開<sup>4)</sup>、空気圧ゴム人工筋を用いた 2 リンクマニピュレータの位置と力のハイブリッド制御による面做い作業やハンドル回し作業の実現<sup>5)</sup>、そして車両用燃料供給ポンプ系で生じる逆止弁の自励振動発生メカニズムの移動境界法 CFD を用いた解明と対策に関する研究<sup>6)</sup>

(第 65 回自動車技術会賞「論文賞」受賞)など空気圧・油圧に関わる研究も行なってきたが、ここでは、主に機能性流体関係、特に ER(Electro-Rheological)/MR(Magneto-Rheological)流体などの電磁レオロジー流体とそのフルードパワー分野への応用に関する研究展開について紹介する。

## 2. 機能性流体（電磁レオロジー流体）フルードパワーの研究展開

## 2.1 ER/MR 流体の創製とそのレオロジー・流動特性に関する研究

外部電場や磁場の作用のもとで流体のレオロジー特性が変化する粒子分散系 ER(Electro-Rheological)流体や MR(Magneto-Rheological)流体の基本的レオロジー特性(定常、ヒステリシス、動的粘弾性(動的モデルの構築も含む)などの特性)と流動特性(図 1)について検討し、それらの諸特性を把握して<sup>7)</sup>、その特性を活かした特徴的な応用機器の開発とその制御法の提案に結び付けている。壁面が相対運動するせん断流れやスクイーズ流れモード、固定壁面間の圧力流れモード(バルブモード)などにおける ER/MR 流体のレオロジー・流動特性や電場や磁場に対する応答速度等の諸特性を測定する装置を考案・開発し、DC、AC、PWM など各種の印加電圧信号に対するそれらの基本特性について実験的に検討し、粒子のクラスター形成、凝集、相分離現象などの発生と関連して流れモードや印加電圧信号の違いによって大きく ER/MR 効果が異なることを明らかにしている<sup>8),9),10)</sup>。特に、圧力流れモードでの定常流や往復振動流における ER/MR 流体のレオロジー特性を把握し<sup>11)</sup>、その動的機械モデルを提案・構築して<sup>12)</sup>、圧力流れモードを用いたダンパの発生減衰力予測に活用している。また、MR 流体の粒子沈降と使用に際してのシールの必要性を回避する目的で、スポンジ・不織布等の多孔質体に MR 流体を含浸させた MR 流体コンポジットを創製し、その往復せん断モードにおけるレオロジー特性の把握とその動的機械モデルの構築を行い、MR 流体コンポジットを用いたせん断モードダンパの設計に供している<sup>13)</sup>。

各種用途に適した新規 ER/MR 流体の創製とレオロジー・流動特性に関する研究も実施してきている。新規 ER 流体に関しては、ER 流体を作動流体とする Micro Fluid Power Systems(MFPS)の構築を目的に、そのアク

チュエータを駆動するより微細な流路でも使用可能な ER 流体として、400nm の  $\text{TiO}_2$  のナノ粒子 ER 流体をその分散媒に変性シリコンオイルを用い粒子の体積分率を適切に調整して創製することにより、低い基底粘度で ER 効果もより高く時間的にも安定した ER 効果の得られるナノ粒子分散 ER 流体を開発している<sup>14)</sup>。新規 MR 流体としては、分散媒として比較的高い粘度のシリコンオイルを用いた粒子沈降が回避できる高粘度 MR 流体（図 2(a)）<sup>15)</sup>、マイクロ粒子にナノ粒子を混合することにより比較的高い MR 効果が得られるマイクロ・ナノ粒子混合 MR 流体（図 2(b)）<sup>16)</sup>、分散媒として液体を用いないでかつ流動性を高めた鉄粒子パウダーからなるドライ MR 流体（図 2(c)）<sup>17)</sup>などを新規に創製し、開発した磁場印加型平行円盤レオメータ<sup>18)</sup>を用いて、それらの磁気レオロジー・流動特性等を評価している。

## 2.2 ER 流体のフルードパワー分野への応用展開

ER 流体のフルードパワー分野への応用研究としては、まず、マイクロ粒子分散系 ER 流体を用いた拮抗型ベローズ可変減衰力ダンパを開発し、その除振テーブル用の除振脚への応用と振動制御について理論・実験両面から検討し、ダンパの発生減衰力を予測するとともに、ダンパの発生減衰力が印加電圧の 2 乗に比例することを考慮した振動体速度の平方根をフィードバックする非線形スカイフック制御を提案し、効果的に振動系を線形化でき高性能な振動制御特性を実現している（図 3）<sup>19)</sup>、<sup>20)</sup>。さらに、同じ ER 流体ダンパを用いたタイヤ・車体からなる 2 自由度車両サスペンション系を構築し、ローパス・ハイパスフィルターを用いたタイヤ及び車体速度の非線形フィードバック制御を適用し、効果的なサスペンション制御系を提案している<sup>20)</sup>。

粒子分散系 ER 流体の Micro Fluid Power System への応用を目的に、上述したように微小間隙を流れる ER 流体のレオロジー・流動特性を明らかにするとともに、フォトリソグラフィ法を用いて 3 ポートマイクロ ER バルブを製作し、2 つの ER バルブに PWM 制御を適用して連続流量制御を実現している（図 4）<sup>21)</sup>。さらに、可動部にポリウレタン膜（30 $\mu\text{m}$ ）からなるダイアフラムを用いた 3 ポートマイクロアクチュエータをフォトリソグラフィ法を用いて構築している（図 5）<sup>22)</sup>。ダイアフラム制御ポートの上流及び下流部にそれぞれ ER バルブを配置し、両 ER バルブを PWM 連続流量制御することにより、ダイアフラムの変位を制御する構造となっている。PID 位置フィードバック制御により、バンド幅 2.2Hz の高精度な ER マイクロアクチュエータ制御を実現している。

以上の粒子分散系 ER 流体マイクロアクチュエータに関する研究成果に基づいて、マイクロベローズ及びポリウレタン膜ダイアフラムを用いた 2 種の ER 流体マイクロアクチュエータからなる 6 個の触知ピンをもつ ER 流体駆動点字表示システム（図 6）<sup>23)</sup>、<sup>24)</sup>を開発している。

## 2.3 MR 流体のフルードパワー分野への応用展開

MR 流体は、ER 流体に比して約 50~80 倍程度の大きなせん断応力を発生することと可変磁場印加のために電磁石を必要とすることなどから、比較的尺寸が大きくかつ大きな力を必要とする用途への応用が期待される。そのため、MR 流体のフルードパワー機器への応用研究として、ダンパ、ブレーキ、クラッチなどのフルードパワー要素機器への応用とそれらを活用した各種のスマートマシンシステムに関する研究開発を行なってきた。

### 2.3.1 MR 流体ダンパへの応用展開

まず、MR 流体を活用したダンパとして、図 3 に示す拮抗型ベローズ ER 流体ダンパの ER 流体バルブ部を円筒コイルとその発生磁界方向に対して MR 流体が垂直に流れるように構成したジグザグ流路をもつ MR 流体バルブ（図 7）に変更し、2 つのベローズ室内に MR 流体を充填した拮抗型ベローズ MR 流体ダンパを開発している。その除振制御特性を把握して、拮抗型ベローズ ER 流体ダンパとの性能を比較検討している<sup>20)</sup>、<sup>25)</sup>。

停電時にも信頼性をもって作動する MR 流体を使ったダンパとして、電気的な制御系を一切使わずに、永久磁石とチェックバルブを用いて変位×速度の正負によって減衰力が変化するパッシブ式 MR 流体ダンパを開発し、その建築構造物の免震制御への有効性を実証している（2013 年度日本機械学会賞（論文）受賞）<sup>26)</sup>。図 8 に示すように、本ダンパは二つのピストンヘッドを有しており、それぞれのピストンヘッドには変位に応じて磁気回路が開閉することによって磁場が印加される環状流路と流れの向き（ダンパ速度の正負）に応じて開閉するチェックバルブが設置された磁場の影響を受けないバイパス流路が設けられている。これらの構造によって、本ダンパでは変位と速度の積の符号に応じて減衰力の強弱が変化する特性を持つことになる。

建築構造物の免震・制振システムに MR 流体ダンパを適用する際には、長時間静置時の MR 流体中に分散した強磁性体微粒子の沈降が信頼性などの実用上の問題となる。MR 流体を多孔質体（不織布）に含浸させることで、この粒子沈降の問題が解決でき、かつ密閉のための流体シールが不要な MR 流体コンポジットを活用した回転型 MR ブレーキとその回転を直動に変換するボールネジとを用いた 20[kN]級の免震・制振用の直動型可変減衰力 MR ダンパ（最大全長 800[mm]、ストローク $\pm$ 100[mm]）を開発している（図 9）<sup>27)</sup>。

### 2.3.2 MR 流体ブレーキへの応用展開

MR 流体を活用したブレーキに関しては、まず、コイル巻線用の線材の張力制御装置への応用例として、線材が MR 流体を含浸させた多孔質体（スポンジ、不織布）の中を直接通過することにより MR 流体の抵抗力を受けて制動する機構を採用した MR 流体コンポジットブレーキ（図 10）を用いたコイル巻線用張力制御装置を開発している（2002 年度日本機械学会東北支部「技術研究賞」受賞）<sup>28)</sup>。従来の回転プーリー・ブレーキ系を用いた張力制御装置のブレーキ系の回転慣性に起因する張力変動を回避することができ、特に、線速の変動が著しい非円形コイルの巻線時に張力変動を従来品に比して 1/5 程度に抑えることができ有効となる。

インダクションモータなどを用いた簡便サーボ機構においては、停止時の回転慣性による停止位置のズレをなくする目的で機械的な摩擦式電磁ブレーキが多用されているが、その制動力は摩擦係数により決定される構造であるため、①ブレーキの鳴き音が発生する、②制動トルクの経時変化が大きい、③摩擦により寿命が短い、④制動トルクが調整できない、⑤摩擦粉が発生するなど種々の問題があり改善が求められている。このような問題点を解決する目的で、MR 流体を用いたモータ用励磁作動型及び無励磁作動型電磁ブレーキを開発している（2006 年度日本機械学会東北支部「技術研究賞」受賞、図 11）。インダクションモータの軸に直結された 1 つのディスク型ローターの両側の空隙に MR 流体を充填し、そのディスクの外周部に配置した円環状コイルの電磁石によって MR 流体に磁場を印加して、ブレーキローターに制動トルクを与える構造となっている。

MR 流体を用いた小型の多盤型 MR 流体ブレーキを膝継手に活用して随意に制御可能な大腿義足を開発している（第 10 回日本義肢装具学会「土屋和夫論文賞」受賞、図 12）<sup>29), 30)</sup>。使用者の随意制御(Controlled by Optional Motion)の情報を取り出して MR 流体を用いた可変制動力ブレーキによって膝の抵抗をコントロールし、義足使用者が随意に膝継手の Lock・Yielding・Free を切り替えて階段や坂道の昇降を交互のステップでスムーズに歩行することを可能としている。

MR 流体クラッチ・ブレーキの動力伝達・制動系への応用の手始めとして、国内ブレーキメーカーとの共同で小型 EV 向けの MR 流体ブレーキを設計・開発し、そのブレーキ特性を把握するとともに、実車（超小型 EV）の 4 輪に搭載し走行試験を実施して、十分なブレーキ性能とブレーキフィーリング制御の適用など高い制御性があることを実証している（図 13）<sup>31)</sup>。今後、スマートモビリティなどへの実用展開が期待される。

### 2.3.3 MR 流体クラッチへの応用展開

MR 流体クラッチは、印加磁場（コイル電流）によるトルクリミッター機能及び一定トルクでの滑り回転機能を発揮するため、モータ等の他の動力源と組み合わせることによってバックドライバビリティが確保できるようになり、人と接触して用いるロボット等の安全・安心の向上と確保に寄与することが期待できる。その例として、図 14 に示すように、カップ型 MR 流体クラッチとモータからなるアクティブ負荷機を活用した下肢リハビリ用筋力評価・訓練システムを開発している<sup>32), 33)</sup>。MR 流体クラッチを負荷ブレーキやトルクリミッター付き動力伝達装置として活用することにより、等尺性及び等速性筋力の測定・評価、能動的被験者を対象とした等尺性及び等速性筋力訓練、受動的被験者を対象とした可動域拡張訓練（ROM 訓練）などの機能を備えており、被験者が安心感をもって下肢筋力の評価・訓練が行えるように構成されている。

また、機能回復訓練用の下肢装着型パワーアシスト装具のバックドライバビリティを確保することによって安全・安心の向上を目的に開発した、サーボモータと多盤型 MR 流体クラッチそして各種減速機からなる MR 流体アクチュエータを開発している（図 15）<sup>34)</sup>。開発した MR 流体クラッチは設計目標トルク（約 4.5 [Nm]）を十分に満たし、高い応答速度をもつ。また、回転速度依存性が低く、印加電流のみで伝達トルクを任意に設定できることから制御性が高く、トルクリミッター機能を有する MR 流体クラッチの構造上の安全性から

バックドライバビリティを確保でき、開発した MR 流体アクチュエータはパワーアシスト装置に適している。

### 3. おわりに

ER/MR 流体などの電磁レオロジー流体とその応用に関する研究は、1990 年頃から始めて、かれこれ 27 年となる。これと並行して、第 1 回の ER 流体に関する国際会議が 1987 年に米国で開催され、それ以後隔年で開催されてきている。1995 年に英国で開催された第 5 回から会議名称に MR 流体を含め、ER 流体と MR 流体に関する国際会議となっている。日本でも、第 6 回会議を 1997 年に山形県米沢市で開催している<sup>35)</sup>。最近では、2016 年に第 15 回会議が韓国・仁川で開催された。これら一連の国際会議から、ER 流体に関する研究では、ER 流体の応用に関する研究よりも ER 流体の開発や特性評価に関するものが多く、依然、流体開発や特性把握が活発で斬新な性能を示す ER 流体の出現の可能性が期待できる。また、MR 流体に関する研究では、1990 年頃から応用研究が活発化し、現在では、MR 流体は市販されており、車両サスペンション用ショックアブソーバに代表されるように各種の MR 流体を活用した機器・システムが実用化され普及してきている<sup>36)</sup>。このような ER/MR 流体に関する国際的な研究開発の動向の中で、本学会を中心にフルードパワーという視点から研究開発及び実用化展開ができたことを幸せに思っている。末筆ながら、これまで小生の研究を支えて下さった国内外の共同研究仲間、数多くの研究室の学生諸氏の熱意と努力に対して敬意と感謝の意を表したい。

### 参考文献

- 1) 中野政身, 大田英輔, 田島清瀬: 高圧空気弁の騒音・振動の発生に関する空気力学的研究—第 1 報, 円すい形弁から放風される超音速流のパターンと騒音—, 日本機械学会論文集 (B 編), Vol.45, No.391, pp.350-360 (1979)
- 2) Nakano, M., Outa, E., Tajima, K.: Noise and Vibration Related to the Patterns of Supersonic Annular Flow in a Pressure Reducing Gas Valve, *Trans. of the ASME, J. of Fluids Engineering*, Vol. 110, No. 1, pp.55-61 (1988)
- 3) 中野政身, 田島清瀬, 熊井戸剣治: 多孔形低騒音弁の減音の効率化に関する研究—第 1 報, 超音速多孔平行噴流の減音特性—, 日本機械学会論文集 (B 編), Vol.54, No.500, pp.907-916 (1988)
- 4) 中野政身: “空気圧の特性”空力騒音と流れの特性について, 日本油空圧学会誌「油圧と空気圧」, Vol.28, No.7, pp.6-14 (1997)
- 5) 吉田説与, 沼澤雅寿, 中野政身: 空気圧人工筋 2 リンクマニピュレータによる力・軌道制御, SICE 東北支部第 163 回研究集会, 論文 No.163-14, pp.1-10 (1996)
- 6) 渡部尚, 若生宏, 直井康夫, 中野政身: 移動境界法 CFD を用いた逆止弁自励振動メカニズム解析, 自動車技術会論文集, Vol.43, No. 6, pp.1393-1399 (2012)
- 7) 中野政身: ER/MR 流体のレオロジー及び流動特性, 可視化情報「特集: 機能性流体の可視化」, Vol.27, No.105, pp.19-26 (2007)
- 8) Nakano, M., Aizawa, R., Asako, Y.: Steady and Transient Responses of Electrorheological Suspension passing through a Rectangular Channel, *Int. J. of Modern Physics B*, Vol. 10, No.23 &24, pp. 2965-2972 (1996)
- 9) Vieira, S.L., Nakano, M., Oke, R., Nagata, T.: Mechanical Properties of an ER Fluid in Tensile, Compression and Oscillatory Squeeze tests, *Int. J. of Modern Physics B*, Vol. 15, Nos.6&7, pp.714-722 (2001)
- 10) Nakano, M., Satou, A., Sugamata, Y., Nishiyama, H.: Dynamic Shear Flow Behavior of Magneto-rheological Fluid between Two Rotating Parallel Disks under Relatively Weak Magnetic Field, *JSME International Journal, Series B*, Vol.48, No.3, pp.494-500 (2005)
- 11) Nakano, M., Ito, K., Konno, M., Aizawa, R.: Dynamic Viscoelasticity in Oscillatory Slit Flow of an ER Suspension Containing Sulfonated Polymer Particles, *Int. J. of Modern Physics B*, Vol. 13, No.14, 15&16, pp.1870-1877 (1999)
- 12) 山本英樹, 中野政身: MR 流体の圧力流れモードにおけるレオロジー特性とその動的機械モデル, 日本レオロジー学会誌, Vol.30, No.2, pp.83-88 (2002)
- 13) 中野政身: MR 流体コンポジットの開発とその応用, フルードパワーシステム, Vol.42, No.1, pp.41-45

(2011)

- 14) Tanaka, K., Robson, S., Kobayashi, H., Takasaki, M., Nakano, M., Totsuka, A.: Simultaneous Observations of Microgap Flow Behavior and Microstructure of Electro-rheological Nano-suspensions based on Titanium Dioxide Nano-particles, *Colloid and Polymer Science*, Vol.293, Issue 9, pp.2531-2541 (2015)
- 15) 中野政身, 戸塚厚, 佐藤忠一郎, 栃木弘, 渡辺佳久, 貝戸信博: 高粘度 MR 流体の MR 効果と分散安定性, *日本レオロジー学会第 61 回レオロジー討論会講演要旨集*, pp.360-361 (2013)
- 16) 中野政身, 戸塚厚, 佐藤忠一郎, 野間淳一, 阿部浩也: ナノ・マイクロ粒子混合系 MR 流体の MR 効果向上と粒子カラム挙動, *JSME 2015 年度年次大会講演会 CD-ROM 講演論文集*, No.15-1, Paper No.S0520304, pp.1-5 (2015)
- 17) 中野政身, 阿部浩也, 田瞳菲, 戸塚厚, 佐藤忠一郎: ドライ MR 流体の流動性向上と MR 効果, *JFPS 平成 28 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集*, pp.27-29 (2016)
- 18) 中野政身: 磁場印加型レオメータの開発と MR 流体の磁気レオロジー計測, *フルードパワーシステム*, Vol.48, No.2, pp.78-81 (2017)
- 19) 中野政身, 伊藤浩也, 近野誠, 伊藤一寿: 分散系 ER 流体を用いた拮抗形ベローズダンパとそのアクティブダンパとしての除振制御への応用, *日本機械学会論文集 (C 編)*, Vol.64, No.619, pp.804-810 (1998)
- 20) 中野政身: ER・MR 流体を活用した減衰力可変ダンパと制振技術, *フルードパワーシステム*, Vol.35, No.3, pp.191-196 (2004)
- 21) Nakano, M., Katou, T, Satou, A., Miyata, K., Matsushita, K.: Three-ports Micro ER Valve for ER Suspension Fabricated by Photolithography, *J. of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol.13, No.7/8, pp.503-508 (2002)
- 22) 中野政身: 粒子分散系 ER 流体を用いたマイクロアクチュエータ, *フルードパワーシステム*, Vol.35, No.6, pp.32-36 (2004)
- 23) 中野政身: ナノ・マイクロ粒子分散系 ER 流体のマイクロギャップフローとその点字表示システムへの応用, *日本混相流学会誌「混相流」*, Vol.23, No.2, pp. 135-142 (2009)
- 24) Nakano, M.: Smart Fluid Power Systems Utilizing Electro- / Magneto-Rheological Fluids, *Proceedings of the 8<sup>th</sup> JFPS International Symposium on Fluid Power*, Okinawa, Japan, pp.22-25 (2011)
- 25) 中野政身: 振動制御系への電磁レオロジー流体の応用, *日本ロボット学会誌*, Vol.31, No.5, pp.452-456 (2013)
- 26) 村上貴裕, 酒井理哉, 中野政身: 変位と速度に応じて減衰特性の変化するパッシブ式 MR ダンパの開発, *日本機械学会論文集 (C 編)*, Vol.77, No.774, pp.257-269 (2011)
- 27) Nakano, M., Totsuka, A., Inaba, T., Fukukita, A.: Damping Properties of Seismic Linear Motion Damper with MR Fluid Composite Rotary Brake, *Proceedings of the 9<sup>th</sup> JFPS International Symposium on Fluid Power*, Matsue, Japan, Paper No.2A3-1, pp.550-555 (2014)
- 28) 中野政身, 熊坂利治, 工藤亮介: MR 流体コンポジットブレーキの開発とそのコイル巻線用線材張力制御装置への応用, *日本機械学会論文集 (B 編)*, Vol.75, No.753, pp.993-999 (2009)
- 29) 引地雄一, 中野政身, 鈴木貴詞: MR-SPCOM (MR fluid brake-Stance Phase Controlled by Optional Motion) 大腿義足膝継手の開発と歩行・動作解析, *日本義肢装具学会誌 (原著研究論文)*, Vol.31, No.1 (通巻 No.152), pp.45-51 (2015)
- 30) 引地雄一, 中野政身: 小型 MR 流体ブレーキ膝継手を用いた随意制御大腿義足の開発, *フルードパワーシステム*, Vol.44, No.6, pp.344-346 (2013)
- 31) 中野政身, 古川仁, 辻道善治: 超小型 EV 向け MR 流体ブレーキの開発, *フルードパワーシステム*, Vol.47, No.6, pp.275-278 (2016)
- 32) Nakano, H., Nakano, M.: Active Loading Machine using MR Fluid Clutch for Leg Rehabilitation System, *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, Vol.38, No.1-4, pp.463-469 (2012)
- 33) Nakano, H., Nakano, M.: Evaluation and Training System of Muscle Strength for Leg Rehabilitation Utilizing an

MR Fluid Active Loading Machine, Springer-Verlag as Vol.92 of the Springer STAR series (*Field and Service Robotics*, Springer Tracts in Advanced Robotics Vol.92), pp.191-203 (2014)

- 34) 中野政身：パワーアシスト用 MR 流体アクチュエータ，油空圧技術，Vo.54, No.3, pp.34-39 (2015)
- 35) Nakano, M., Koyama, K. eds. : *Electro-Rheological Fluids, Magneto-Rheological Suspensions and their Applications*, World Scientific, p.893 (1998)
- 36) 中野政身：機能性流体の研究開発と実用化の動向，フルードパワーシステム「特集号：機能性流体を活用したフルードパワー技術の実用化最前線」，Vol.47, No.6, pp.265-271 (2016)

### 著者紹介



なかの まさみ

中野 政身君

1982年早稲田大学大学院機械工学専攻博士後期課程修了。1981年早稲田大学助手，1982年山形大学助手，助教授を経て，1997年同教授，2008年東北大学教授，現在に至る。機能性流体，流体関連振動・騒音，振動制御などに関わる知能流体制御システム工学に従事。日本フルードパワーシステム学会（理事），日本機械学会（フェロー），計測自動制御学会などの会員。工学博士。

E-mail: m-nakano@fmail.ifs.tohoku.ac.jp

URL: [http://www.ifs.tohoku.ac.jp/jpn/crfrd\\_ifcsl.html](http://www.ifs.tohoku.ac.jp/jpn/crfrd_ifcsl.html)

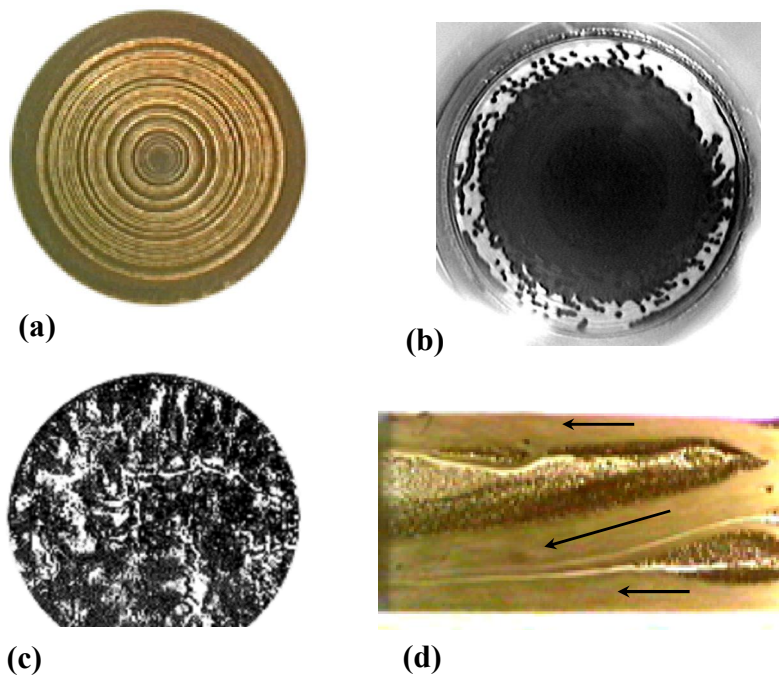
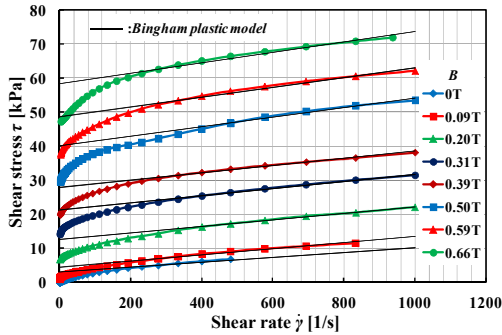
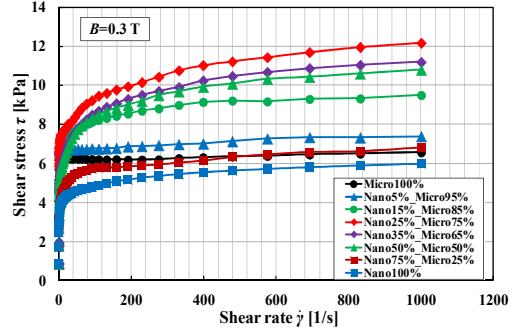


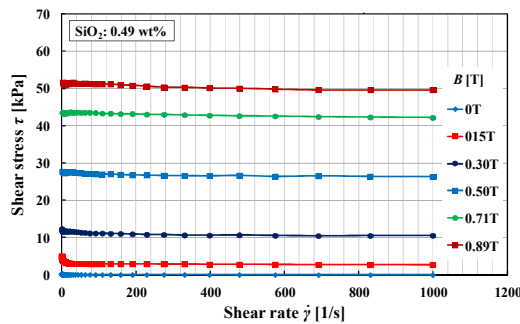
図1 各種流れ場における ER/MR 流体の流動パターン。(a) 粒子分散系 ER 流体の回転並行円盤間せん断流れの多層円環状パターン。(b)MR 流体の回転並行円盤間せん断流れの遠心力による分散粒子群の放射状流出パターン。(c) 粒子分散系 ER 流体の平行円盤間スクイーズ振動流れにおける相分離構造。(d)粒子分散系 ER 流体の平行平板間圧力流れにおける非一様流れ。注) すべての写真で電場や磁場は紙面に垂直に印加。



(a)高粘度 MR 流体の流動曲線(塑性粘度が MR 流体の基底粘度及び印加磁場によって変化)

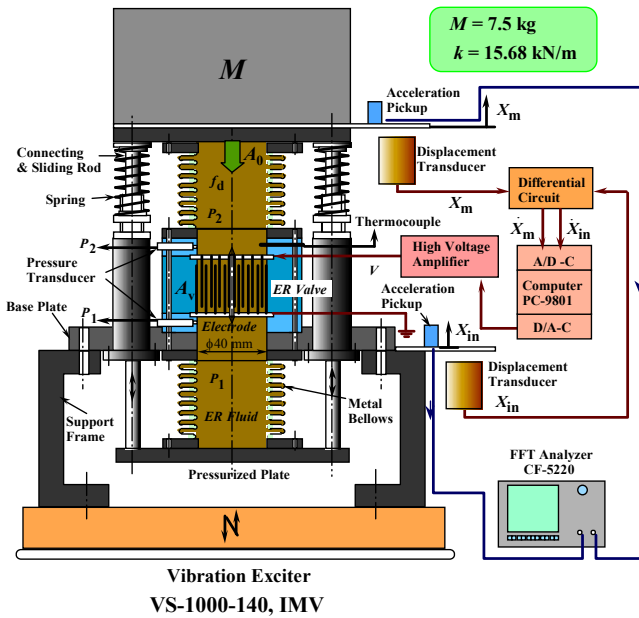


(b)マイクロ・ナノ粒子混合 MR 流体の流動曲線 (Nano25%-Micro75%の混合比の場合に MR 効果最大)

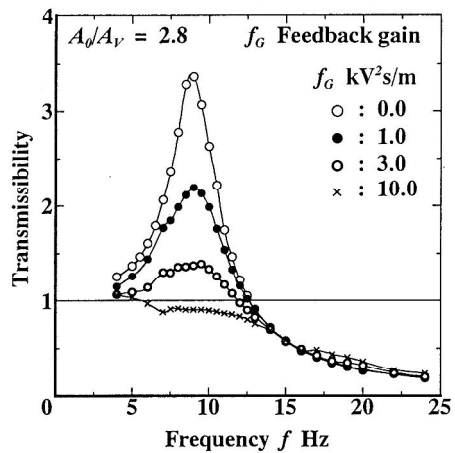
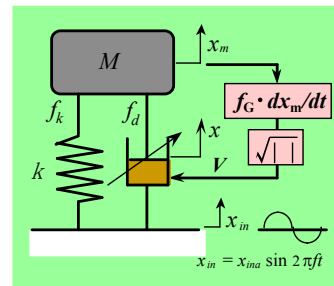


(c)ドライ MR 流体の流動曲線(SiO<sub>2</sub>=0.5 wt%添加)

図 2 新規に創製した 3 種の MR 流体の磁気レオロジー特性



(a)拮抗型ベローズ ER 流体ダンパからなる除振脚モデルとその振動制御系



(b)非線形スカイフック制御系とそれを適用した除振脚モデルの振動制御性能

図3 粒子分散系 ER 流体を用いた拮抗型ベローズ減衰力可変ダンパからなる除振脚モデルと振動制御

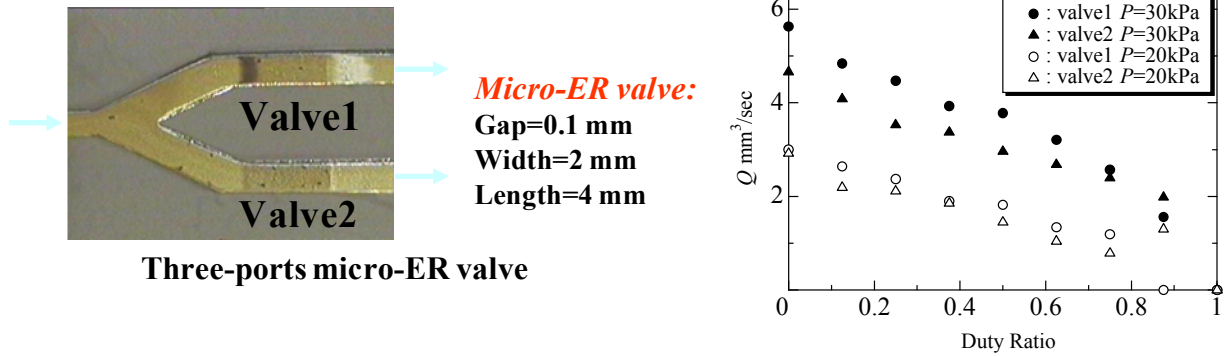
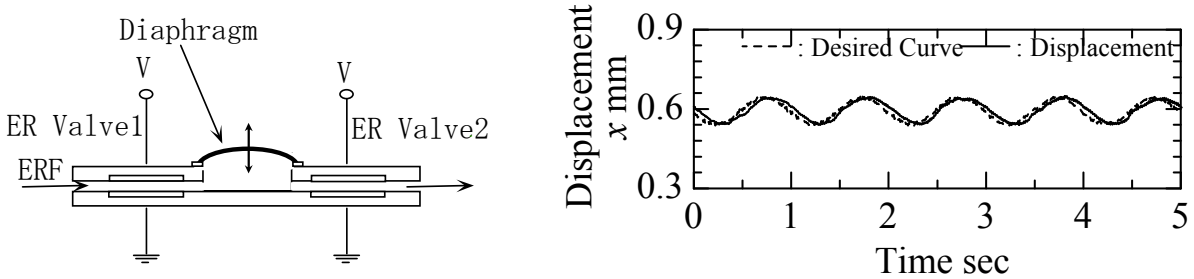
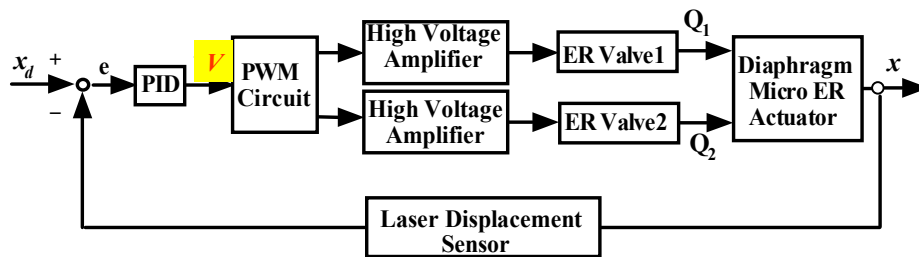


図4 粒子分散系 ER 流体 3 ポートマイクロバルブの PWM 制御による流量制御特性



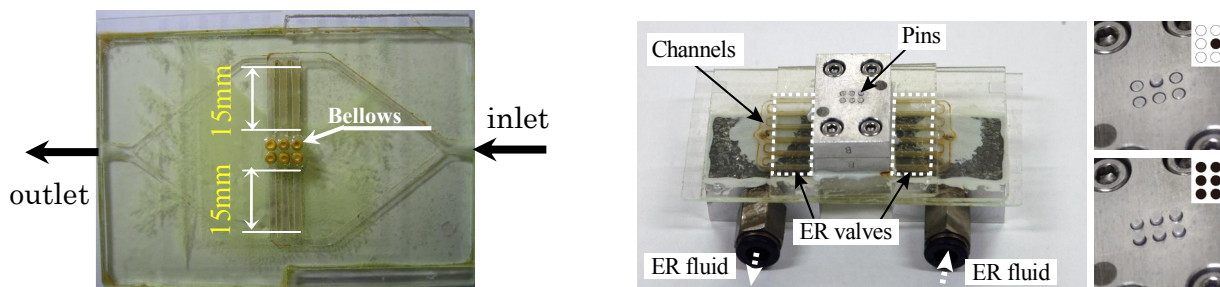
(a)3 ポートダイアフラム型 ER アクチュエータ

(c)ER アクチュエータの位置フィードバック制御の例



(b)ER アクチュエータの PWM バルブ制御による PID 位置フィードバック制御系

図5 3 ポートダイアフラム型 ER アクチュエータの PWM 連続流量制御による位置フィードバック制御



(a)マイクロベローズ ER アクチュエータを用いた点字表示システム

(b)ダイアフラム ER アクチュエータを用いた点字表示システム



図6 6個の触知ピンをもつ粒子分散系 ER 流体駆動点字表示システム

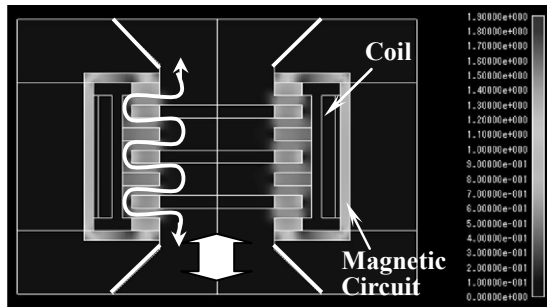


図7 拮抗型ベローズ MR 流体ダンパのジグザグ流路をもつ MR 流体バルブとその磁場解析による磁束密度分布（印加電流  $I=1.0\text{ A}$ ）

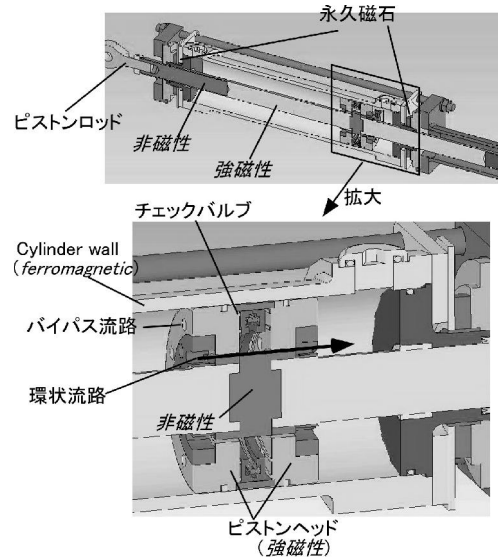
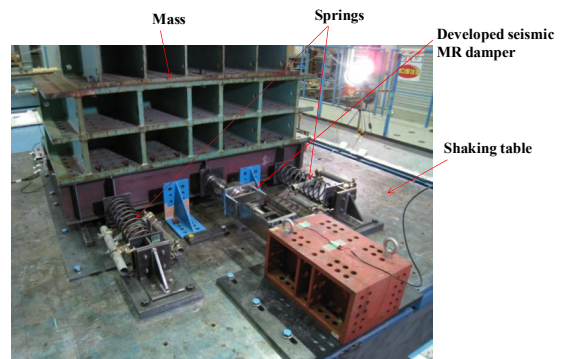
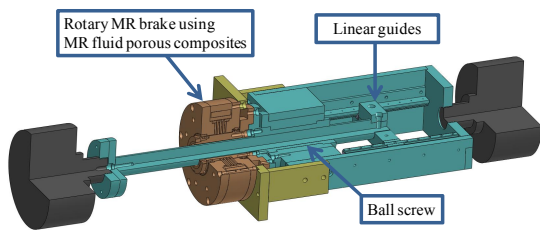


図8 変位×速度依存型パッシブ式 MR 流体ダンパの構造



(a) MR 流体コンポジット回転型ブレーキを用いた直動型免震・制振用ダンパ (b) MR 流体コンポジットブレーキを用いた直動型ダンパの振動台免震試験時の設置状況

図9 MR 流体コンポジット回転型ブレーキを用いた直動型可変減衰力免震・制振用ダンパ

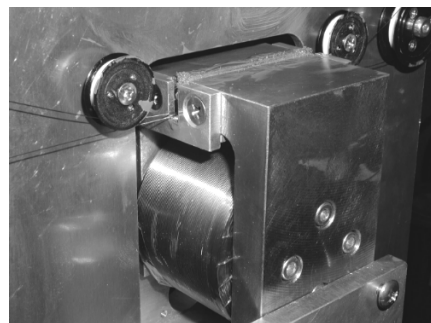
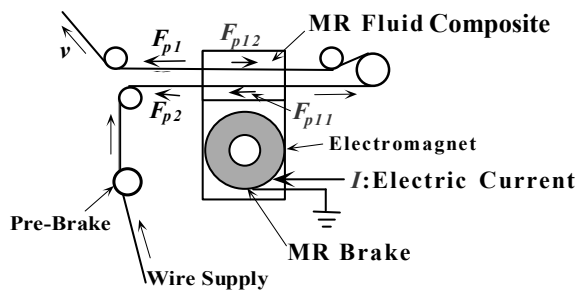
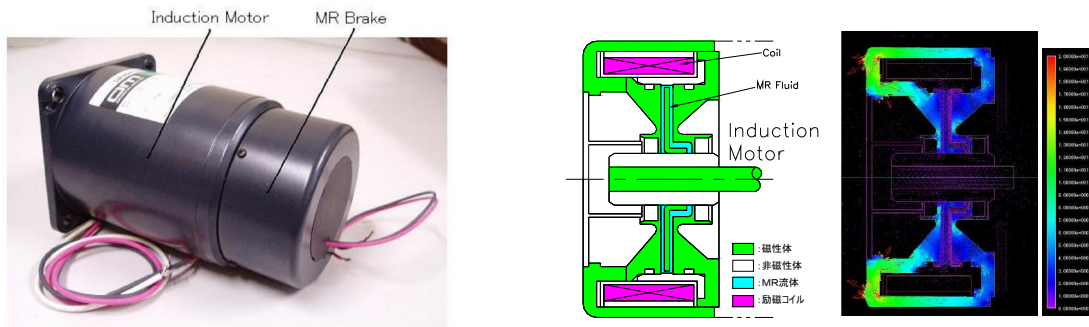
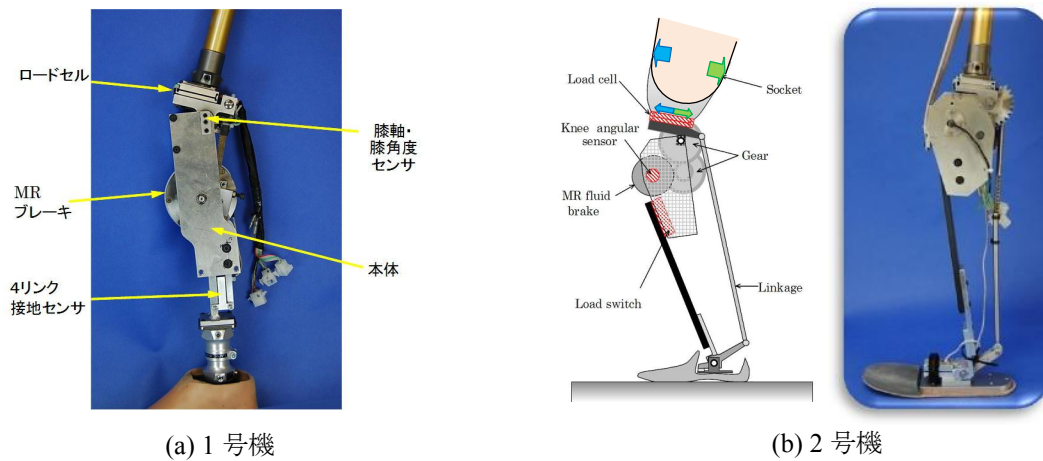


図10 コイル巻線張力制御装置用に開発された MR 流体コンポジットブレーキ



(a) MR 流体電磁ブレーキ付きモータの外観 (b) MR 流体電磁ブレーキと磁場解析結果

図 1.1 開発した励磁作動型 MR 流体電磁ブレーキ付きインダクションモータ



(a) 1号機

(b) 2号機

図 1.2 開発した小型多盤型 MR 流体ブレーキ膝継手を活用した MR-SPCOM 大腿義足

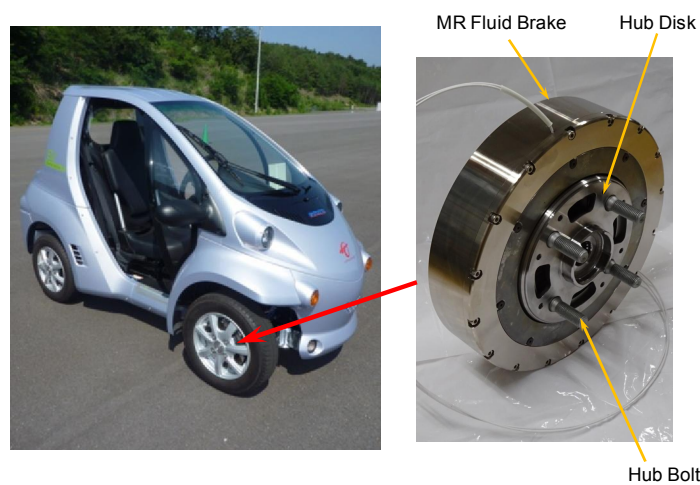


図 1.3 開発した車両用 MR 流体ブレーキと超小型 EV への搭載

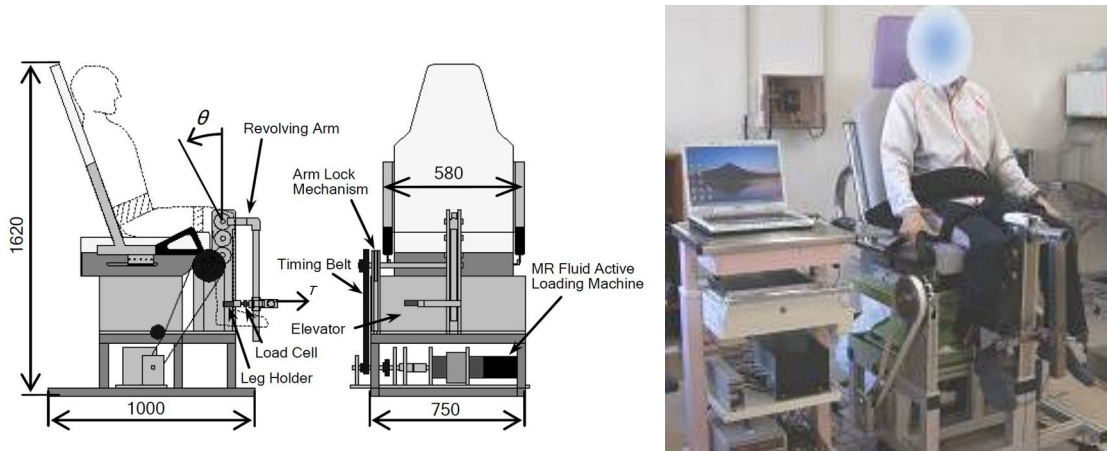


図 1 4 モータ・MR 流体クラッチからなるアクティブ負荷機を活用した下肢リハビリ用筋力評価・訓練システム

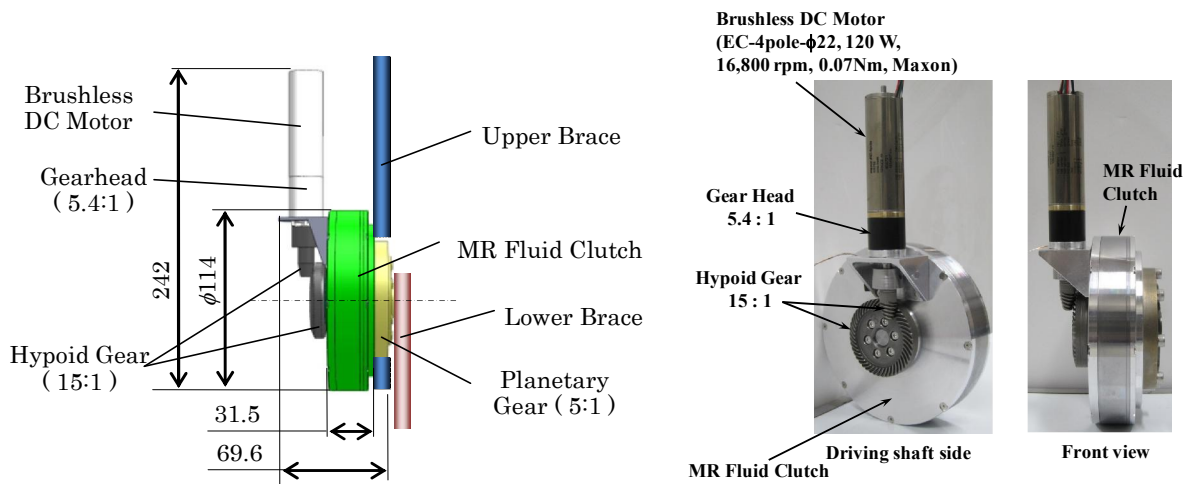


図 1 5 下肢装着型パワーアシスト装具用のサーボモータと多盤型 MR 流体クラッチそして各種減速機からなる MR 流体アクチュエータ