

IFPEX2014 セミナー  
油圧の魅力とその新たな可能性に迫る！

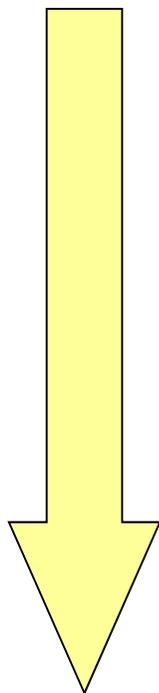
# 油圧の特長と最新事例の紹介

法政大学 デザイン工学部

田中 豊

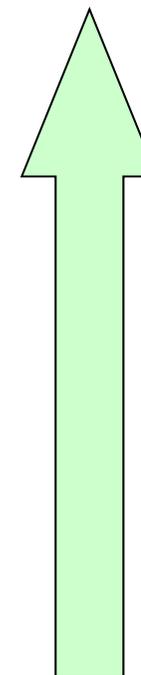
# 油圧の特徴

- 大きな仕事・出力
- 高い出力密度・エネルギー密度
- 高精度・高応答
- 直線駆動と回転駆動
- 制御性
- 要素配置の柔軟性(配管接続)
- 作動油
- 油圧源
- 維持管理
- 効率, 騒音, 油漏れ



短所

長所



Power [kw] 出力

# 分野別液圧アクチュエータの出力と質量



# 油圧と電動

## 油圧アクチュエータ

- 高出力
- 高速応答
- 直線・回転運動



## 電動アクチュエータ

- 経済性
- メンテナンスフリー
- コンタミフリー
- 使いやすさ
- 回転駆動と減速器



# 評価指標

- パワー密度  $P_d = P_r / m$  [W/kg]  
 $P_r$  : 定格出力 [W]  
 $m$  : 質量 [kg]
- トルク慣性比  $T_j = T_r / J_m$  [rad/s<sup>2</sup>]  
 $T_r$  : 定格トルク [Nm]  
 $J_m$  : 慣性モーメント [kgm<sup>2</sup>]
- パワーレート  $Q = T_r^2 / J_m$  [W/s]
- パワーレート密度  $Q_d = Q / m$  [W/(kg·s)]

# トルク慣性比とパワーレート

- 定義

トルク慣性比： 速応性の尺度  
慣性モーメントに対する発生トルクの比

$$T_j = T_r / J_m$$

$T_j$  : Torque-Inertia トルク慣性比 [rad/s<sup>2</sup>]

$T_r$  : Rated torque 定格トルク [Nm]

$J_m$  : Rotational inertia 回転子慣性モーメント [kgm<sup>2</sup>]

パワーレート： 減速比に無関係な真の加減速性能（速応性の尺度）  
慣性モーメントに対する発生トルクの二乗の比

$$P_r = T_r^2 / J_m$$

$P_r$  : Power rate パワーレート [W/s]

$T_r$  : Rated torque 定格トルク [Nm]

$J_m$  : Rotational inertia 回転子慣性モーメント [kgm<sup>2</sup>]

# トルク慣性比とパワーレートの違い

- どちらも応答性の尺度
- トルク慣性比は減速装置に依存する
- **パワーレートは減速装置に依存しない**

Motor

$J_m$  : モータの等価慣性モーメント

$T_m$  : モータ出力トルク

$\theta_m$  : 角度 (駆動側)

Driven load

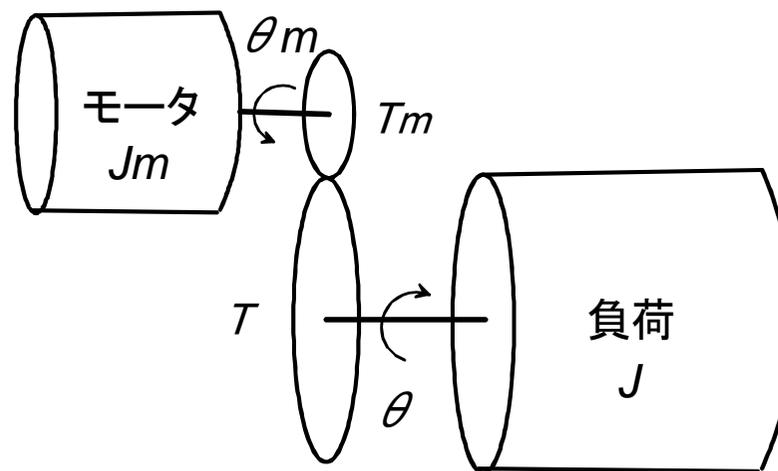
$J$  : 負荷の等価慣性モーメント

$T$  : 減速器の出力トルク

$\theta$  : 角度 (負荷側)

$\gamma$  : 減速比 ( $\gamma < 1$ )

$$T/J = \gamma (T_m/J_m), \quad T^2/J = T_m^2/J_m$$



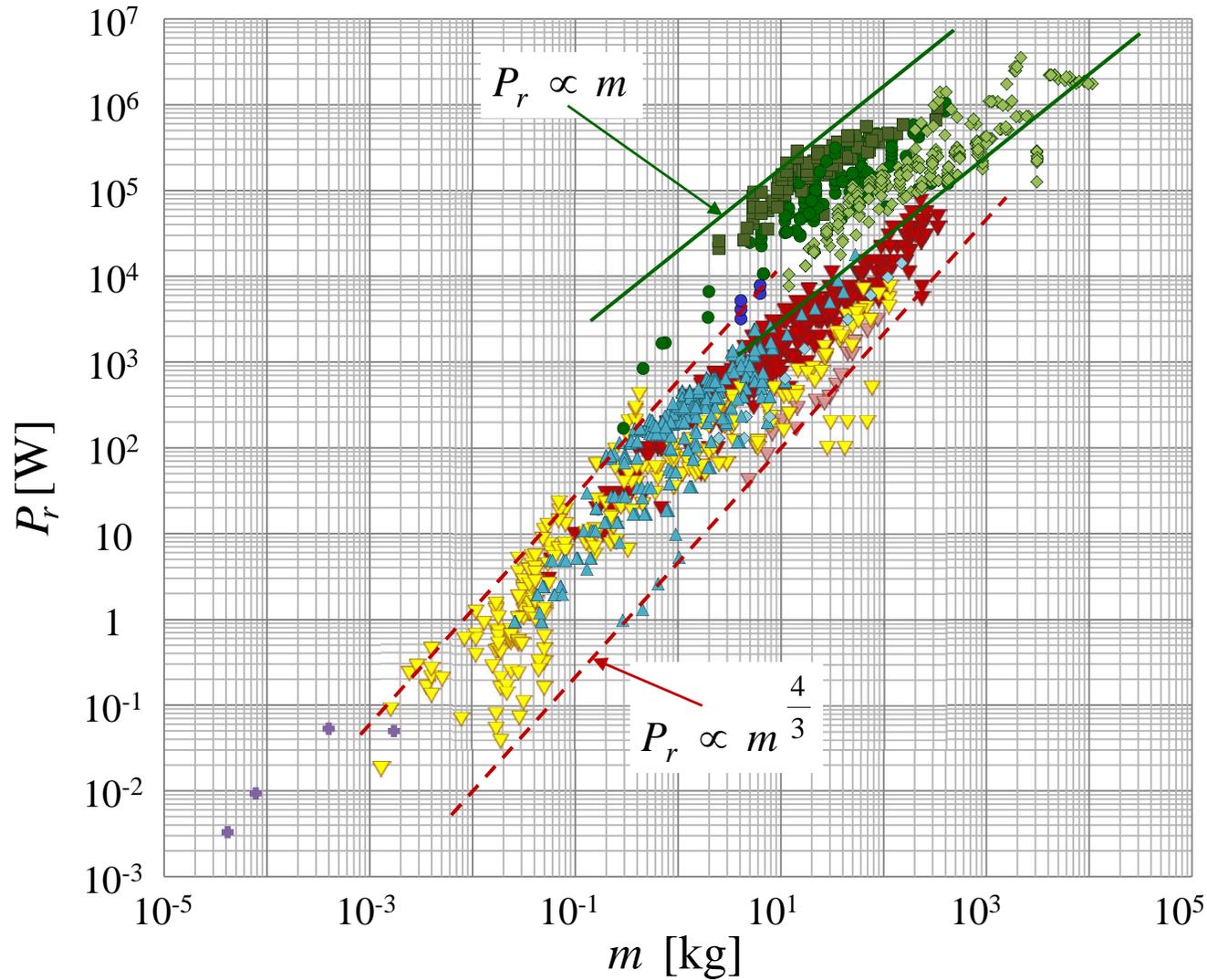
# 調査研究対象

- AC サーボモータ: 756 機種 (6 社)
- DC サーボモータ: 259 機種 (3 社)
- 合計 1015 機種
- 油圧ピストンモータ: 474 機種 (11 社)



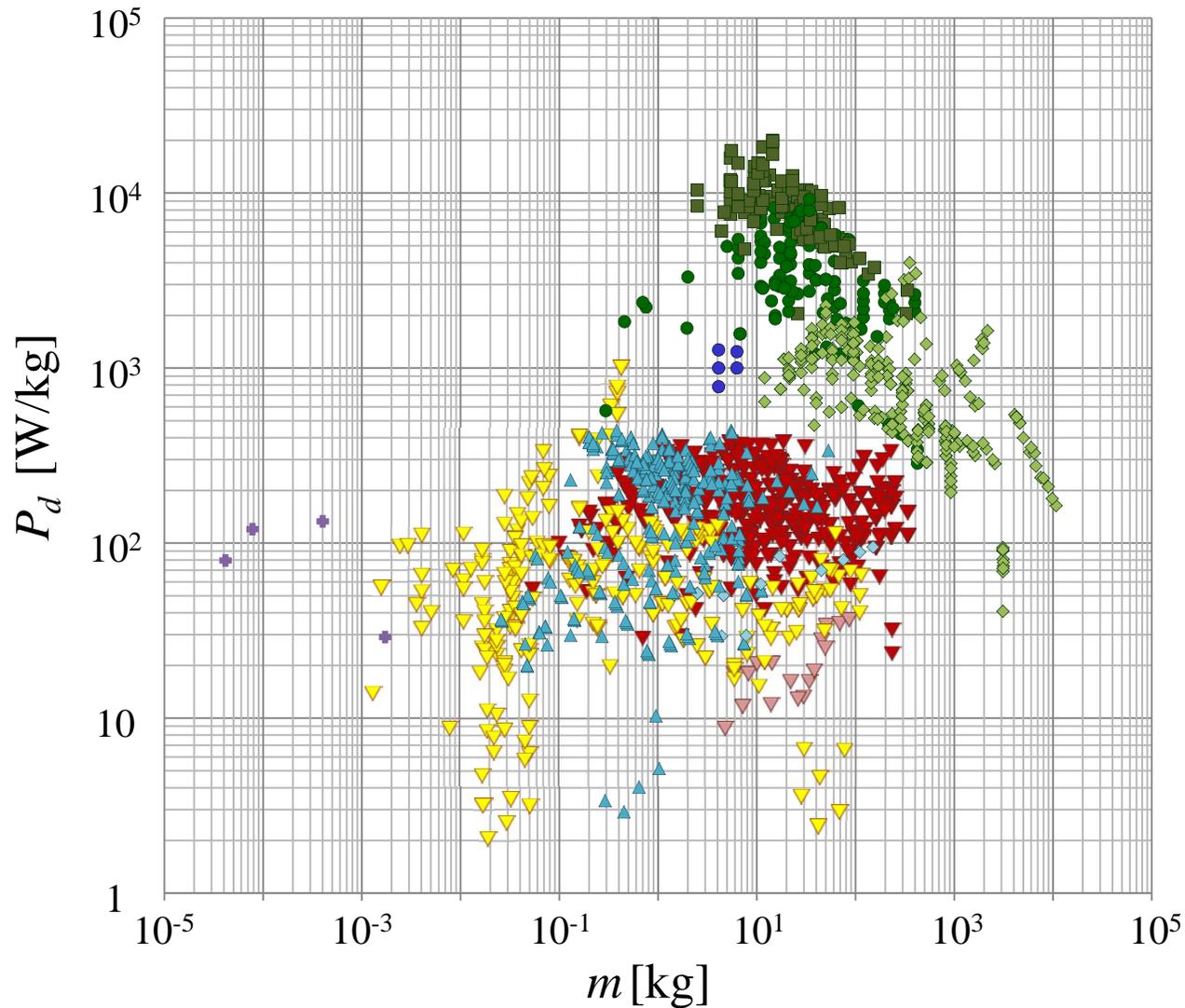
- 空気圧モータ: 477 機種 (6 社)
- 水圧ピストンモータ: 6 機種 (2 社)
- ECF マイクロポンプモータ: 4 モデル (東工大・横田研究室)

# 定格出力と自重



Symbol	Type
▼	AC
▽	AC-Direct
▼	DC
●	Oil Swash plate piston
■	Oil Bent axis piston
◆	Oil Radial piston
▲	Air Vane
◇	Air Radial piston
●	Water Swash plate piston
+	ECF

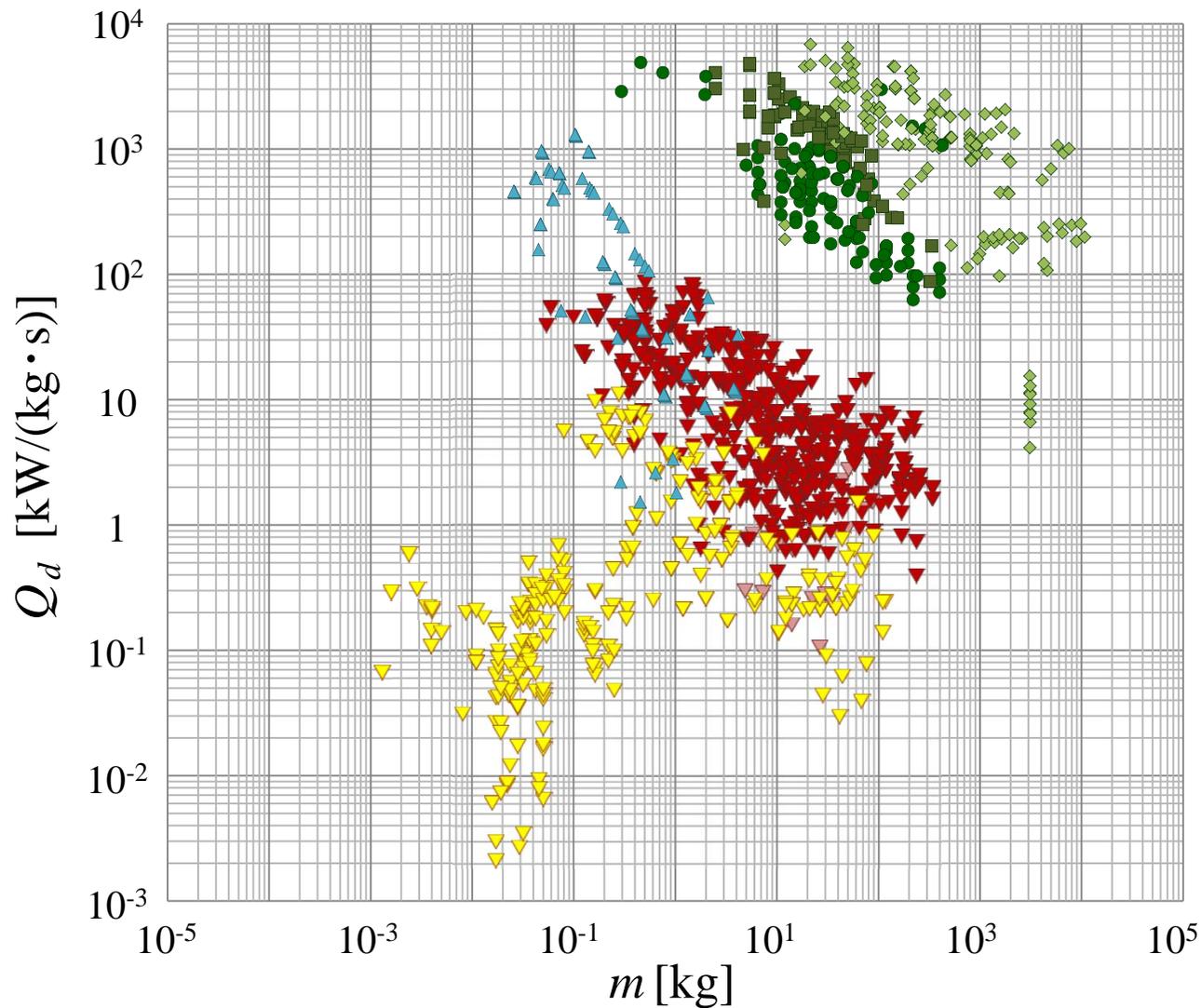
# パワー密度



$$P_d = P_r / m$$

Sym bol	Type
▼	AC
▼	AC-Direct
▼	DC
●	Oil Swash plate piston
■	Oil Bent axis piston
◆	Oil Radial piston
▲	Air Vane
◆	Air Radial piston
●	Water Swash plate piston
+	ECF

# パワーレート密度



$$Q_d = Q / m$$

Sym bol	Type
▼	AC
▾	AC-Direct
▼	DC
●	Oil Swash plate piston
■	Oil Bent axis piston
◆	Oil Radial piston
▲	Air Vane
◆	Air Radial piston
●	Water Swash plate piston
+	ECF

# アクチュエータの比較(まとめ)

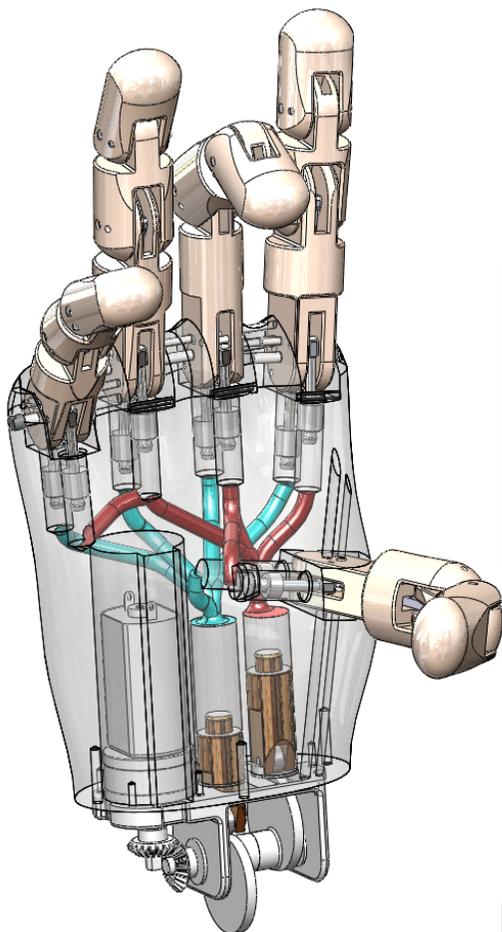
- フルードパワーアクチュエータと電動アクチュエータの特性を比較した.
- 電動アクチュエータの定格トルクは自重の3分の4乗に比例し, フルードパワーアクチュエータの定格トルクは自重に比例する.
- 油圧アクチュエータのパワー密度は電動アクチュエータや空気圧アクチュエータの10倍以上である.
- ECFアクチュエータはマイクロ領域でほかのアクチュエータでは実現できないパワー密度を有する.
- 油圧アクチュエータのパワーレート密度は電動アクチュエータの100倍以上である.
- 空気圧アクチュエータのパワーレート密度は電動アクチュエータの10倍以上である.
- フルードパワーアクチュエータはパワー密度や速応性の観点から, 電動アクチュエータでは実現できない優れたアクチュエータである.

# 革新的な最新事例の紹介

- 材料開発と3Dプリンティング
- エネルギー回生とアキュムレータ技術
- 油圧ハイブリッド建設機械
- デジタル油圧変換器
  
- 全油圧駆動人間型ロボット アトラスの衝撃？
- タフ・ロボティクス・チャレンジ 日本の巻き返し！

# オークリッジ国立研究所 (Oak Ridge National Laboratory: ORNL)

<http://web.ornl.gov/sci/manufacturing/>



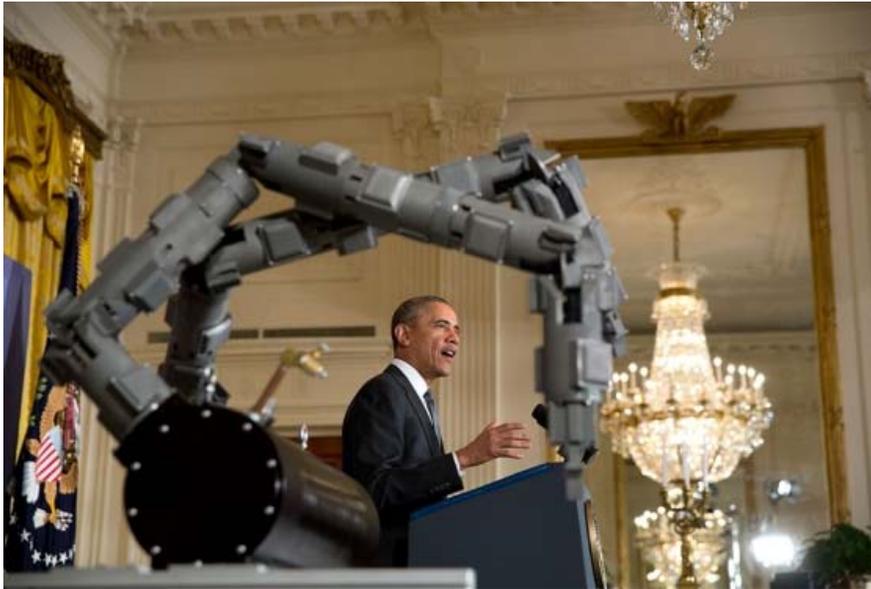
**Digital Valve**



**Hydraulic Pump**



## 液圧駆動小形軽量ロボットハンド



2014年2月25日、米国・オバマ大統領は米国の技術開発力を強化するため、デトロイトに軽量金属材料研究のハブ(LM31)を、シカゴにデジタルモノづくりのハブ(DMDI)を設置して、重点的に予算を投資すること発表した。

Feb. 25, 2014

<http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2014/02/25/president-obama-announces-two-new-public-private-manufacturing-innovatio>

# パワー密度とエネルギー密度

- 定義

パワー密度：単位質量あたりの出力パワー

エネルギー密度：単位質量あたりのエネルギー

パワー：単位時間当たりの仕事（仕事率）

瞬間的な仕事，効率 単位は[W]=[J/s]

エネルギー：仕事（パワー）の時間積分

仕事の積算値 単位は[J]

$$P_d = P_r / M$$

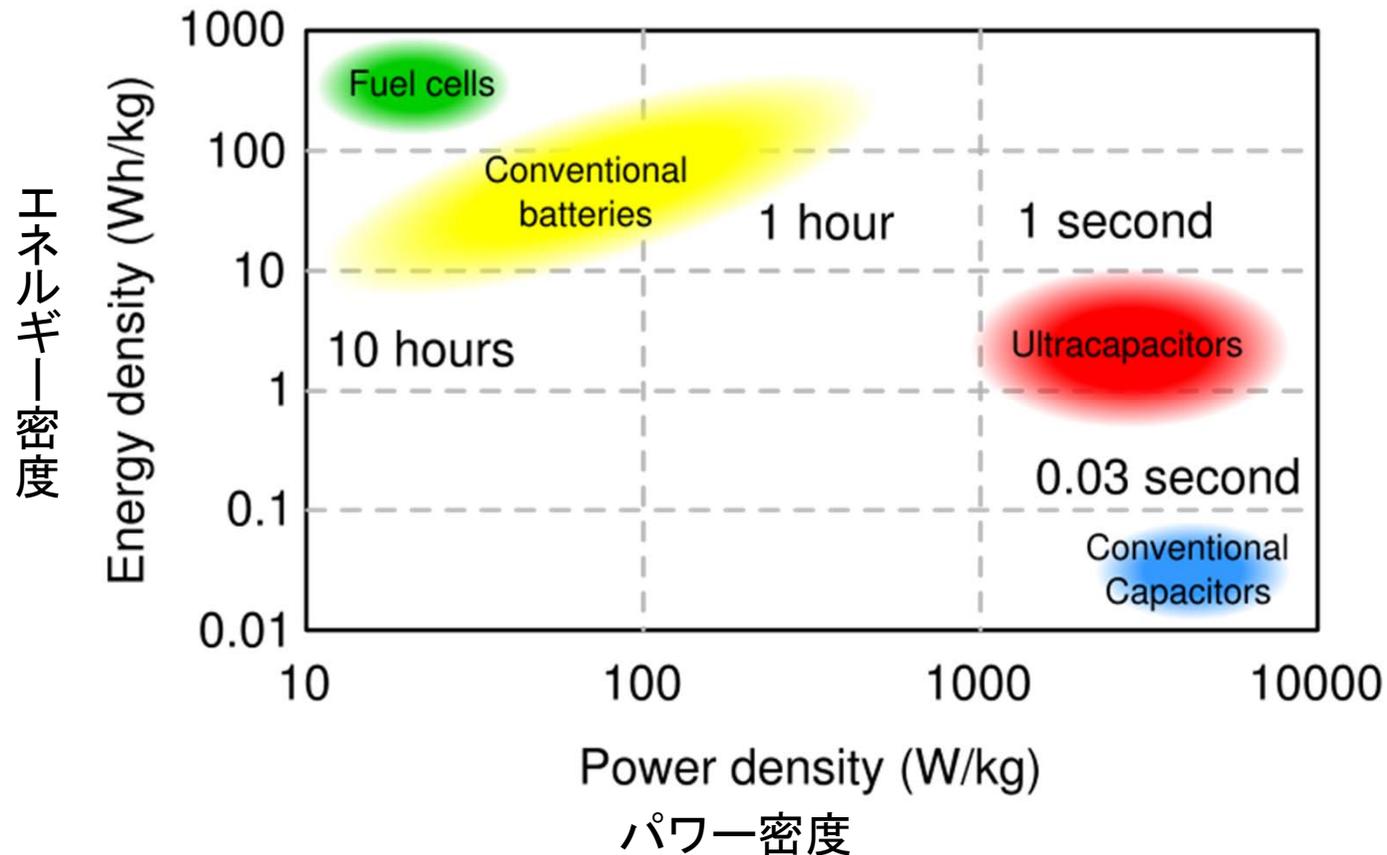
$P_d$  : Power density **パワー密度** [W/kg]

$P_r$  : Rated power アクチュエータの定格出力 [W]

$M$  : Actuator's mass アクチュエータ質量 [kg]

# Ragone Chart

- エネルギー蓄積素子の性能評価チャート



# エネルギーの蓄積要素

## エネルギー蓄積要素の比較

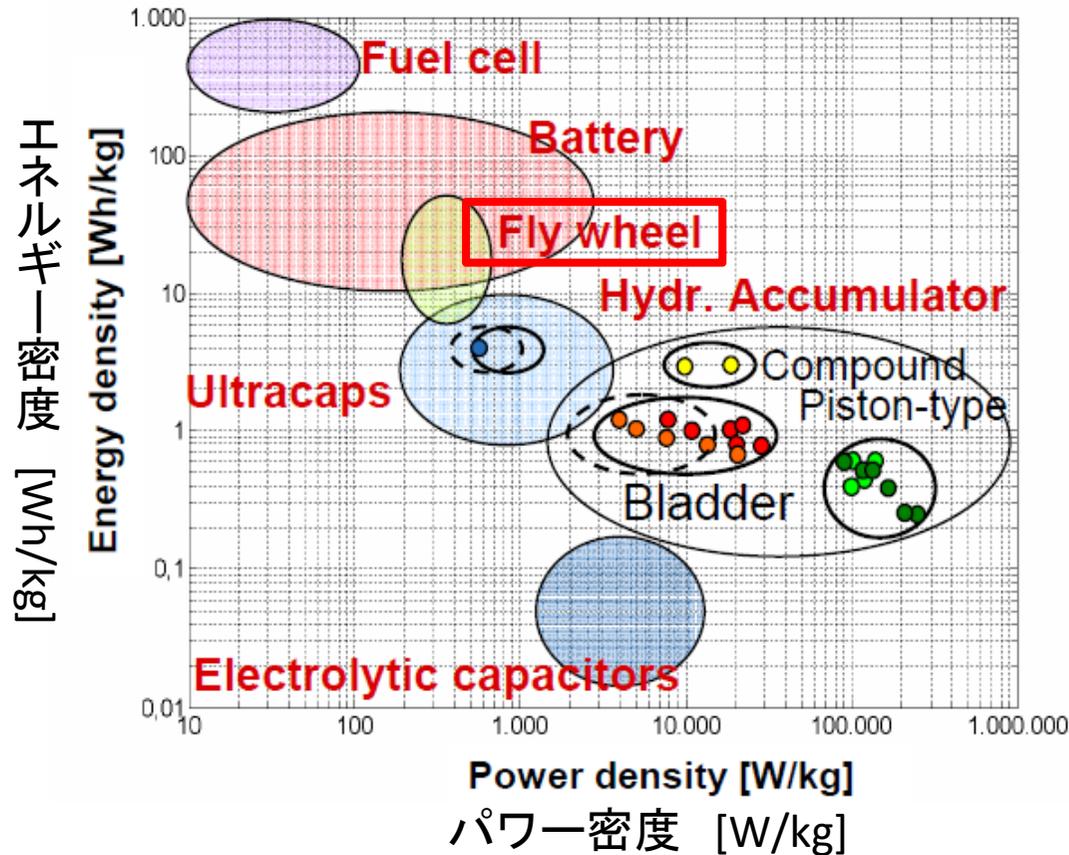


Figure 1: Ragone Diagram for Different Energy Storage Media

Proc. National Conference of Fluid Power 2008 pp.531 より

従来の電氣的なエネルギー蓄積要素（燃料電池や蓄電池）はパワー密度が比較的低い。

油圧アクキュレータはパワー密度が高く、エネルギー蓄積密度も比較的大きい。

制動や位置エネルギーの蓄積・回生には油圧アクキュレータが適している。

<参考>ハイブリッド車のLiイオン電池

出力密度重視型で

エネルギー密度: 70Wh/kg

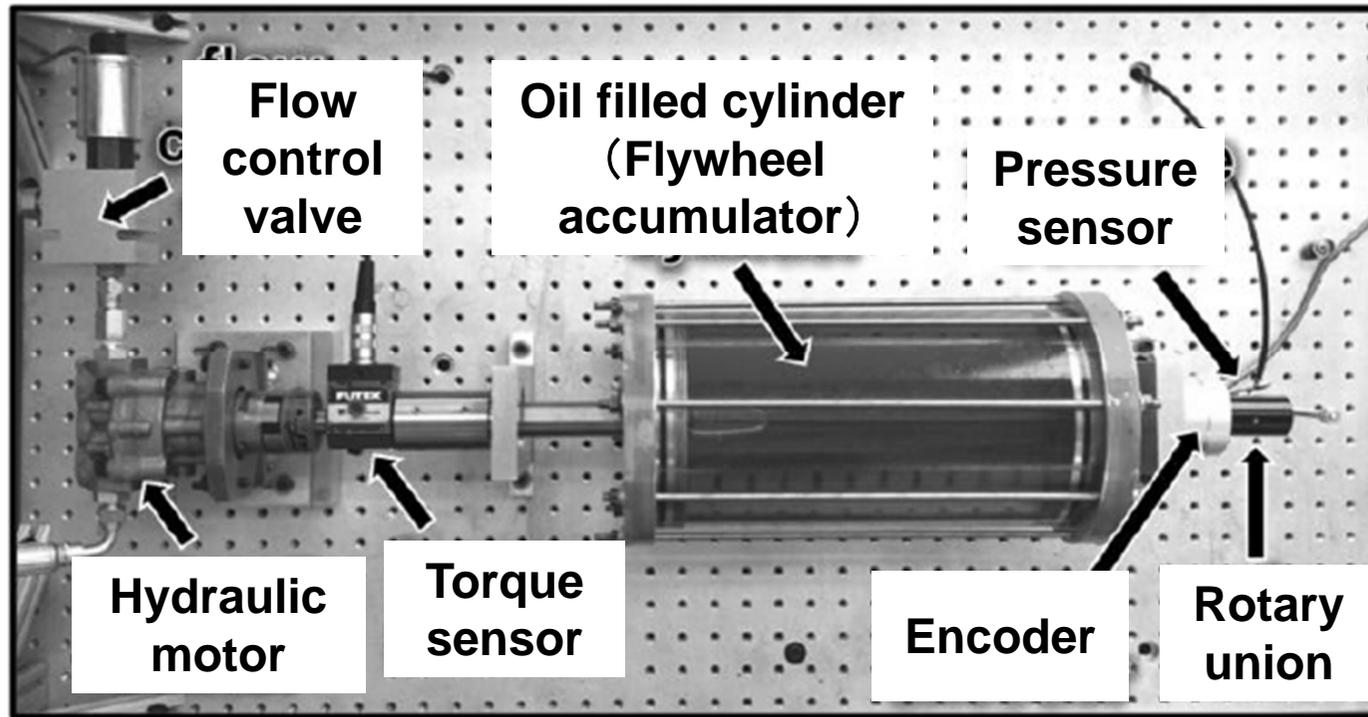
出力密度: 1.8kW/kg

エネルギー密度重視型で

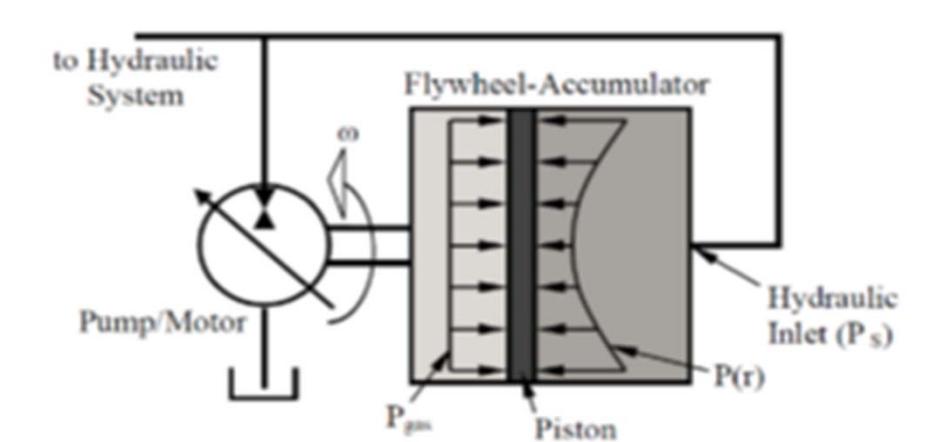
エネルギー密度: 100Wh/kg

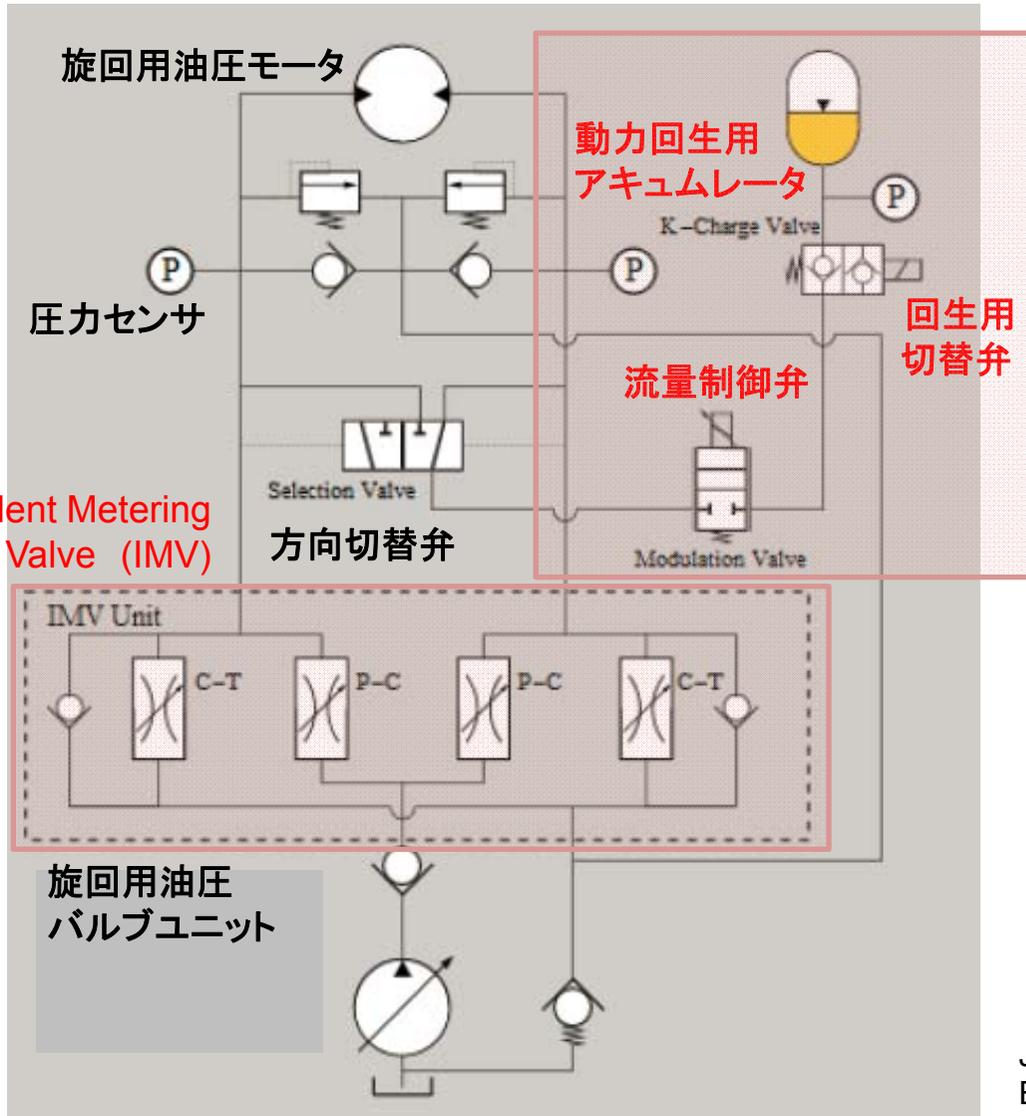
出力密度: 0.4kW/kg

NEDO次世代自動車用技術開発ロードマップ2008より



油圧フライホイールアキュムレータ実験装置





従来機と比べ最大約30%の燃費低減を実現  
 価格は第4次排ガス規制に対応した機種同士で比べると5%アップに抑え、年間1200時間稼働すれば3年程度で回収できる



J. Zhang, Hydraulic Hybrid System for Swing Energy Recover and Reuse, Proc. IFPE2014 Technical Conference, No.19-2 (2014).

# ショベルの旋回エネルギーの動力回収と再利用のための油圧ハイブリッドシステム

# Pressure Compensated Independent Metering Valve (IMV)

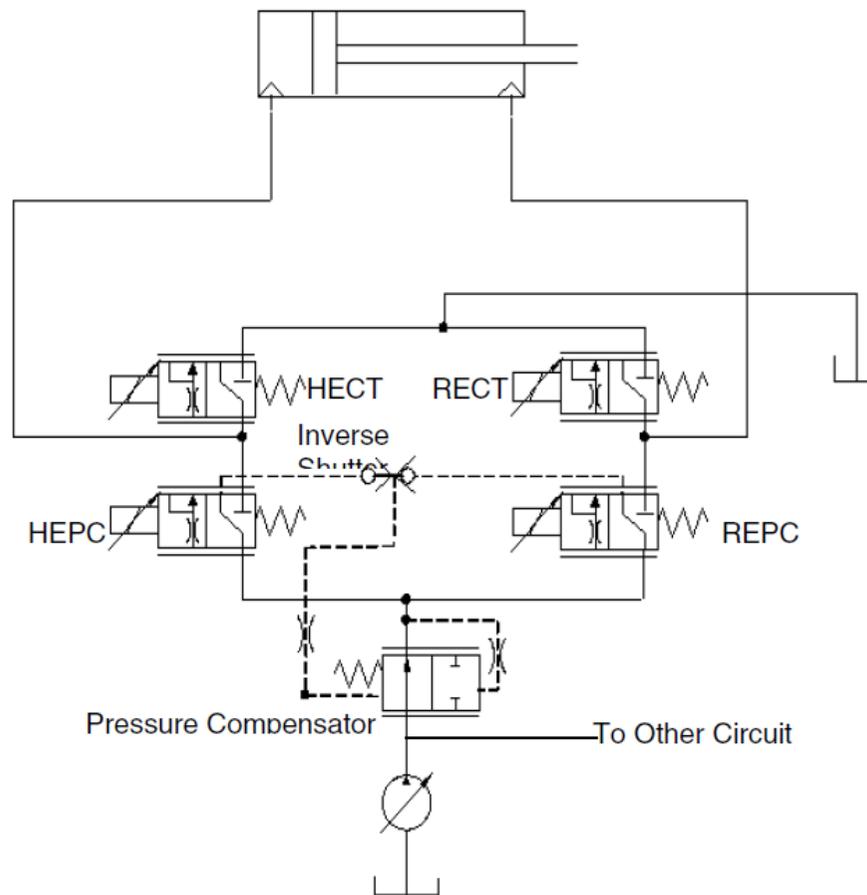
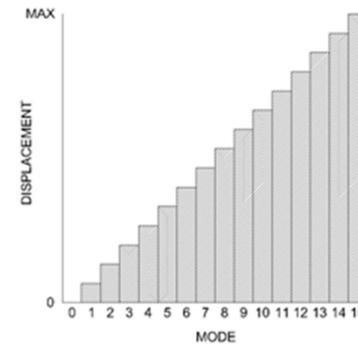
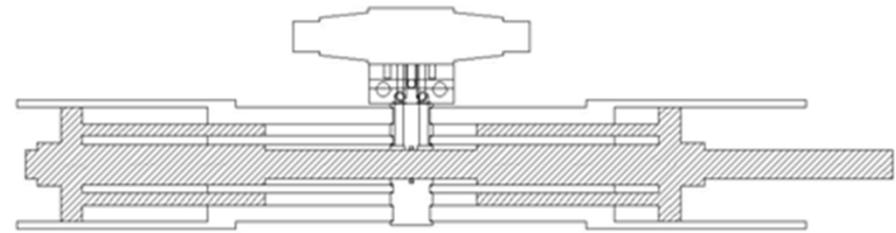
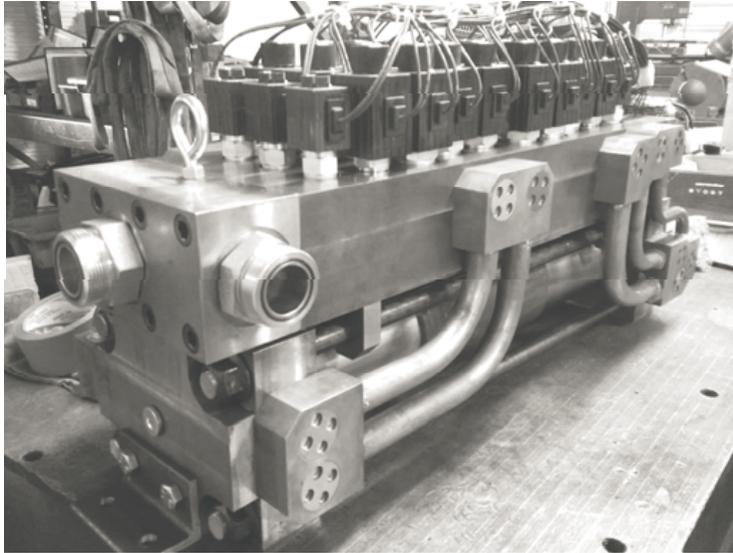
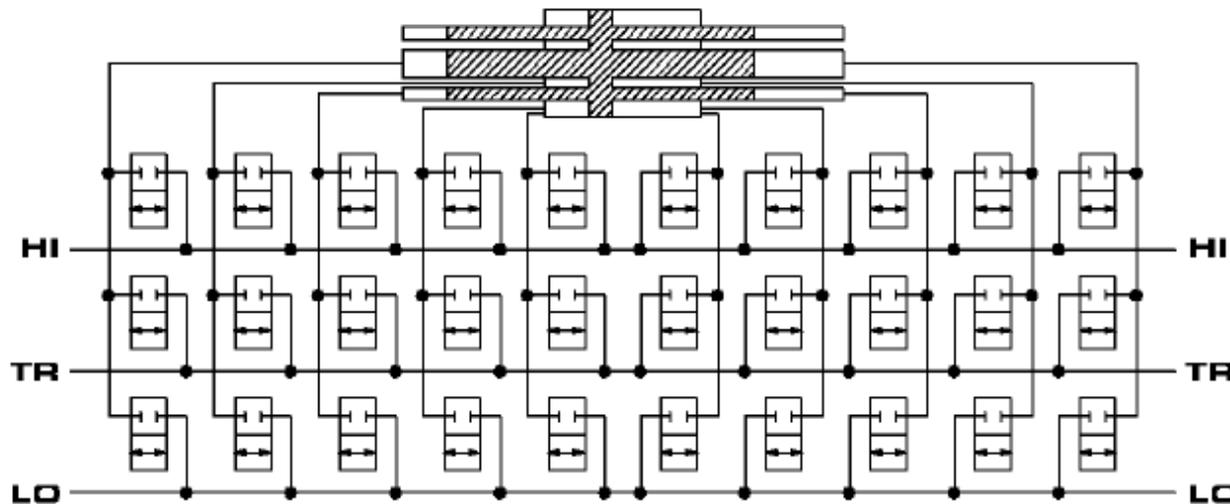


Figure 1: PC-IMV and Its Circuit

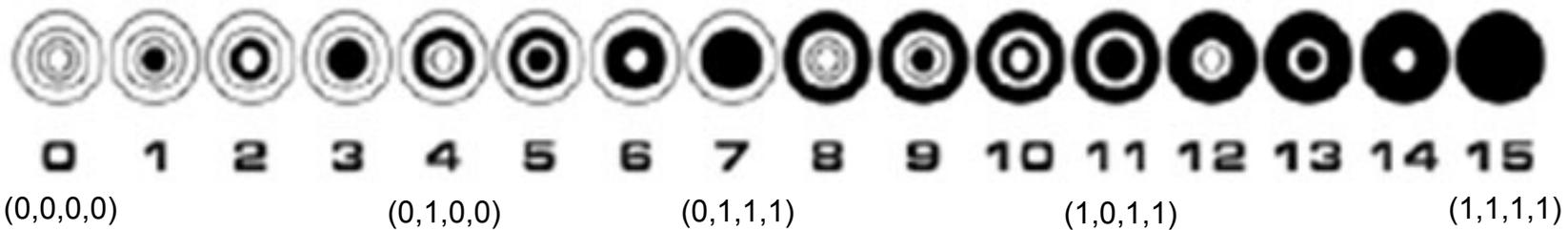
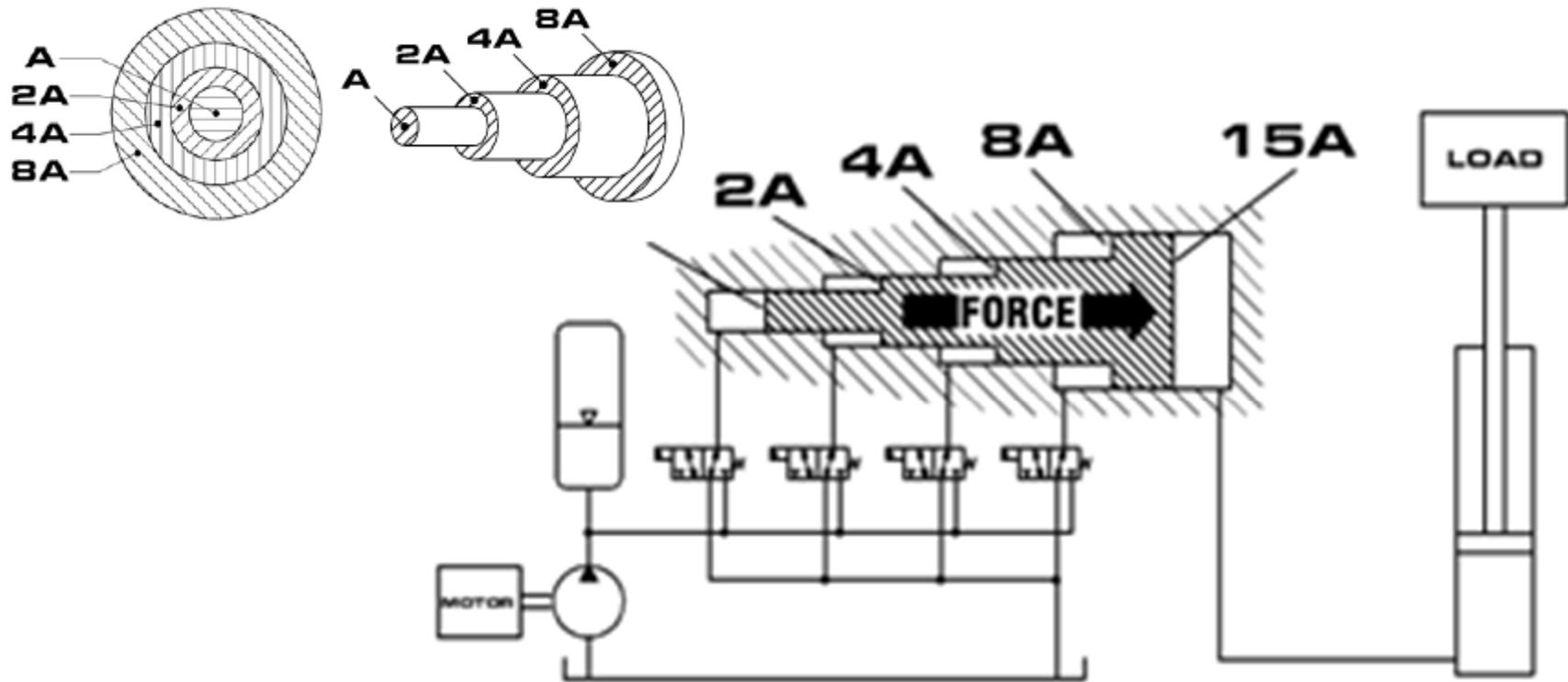
J. Zhang, Pressure Compensated Independent Metering Valve for EH System, Proc. the 51st National Conference on Fluid Power, NCFP I08-14.3 (2008).



US Patent: [No. 7,475,538](#)

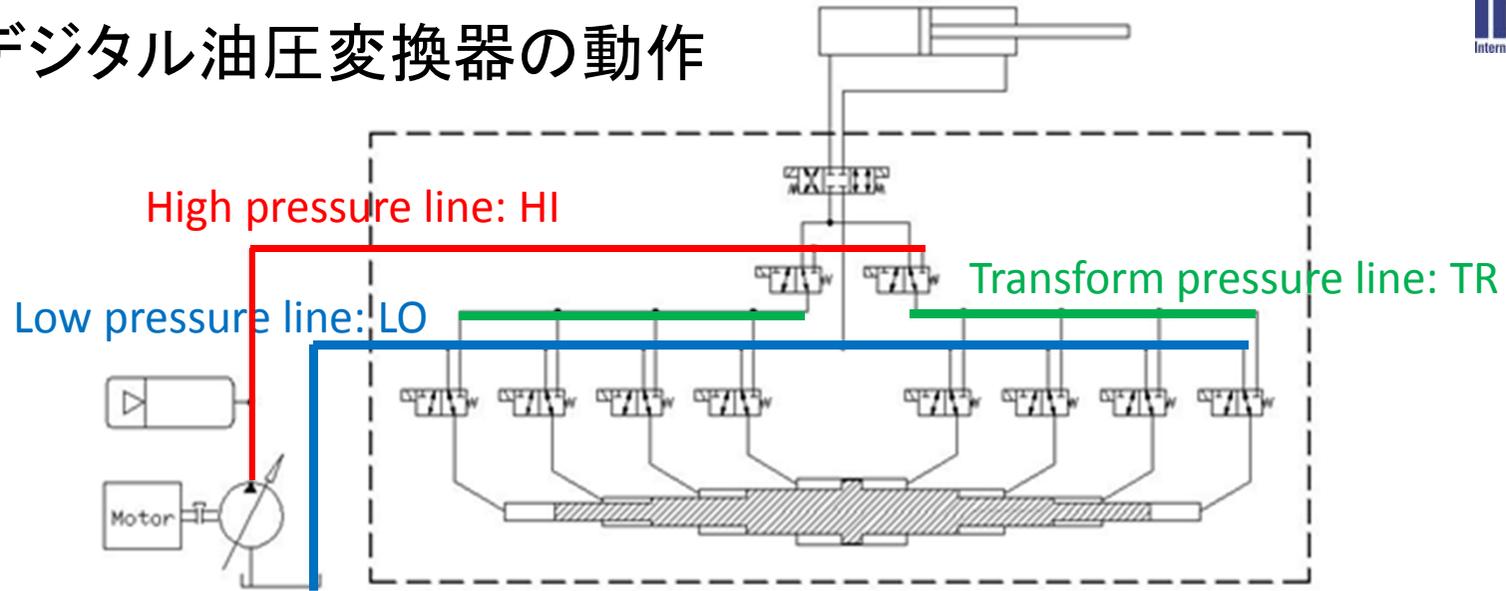


# デジタル油圧トランスフォーマ



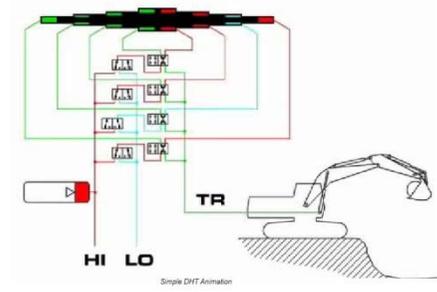
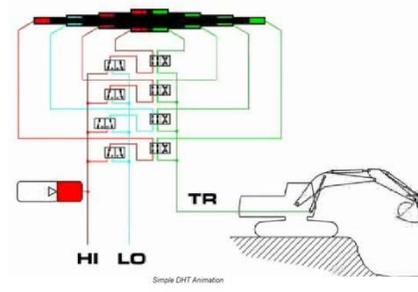
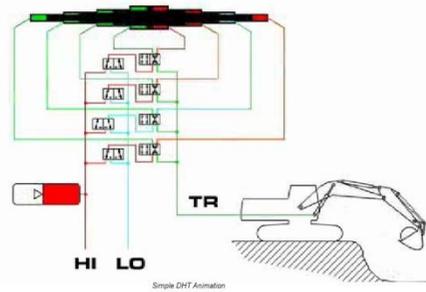
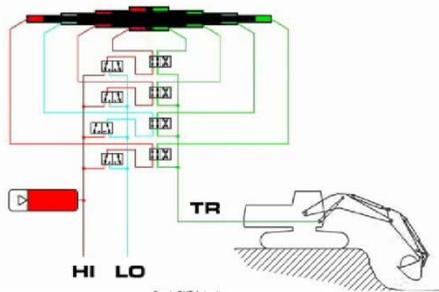
## 4ビットデジタル油圧トランスフォーマの原理

# デジタル油圧変換器の動作

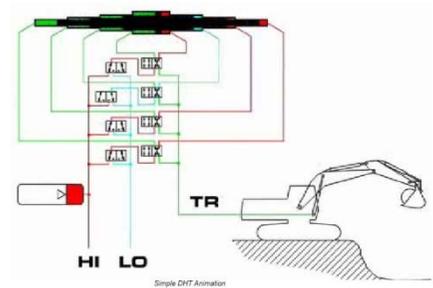
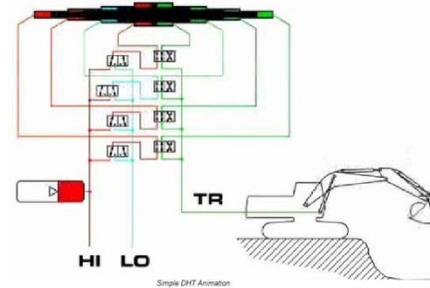
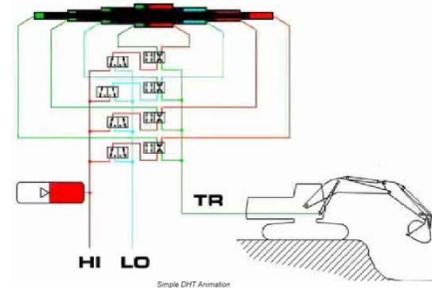
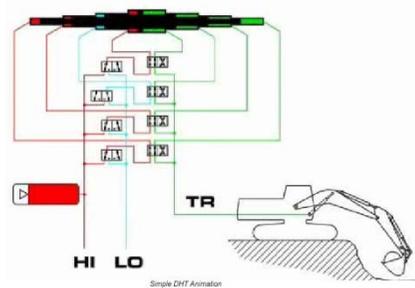


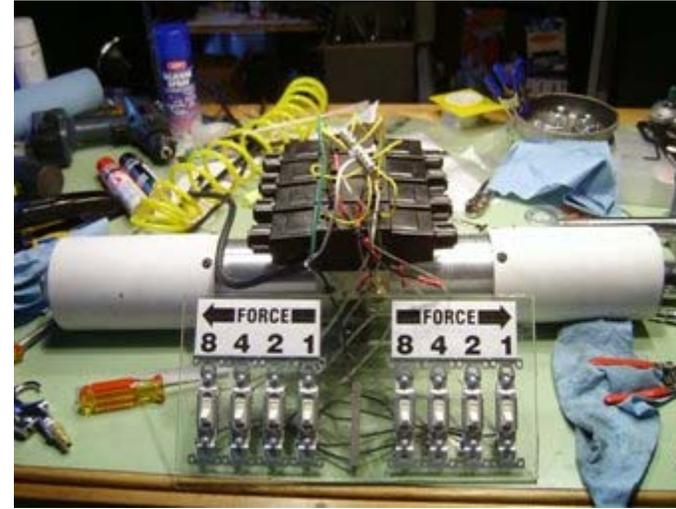
<http://digitalhydraulic.com/technology.html>

→ ブーム上昇



← ブーム下降



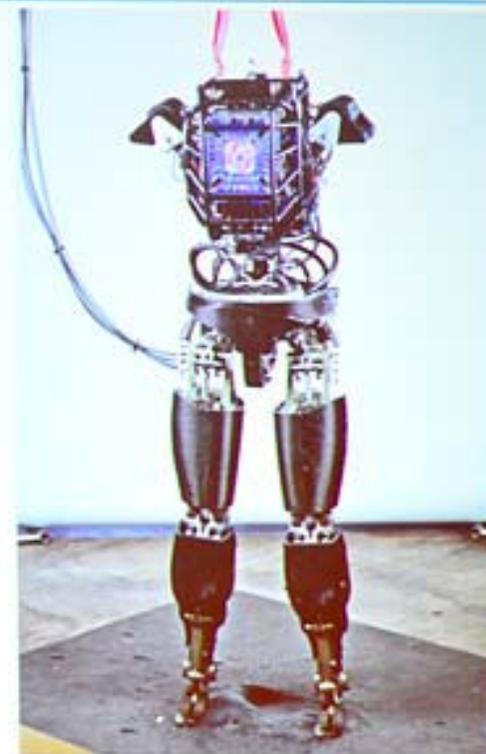


# ペットマン/アトラスの衝撃



## DARPA GFE Robot – based on Boston Dynamics Atlas

- Near copy of PETMAN/Atlas
- 50<sup>th</sup> percentile male anthropometry
- 27 actuated, hydraulic DOF's
- 2 on-board computers
- Power tether
- Sensing head
- Modular wrist
- Protective shells



<http://theroboticschallenge.com/>  
[https://www.youtube.com/watch?v=vBrWhCNsz\\_A](https://www.youtube.com/watch?v=vBrWhCNsz_A)  
<http://www.bostondynamics.com/index.html>

# おわりに

- 油圧駆動のメリットを活かす取り組み
  - 油圧の可能性を日本の技術で実現
  - 小形・高出力の液圧アクチュエータ
  - 高応答なデジタル制御弁の開発 → 日本は？
- 
- 戦略的な取り組みの重要性
  - 油圧の課題に取り組むプロジェクトの立案
  - 産官学による油圧の特長を活かしたFPコンソーシアムの設立と強化 → ロボット技術への展開

# タフ・ロボティクス・チャレンジ

- 総合科学技術・イノベーション会議の革新的研究開発プログラム(ImPACT)
- フィールド遠隔自律作業ロボットの小形高出力アクチュエータ
- 油圧アクチュエータ活躍の場

## <非連続イノベーションのポイント>

フィールド試験により、能動ロバスト性、大規模実時間情報、生物機械融合の技術を高度化。極限環境でタフに働ける遠隔自律ロボティクスを確立。

### 能動ロバスト性

柔軟・しなやか 無駄がある冗長分散協調  
超小型高出力アクチュエータ  
失敗を許す設計と計画ロバスト性のための求解

大規模  
実時間情報

リアルタイムで繰り返す  
予兆と異常を検知する  
仮想試行と検証の繰り返し

# タフ・ロボティクス

動物非侵襲インタフェース  
一体融合ヒューマン・イン・ループ

### 生物機械融合

### 非連続タフ技術

- ・ 極限環境アクセシビリティ
- ・ 極限センシング
- ・ 理解・推定
- ・ 失敗時リカバリ
- ・ 極限環境適合性

## <期待される産業や社会へのインパクト>

ロボットを災害緊急対応・復旧・予防に活用して、我が国や世界の安全安心に貢献。未来の高度な屋外ロボットサービスの事業化・普及への道を拓く。

