

## 解 説

## 油圧分野のフルードパワーシーズ\*

山田宏尚\*\*

\* 平成 15 年 6 月 17 日原稿受付

\*\* 岐阜大学 工学部, 〒501-1193 岐阜市柳戸 1 - 1

## 1 はじめに

本稿では、アンケートの結果に基づき、油圧分野におけるフルードパワーシーズについて述べる。油圧分野に関しては 19 の機関から、35 件のシーズが寄せられた。そのシーズの範囲は基礎的な研究から応用研究までときわめて幅が広い。ここでは、共同研究を希望される企業の方々にとって少しでも興味のある分野を見つけやすいように、これらのシーズを 油圧要素・システム、解析・シミュレーション、制御手法の 3 つのカテゴリに分類してみた。以下では、それぞれのシーズの内容について概要を見ていくことにする。

## 2. 油圧要素・システムに関するシーズ

油圧要素・システムの分野には 18 件のシーズが寄せられている。これらを (a) 新しいシステムの開発、(b) 油圧要素の開発、(c) 低騒音化、(d) その他の 4 つの項に分類して見ていくことにする。

## (a) 新しいシステムの開発

新しいシステムの開発に関しては、9 件のシーズがある。まず、「**油圧シリンダの知能化に関する研究**(ID: 3)」では、超音波センサを用いてシリンダの位置・速度・力制御や、作動油の劣化の評価が行えるシステムの開発を行っている。次に、「**Brake-by-wire 油圧システム**(ID: 7)」では、高機能で信頼性の高い鉄道車両用の機械式ブレーキを実現するシステムを開発している。「**位置・力制御油圧シリンダ**(ID: 8)」では、片口シリンダと制御弁を一体化し、機械的フィードバックによって入力用ステッピングモータ本体を回転することによりコンプライアンス(柔らかさ)制御が可能なシリンダを開発している。「**定圧力源油圧駆動システム(CPS)**(ID: 9)」では、エネルギー蓄積装置としてフライホイールを用いた省エネルギー CPS ハイブリッドカーや、油圧プレスなどへの応用を念頭にしたトランスフォーマを用いたシリンダの駆動の検討を行っている。「**ダイレクトドライブ流量制御油圧システム**(ID: 12)」では、油圧システムの小型化および省エネルギーを目的に、サーボモータ駆動の可逆転油圧ポンプとアクチュエータを直結するシステムを開発し、利用技術確立のための研究を進めている。「**油撃を利用する増圧装置**(ID: 17)」では、油撃により高圧が発生する現象を利用して増圧装置を開発し、これを利用した油圧モータの制御を行っている。「**油中気泡の除去による油圧システムのタンクの小型化**(ID: 19)」では、油中気泡の除去装置を用いて油温の上昇が抑制できることを利用し、移動型油圧システムにおけるタンクの小型化を実現している。「**高速 ON/OFF 電磁弁を用いた油圧式精密駆動システム**(ID: 32)」では、4 個の高速 ON/OFF 電磁弁によってデジタル制御される A4 版サイズの油圧式小形テーブル駆動システムを開発している。「**油圧制御システムのパーチャルリアリティへの応用**(ID: 33)」では、遠隔操作・臨場感提示建設ロボット、VR を応用した車椅子シミュレータ、6 軸パラレルメカニズムを用いた力覚提示ディスプレイシステムなどの開発を行っている。

## (b) 油圧要素の開発

油圧要素の開発に関しては、アクチュエータに関するシーズが 1 件、弁の開発に関するシーズが 2 件ある。まず、「**流体制御用電磁アクチュエータ(電磁式および超磁歪)**(ID: 27)」では、流体制御機器用の電磁アクチュエータについて、FEM 磁場解析、可動部の動特性解析を駆使して、発生力、応答性など各種要求仕様に着目した設計最適化を行っている。「**電子油圧/空気圧制御弁、燃料噴射弁の設計と開発**(ID: 29)」では、磁場解析と流体工学解析による電子油圧/空気圧制御弁、デーゼルエンジン用及び、代替燃料用インジェクタの

設計と開発を行っている。「*PZT素子を用いた高速デジタル弁の開発* (ID: 35)」では、積層型PZT素子やバイモルフ型PZT素子を用いPWM制御によりオンオフ駆動するデジタル弁の高速化を図っている。

#### (c) 低騒音化

弁の低騒音化については1件、ポンプの低騒音化については2件のシーズがある。まず、「*低騒音な油圧制御弁の開発* (ID: 11)」では、渦法による三次元流れ解析用プログラムと実験的な可視解析手法を用いて、キャビテーション現象や弁の振動・騒音の現状を捉え、環境に良い制御弁の開発設計を行っている。「*低騒音油圧ポンプの開発* (ID: 21)」では、油圧ポンプの脈動源特性のシミュレーションプログラム、油圧ポンプの脈動源特性の計測法、油圧ポンプに起因する管内圧力脈動解析用シミュレーションパッケージ、FEM/BEMによるポンプ騒音の推定法、油圧ポンプ騒音の音質改善法などの開発を行っている。「*アキシャルピストンポンプの騒音低減* (ID: 30)」では、吐出シリンダ内の圧力変動に基づく加振力に着目し、傾転角制御用シリンダを利用してアクティブに制振することにより騒音の低減を図っている。

#### (d) その他

上記以外のシーズとして、「*作動油の浄化に関する研究* (ID: 2)」では、作動油のリサイクルやフィルタを使用せずにリアルタイムで作動油を浄化することを目的として、微弱電流による浄化装置を設計製作し実験的研究を行っている。また、「*駆動方式(油圧, 水圧, 電動)の棲み分け* (ID: 10)」では、射出成形機の消費動力に着目し、どのような条件のときにどの駆動方式(油圧, 水圧, 電動)が適しているのかを実験およびシミュレーションにより検討している。「*薄膜センサーの開発* (ID: 16)」では、転がり軸受や歯車など高面圧用に開発された薄膜マンガニンセンサーを元に、すべり軸受のような低い圧力でも感度良く測定出来る圧力センサーを開発している。

### 3. 解析・シミュレーションに関するシーズ

解析・シミュレーションに関する分野には11件のシーズが寄せられている。以下では、これらを(a)シミュレーション、(b)解析、(c)設計・同定の3つの項に分類して見ていくことにする。

#### (a) シミュレーション

シミュレーションに関しては、4件のシーズがある。まず「*負荷反力の動的シミュレータ* (ID: 14)」では、振動杭打ち機などのように負荷により性能が変わるシステムを製作段階でテストするための油圧サーボ装置を提供している。これは、反力が数10~数100トン級の大出力駆動機械の性能テスト装置のニーズに応えることができる。「*液体管路系の動特性シミュレーションのためのブロック線図表示法* (ID: 18)」では、液体管路系の動特性を求めるための計算過程を離散時間型の1つのブロック線図で表示し、パソコンのディスプレイ上にブロック線図を書くことにより、高精度のシミュレーション結果が得られるツールを開発している。「*油圧回路のシミュレーション* (ID: 26)」では、油圧回路における圧力や流量などの変化を予測できる数値シミュレーションを開発している。これは、サージ圧や油温変動などの解析にも対応できる。「*管路内流体の圧力脈動の動特性シミュレーション技術* (ID: 31)」では、油圧管路(剛体壁管路, ゴムホース), 燃料噴射系, インクジェットプリンタ他に適用できる管路内流体の分布定数系モデルに基づく圧力脈動の高速・高精度な時間応答シミュレーションパッケージを開発している。

#### (b) 解析

油圧システムの解析に関しては、5件のシーズがある。まず、「*制御弁の流動解析ソフトウェア* (ID: 4)」では、複雑な弁形状や、数値安定性に優れるサーボ弁内の三次元非定常流動解析ソフトを開発している。流体騒音や振動に対する最適な弁形状の設計等を行うことが可能である。「*複合管路内の流体過渡現象解析用ソフトウェア* (ID: 20)」では、複合管路内の流体過渡現象を高速・高精度で予測できる“SMA法”と呼ぶ汎用的な数値計算法を開発しており、今後は、空気圧配管系, エンジンの燃料配管系や吸・排気管路系, 各種流体輸送管路などの分野への適用を計画している。「*直動型ポペット弁回路の安定性解析* (ID: 5)」では、ポペット弁と管路を組み合わせたシステムを例に、管路の存在が回路の安定性に与える影響を調べている。また、アキュムレータによる制振の効果を調べている。「*ベーンポンプの内部挙動* (ID: 25)」では、ベーンポンプ内のシングルベーンやデュアルベーンの挙動とポンプ室圧力の関連を理論的かつ実験的

に解明している。また、カムリングとベーンの離間を抑制する二つの手法を提案し、ポンプの高効率化・低騒音化を図っている。「**油圧システムの回路設計と動特性解析**(ID: 36)」では、OHC-Sim, Mr.Bond, 20Sim等を利用しフルードパワーシステムのモデリングと動特性シミュレーション、回路設計手法の開発を行っている。また、回路内の熱発生・熱移動を伴う油圧システムの動解析と回路設計をも手がけている。

#### (c) 設計・同定

油圧システムの設計・同定に関しては、2件のシイズがある。まず、「**油圧機器の最適化設計**(ID: 22)」では、指定された制約条件の下で指定された目的関数を最小にするように機器の設計変数を探索する最適化設計法の研究を行っている。自動車パワーステアリング用レゾネータホース、多段ヘルムホルツ形共鳴器、可変共振モード形サイドブランチなどの脈動吸収器の最適化設計を行い、工業的有用性を検証している。また、「**自励振動法による油圧サーボシステムの同定**(ID: 23)」では、伝達関数を実験的に明らかにするため、バンバン制御系を構成し2次遅れ近似伝達関数を同定する方法を提案している。この手法は、計測周波数特性から二次遅れ近似伝達関数を求める方法に比べ著しく簡単に油圧機器以外にも適用できる。

### 4. 制御手法に関するシイズ

制御手法に関するシイズは、以下の6件がある。まず、「**一般産業用油圧サーボ系へのロバスト制御理論応用に関する研究**(ID: 1)」では、電気・油圧サーボ機構を一般産業用油圧機器、特に油圧式バックホーや活線工事用マニピュレータへ応用するにあたり、スライディングモード変調法(SMC 変調法)を適用することで、シリンダ駆動力の安定性向上を実現している。「**油圧サーボパラレルリンク機構の制御**(ID: 13)」では、大パワー・多自由度運動が実現できる油圧サーボパラレルリンク機構について、複数のアクチュエータ間の運動の相互干渉を解析する手法を提供している。「**複数の偏芯回転体の回転速度と回転角位相の同時制御**(ID: 15)」では、4個の偏芯回転体を回転させて加振力を発生させる振動杭打ち機を想定し、振動する複数の偏芯回転体の同時制御を油圧制御により実現する方法を提供している。「**油圧サーボアクチュエータのニューラルネット制御**(ID: 24)」では、帰還回路にNN補償器を置く油圧サーボ系に関して、規範モデルによる適応制御システムを提案し、負荷外乱やパラメータ変動に対してロバスト性が十分あることを確認している。「**電子油圧によるモーションコントロール**(ID: 28)」では、油圧アクチュエータ、制御弁、電気・流体のインターフェースとなる電磁アクチュエータ、各種センサー、および制御法を統合した電子油圧制御システムとモーションコントロールに関する研究を行っている。「**油圧システムへの各種制御手法の適用**(ID: 34)」では、油圧サーボシステム等に対し、現代制御、H<sub>∞</sub>制御、スライディングモード制御、予見制御、予測制御、ファジー・ニューロ制御等を適用している。

### 5. おわりに

以上で見てきたように、油圧分野において非常に多様なシイズがあることがわかる。これらのシイズリストを見られた企業の方で、もし興味のある研究が見つかったら、メール等を活用して積極的に共同研究の可能性について打診されてはいかがだろうか。希望にぴったり合うシイズが見つからなかったとしても、希望の分野に近い研究を実施している研究室であれば、共同研究につながる可能性もあり得ると思われる。

#### 著者紹介



やまだひろなお

山田宏尚君

1962年10月2日生まれ。

1991年名古屋大学大学院 博士課程修了、名古屋大学工学部講師を経て1994年より岐阜大学工学部 助教授。油圧制御、VR、画像処理工学などの研究に従事。日本フルードパワーシステム学会、日本機械学会、計測自動制御学会などの会員。工学博士。

email:yamada@cc.gifu-u.ac.jp

URL: <http://mech.gifu-u.ac.jp/~mutolab/yamada/>

ID	タイトル	機関名	研究担当者	TEL & FAX	email & home page
1	一般産業用油圧サーボ系へのロバスト制御理論応用に関する研究	秋田大学総合情報処理センター	佐々木芳宏	018-889-2885 018-889-3381	sasaki1@ipc.akita-u.ac.jp http://www.mech.akita-u.ac.jp/
2	作動油の浄化に関する研究	秋田県立大学システム科学技術学部	高橋義雄	0184-27-2113 0184-27-2188	yoshio_takahashi@akita-pu.ac.jp
3	油圧シリンダの知能化に関する研究	秋田県立大学システム科学技術学部	高橋義雄	0184-27-2113 0184-27-2188	yoshio_takahashi@akita-pu.ac.jp
4	制御弁の流動解析ソフトウェア	東北大学流体科学研究所	早瀬敏幸	022-217-5253 022-217-5253	hayase@ifs.tohoku.ac.jp http://revnolds.ifs.tohoku.ac.jp/
5	直動型ボット弁回路の安定性解析	東北大学流体科学研究所	白井 敦	022-217-5254 022-217-5311	shirai@ifs.tohoku.ac.jp http://revnolds.ifs.tohoku.ac.jp/
7	Brake-by-wire 油圧システム	東京工業大学大学院 理工学研究科機械制御システム専攻	北川 能	03-5734-2550 03-5734-2550	kitagawa@ctrl.titech.ac.jp http://www.ctrl.titech.ac.jp/ctrl-labs/kitagawa-lab/
8	位置・力制御油圧シリンダ	東京工業大学大学院 理工学研究科機械制御システム専攻	北川 能	03-5734-2550 03-5734-2550	kitagawa@ctrl.titech.ac.jp http://www.ctrl.titech.ac.jp/ctrl-labs/kitagawa-lab/
9	定圧力源油圧駆動システム(CPS)	上智大学理工学部機械工学科	池尾 茂	03-3238-3302 03-3238-3311	s_ikeo@sophia.ac.jp http://www.me.sophia.ac.jp/fluid/ikeo.htm
10	駆動方式(油圧, 水圧, 電動)の棲み分け	上智大学理工学部機械工学科	池尾 茂	03-3238-3302 03-3238-3311	s_ikeo@sophia.ac.jp http://www.me.sophia.ac.jp/fluid/ikeo.htm
11	低騒音油圧制御弁の開発	上智大学理工学部機械工学科	築地徹浩	03-3238-3818 03-3238-3311	t-tukiji@sophia.ac.jp http://www.me.sophia.ac.jp/fluid/tsukiji.htm
12	ダイレクトドライブ流量制御油圧システム	東京商船大学交通電子機械工学課程	伊藤雅則	03-5245-7426 03-5245-7426	itom@ipc.tosho-u.ac.jp http://www.ipc.tosho-u.ac.jp/
13	油圧サーボパラレルリンク機構の制御	武蔵工業大学工学部機械システム工学科	佐藤三祿	03-5707-2168 03-5707-2168	sansato@eng.musashi-tech.ac.jp
14	負荷反力の動的シミュレータ	武蔵工業大学工学部機械システム工学科	佐藤三祿	03-5707-2168 03-5707-2168	sansato@eng.musashi-tech.ac.jp
15	複数の偏芯回転体の回転速度と回転角位相の同時制御	武蔵工業大学工学部機械システム工学科	佐藤三祿	03-5707-2168 03-5707-2168	sansato@eng.musashi-tech.ac.jp
16	薄膜センサーの開発	武蔵工業大学機械工学科	三原雄司	03-3703-3111 (2569) 03-3704-7675	ymihara@eng.musashi-tech.ac.jp http://www.eng.me.musashi-tech.ac.jp
17	油撃を利用する増圧装置	武蔵工業大学機械システム工学科	鈴木勝正	03-3703-3111 03-5707-1151	ksuzuki@eng.musashi-tech.ac.jp http://www.musashi-tech.ac.jp/
18	液体管路系の動特性シミュレーションのためのブロック線図表示法	武蔵工業大学機械システム工学科	鈴木勝正	03-3703-3111 03-5707-1151	ksuzuki@eng.musashi-tech.ac.jp http://www.musashi-tech.ac.jp/
19	油中気泡の除去による油圧システムのタンクの小型化	法政大学工学部機械工学科	田中豊	042-387-6111 042-387-6121	y_tanaka@k.hosei.ac.jp http://www.vrq.k.hosei.ac.jp/
20	複合管路内の流体過渡現象解析用ソフトウェア	神奈川大学工学部機械工学科	小嶋英一	045-481-5661 045-481-5122	kojime01@kanagawa-u.ac.jp
21	低騒音油圧ポンプの開発	神奈川大学工学部機械工学科	小嶋英一	045-481-5661 045-481-5122	kojime01@kanagawa-u.ac.jp
22	油圧機器の最適化設計	神奈川大学工学部機械工学科	小嶋英一	045-481-5661 045-481-5122	kojime01@kanagawa-u.ac.jp
23	自動振動法による油圧サーボシステムの同定	防衛大学校システム工学群機械システム工学科	西海孝夫	046-841-3810 (Ext. 3748) 046-844-5900	nishiumi@nda.ac.jp http://www.nda.ac.jp/cc/mechsys/
24	油圧サーボアクチュエータのニューラルネット制御	防衛大学校システム工学群機械システム工学科	西海孝夫	046-841-3810 (Ext. 3748) 046-844-5900	nishiumi@nda.ac.jp http://www.nda.ac.jp/cc/mechsys/
25	ペーンポンプの内部挙動	防衛大学校システム工学群機械システム工学科	西海孝夫	046-841-3810 (Ext. 3748) 046-844-5900	nishiumi@nda.ac.jp http://www.nda.ac.jp/cc/mechsys/
26	油圧回路のシミュレーション	横浜国立大学大学院工学研究院システム統合工学専攻	眞田一志	045-339-3877 045-331-6593	sanada@post.me.ynu.ac.jp http://www.sana.me.ynu.ac.jp
27	流体制御用電磁アクチュエータ(電磁式および超磁歪)	横浜国立大学工学研究院システムの創生部門	佐藤恭一	045-339-3883 045-339-3883	sato@post.me.ynu.ac.jp http://falcon.forest.me.ynu.ac.jp
28	電子油圧によるモーションコントロール	横浜国立大学工学研究院システムの創生部門	佐藤恭一	045-339-3883 045-339-3883	sato@post.me.ynu.ac.jp http://falcon.forest.me.ynu.ac.jp
29	電子油圧/空圧制御弁、燃料噴射弁の設計と開発	横浜国立大学大学院工学研究院システムの創生部門	田中裕久	045-339-3884 045-331-6593	tanaka@post.me.ynu.ac.jp http://www.me.ynu.ac.jp/faculty/system/tanaka/tanaka.html
30	アキシアルピストンポンプの騒音低減	山梨大学大学院医学工学総合研究部	大内英俊	055-220-8449 055-220-8449	ohuchi@yamanashi.ac.jp
31	管路内流体の圧力脈動の動特性シミュレーション技術	岐阜大学工学部人間情報システム工学科	武藤高義	058-293-2543 058-293-2543	muto@cc.gifu-u.ac.jp http://mech.gifu-u.ac.jp/~mutolab/
32	高速ON/OFF電磁弁を用いた油圧式精密駆動システム	岐阜大学工学部人間情報システム工学科	武藤高義	058-293-2543 058-293-2543	muto@cc.gifu-u.ac.jp http://mech.gifu-u.ac.jp/~mutolab/
33	油圧制御システムのバーチャルリアリティへの応用	岐阜大学工学部人間情報システム工学科	山田宏尚	058-293-2544 058-293-2544	yamada@cc.gifu-u.ac.jp http://mech.gifu-u.ac.jp/~mutolab/
34	油圧システムへの各種制御手法の適用	岐阜大学工学部人間情報システム工学科	山田宏尚	058-293-2544 058-293-2544	yamada@cc.gifu-u.ac.jp http://mech.gifu-u.ac.jp/~mutolab/
35	PZT素子を用いた高速デジタル弁の開発	岐阜大学工学部人間情報システム工学科	山田宏尚	058-293-2544 058-293-2544	yamada@cc.gifu-u.ac.jp http://mech.gifu-u.ac.jp/~mutolab/
36	油圧システムの回路設計と動特性解析	九州工業大学情報工学部機械システム工学科	田中和博	0948-29-7783 0948-29-7751	kazuhiro@mse.kyutech.ac.jp