

1. はじめに

人間の作業を支援する、人間に代わって作業を行うロボットとして、まず想定されるのが人間の形をした人形（ひとがた）ロボットである。人形ロボットには、写真1のお茶運びからくり人形にその原型がある。

手足など、人間の機能の一部を模したのものもある。掘削、積込、埋戻し、把持などに用いられ、建設機械で最も普及しているバックホウは、作業機構のブーム（帆の下桁）、アーム（腕）、バケットなど、人間の腕の形を模した機械である。人の形が研究者にロボット化への意欲をそそのめるのか、全世界の大学や研究機関でバックホウのロボット化の研究が行われている。バックホウのロボット化研究については追ってご紹介したいが、1960年代より、法面整形、浚渫、水路清掃、圧気ケーソン内での掘削、把持などの自動化研究が行われている。

本稿で紹介するロボットスーツ（パワーアシストスーツ）も、福祉分野での研究が進み実用化の段階に達している。作業対象や作業の進捗によって作業の形態や手順が変る土木分野に適合するロボットとして期待されている。

ロボット
1920年にチェコスロバキアの作家「カレル・チャペック（1890～1938年）」の戯曲の中で用いた、人間の労働を肩代わりする機械「robot」が語源で、チェコ語の強制労働者「robotnik」からの造語で、人間の形（人形）をイメージしたものである。

2. ひとがた 人形ロボット

表1に、「からくり人形」から「鉄腕アトム」までの人形ロボットの種類と機能を示す。

パワーアシストスーツは、人間の動きや力を増幅するエイリアン2やガンダム型のロボットである。作業機械に搭乗せずに離れた場所から遠隔操縦を行う無人化施工もこの範疇である。

本編では、パワーアシストスーツの研究の現状、土木作業への活用の可能性を紹介する。

(1) からくり人形

中国では、紀元前10世紀にからくり人形として「人形ロボット」のイメージがあったとされている。日本では、江戸時代中期の18世紀に「からくり人形」と呼ばれる“自動人形”が登場して来た。遊びの世界ではあるが、物を運ぶなど、人間

表1 人間の機能を模した人形ロボット

| 種 類 | 機 能 | 知能レベル | | | | 事 例 | 土木機械・ 土木ロボット事例 |
|--------------------|-----|----------------|----------------|----------|----------|----------------|-------------------|
| | | 搭乗 遠隔 操縦 | 手順 設定 追尾 | 自己 判断 | 感性 保持 | | |
| 手足など人間の一部の機能を模した機械 | | ○ | — | — | — | 義手、義足 | バックホウなど |
| 人間の指示や動きを理解し追従して動く | | △ | ○ | — | — | エイリアン2 ガンダム | パワーアシストスーツ |
| 予め設定された動作を反復する | | — | ○ | — | — | からくり人形型 | 軌道上の自動運搬台車 |
| 定型的な動作の自動化 | | — | ○ | △ | — | 産業用ロボット | 自動転圧機械 |
| 環境を理解し自己判断で動く | | — | — | ○ | — | 掃除ロボット等 | 無人ダンプトラック |
| 動き・知能・感性共に人間と同じ | | — | — | ○ | ○ | 鉄腕アトム型 | |



写真1 からくり人形
<http://www.karakuriya.jp/>

の作業を模した人形ロボットの奔りである。

人間が行っている作業を細かく分析して歯車などで置き換えて行くことでお茶運びの全工程を機械化している。土木作業の機械化・ロボット化にも生かせる発想である。

設定された動作や経路を反復する機械としては工場、倉庫内を移動する自動搬送機械がある。屋外作業分野では、ダムでのコンクリート自動搬送、鉱山分野でのダンプトラック無人走行がある。

(2) ガンダム型ロボット

パワー・スーツは人間の力を増幅する機械で、1959年にロバート・A・ハインラインが『宇宙の戦士』で創出した「強化防護服」である。『エイリアン2』の「パワーローダー」、『マグネロボ ガ・キーン』の「モデル・スーツ」(写真2)、レスキュー用機械として開発された双腕型油圧ショベル「援竜」(写真3)などがその範疇である。パワーショベルも人間に替わって大きな力を発揮する機械として付与された名称である。



写真2 マグネロボ ガ・キーン
<http://www.toei-anim.co.jp/lineup/tv/gakin/>



写真3 レスキューロボット援竜T52
<http://www.enryu.jp/t52>

パワーアシストスーツはこの延長線上になる。

(3) アミューズメントロボットに籠められた未来技術

人間を「楽しませる」事を目的とした人形のアミューズメントロボットとしてホンダやソニーの2足歩行ロボットがある。トレイを運搬したり、ワゴンを押すなど家事の支援も行える。



写真4 HONDA の ASIMO
<http://www.honda.co.jp/ASIMO/>

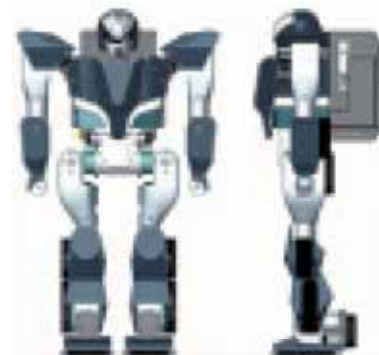


写真5 「UT- μ 2」ロボット
<http://www.ynl.t.u-tokyo.ac.jp/research/ut-mu/mu-j.html>

アミューズメント型のヒューマノイドロボットとして愛知万博に参加した、東京大学情報理工学系研究科知能機械情報学専攻 中村・山根研究室による「UT- μ 2」ロボットは、人の動きをカメラでとらえ、コンピュータ処理しロボットがそれに連動して動きを再現する。スーツを装着しなくても人の動きを再現できる。装着型のパワーアシストより進んだ機能を有している。作業機械の遠隔操縦にも生かせる技術である。

(4) 究極の人形ロボット：鉄腕アトム

姿と心の部分も人間に似せた人形ロボットの行き着く先に「鉄腕アトム」がある。飛翔機能などの機能も具備した夢のロボットである。

3. パワーアシストスーツ

(1) パワーアシストスーツと開発の背景

「パワーアシストスーツ」は「パワースーツ」「パワードスーツ」「スマートスーツ」「マッスルスーツ」「ウェアラブルロボット」「ソフトパワースーツ」などとも呼ばれている。服の様に装着して手、足、腰などを支え、人間の腕力や脚力を増力（パワーアシスト）するために開発された着用型の腕力や脚力補強用補助服である。

「パワーアシストスーツ」は、人間が動くときの筋肉の変化を皮膚の表面を流れる微弱な電気信号などで計測し、次の行動を予測し、空気圧や弾性材などで動作を補助したり増幅したりする。自身の力を含め、人間の2～3倍程度の力で物を持ち上げたりすることが可能となる。脚部のフレー



写真6

下肢外骨格パワーローダ

写真7

兵員用パワーローダ

<http://bleex.me.berkeley.edu/bleex.htm>

ムが床面に接地するような構造で重量が装着者にかからない仕組みも採用されている。

段差部の昇降、椅子を使用せずに腰掛ける姿勢を維持するなど、農業などのフィールド作業時の作業負担減少に寄与できる。荷物や介護対象者を持ち上げ下げする力の支援（アシスト）、リハビリ分野での利用が研究課題となっている。

このパワーアシスト技術に対する考え方は日欧米で異なる。日欧は力の支援（喪失した機能や力の補填）、米国では力の増強が開発の目的となっている。

日本では、高齢者や身障者の動かない、劣化した筋肉や関節などの身体的負担を軽減するロボットとしてパワーアシストスーツの開発が始まった。少子化と超高齢化社会の到来で生産人口を補填するための労働負担が余儀なくされている高齢労働者は、身体能力の低下から作業負担が過度になり腰痛や肘・膝痛など骨、関節、筋肉等の運動器系疾患に悩まされている。

パワーアシストスーツの開発は、高齢化が進行している農林漁業、建設業など屋外の作業分野での期待が大きい。工場や倉庫、物流などでの荷役的な繰返し作業、同一姿勢での組立てや加工作業の負担軽減（軽労化）といった分野にも応用することが可能である。

リハビリや介護等、医療や福祉、動作矯正やトレーニングなどスポーツ分野などでの需要が機器の市場を拡大し、廉価化が実現すれば土木分野への導入も可能となる。

アメリカでは人間の能力を増強し、軍事目的に利用するための装置として開発が行われた。米国防総省国防高等研究計画局（DARPA/Defense Advanced Research Projects Agency）は、軽量化されたパワードスーツを装着した兵士が、重い火器を持って走ることを目標とした開発を行った。

<http://bleex.me.berkeley.edu/ev/BLEEX-summary.pdf>

写真6は Berkley Robotics and Human Engineering Laboratory のパワーアシスト装置「BLEEX」である。内燃エンジンを動力源として筋電位計測による駆動制御とは異なり力制御式で駆動している。本体45kg、背負部32kg。写真7は同時に発表された兵士用の実物大の模型である。

DARPA のパワードスーツ「Exoskeleton」は、100キロの荷物を背負ってマラソン選手以上の速さでの長時間行軍と、高い跳躍能力を得ることができる。

(2) パワーアシストスーツの開発状況

体に装着することで足腰や腕などの機能を増幅する「パワーアシストスーツ」は「ロボットスーツ」として前号で紹介した。介護やリハビリなど福祉や医療の分野で導入が始まろうとしている。就労者の高齢化が進む農業分野への導入の研究も行われている（北海道大学、農工大学）。

建築分野でも天井ボード張りなどの不自然な姿勢を継続する作業で「カーペンターロボット（図1）」として研究が行われている（名古屋大学）。

その他、荷役や建設分野での重量物ハンドリングへの活用も視野にいたれた研究を行っている研究者もいる（神奈川工科大学、他）。重量物の持ち上げ、運搬、接地作業の支援、スコップなどによる人力掘削時の力支援などへの活用である。

社団法人日本建設機械化協会主催の建設機械と施工法展示会（2003年）、国土交通省近畿地方整備局主催の建設技術展2005近畿（2005年）などに実演展示されるなど、土木建築現場での作業支援システムとして注目されている。高齢化する建設就労者の負担軽減、腰痛対策、作業性向上などへの活用を想定したものである。

パワーアシストスーツは軍用の他、多くの大学や研究機関で研究が進められている。現時点で



写真11 土木の人力作業

は、軍用を除けば筑波大学のシステム（HAL）が国内製では最も製品に近い段階に到達しているといわれている（6ページ②）。

http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/policyreports/chousa/netrobot/pdf/030627_2e.pdf#search='ウェアラブルロボット'

(3) パワーアシストスーツの開発事例

表2がパワーアシストスーツを研究課題とする研究室で、全国で15を超えている。多くは福祉医療分野への活用を想定しているが、土木分野でも腰痛に苦しむ作業者は少なくない。研究者に土木現場の実情を理解頂ければ遠からず問題が解決する。身近な研究機関との共同研究をお勧めしたい。

表2の研究の多くは医療福祉分野におけるリハビリテーション支援や身体訓練支援、身体機能に障害を抱える人々への自律動作支援、介護支援、工場等での重作業支援、災害現場でのレスキュー活動等を想定している。

リハビリや喪失機能の補填と同じ発想で、苦渋作業の支援や熟練者の作業を模す訓練用にも活用したい。

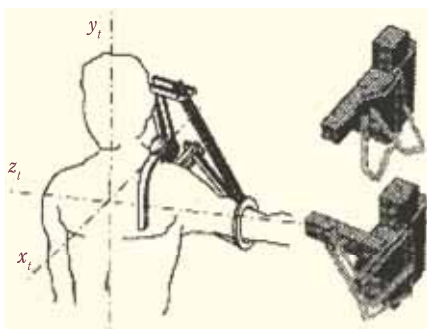


図1 カーペンターロボット（名古屋大学）
<http://sts.kahaku.go.jp/sts/detail.php?id=1032&key=103210361045&APage=5>



写真8 農作業1



写真9 農作業2



写真10 農作業3

（大根の引き抜き、泥落とし、包丁を使った葉落しを同じ姿勢で行っている）

表2 パワーアシストスーツを研究課題としている研究室

| 研究機関 | 研究者 | 研究目的・内容など | |
|---------|---------|--|---------------------------|
| 北海道大学 | 田中孝之準教授 | 弾性材と補助力調整機構からなる動力補助装置セミアクティブアシストシステム/スマートスーツ 農業支援ツールの開発 | 医学部保健学科、医務法人 ケイ・アイ、他が開発協力 |
| 山形大学 | 藤川一博教授 | ウェアラブルロボットの他、双腕型遠隔操作システムの研究も行っている | |
| 筑波大学 | 山海嘉之教授 | 腕力や脚力補強用補助服 | 日立建機、大和ハウス工業、三井物産が支援 |
| 東京理科大学 | 小林 宏 | マツスルスーツ鋳造でコンプレッサ、電空レギュレータ、医療福祉ロボット上肢、建設機械製造現場での利用例 | 日立メデイコ |
| 電気通信大学 | 下条誠教授 | 歩行アシスト 可変弾性機構を有するスマートスーツ 過労や怪我による筋力低下をアシストし、歩行動作の補助を行う体重支持型の歩行アシストシステムの開発 | |
| 東京農工大学 | 遠山茂樹教授 | 農作業支援 超音波モーター構造が単純で小容量、低速高速度トルクに対応 | 基礎研究、東大、神奈川工科大学と協力 |
| 関東学院大学 | 小松督教授 | 柔軟空圧アクチュエータを用いた軽量ウェアラブルロボット機能モデルの開発 | |
| 神奈川工科大学 | 山本圭治郎教授 | 福祉・荷役・建設など多方面の用途を想定、空圧で力がか2倍になり腰、ひじ、ひざの関節にかかると負担を半減 | |
| 豊田工業大学 | 山田陽滋助教授 | アシスト機能付き補助装置の本質安全に向けた基礎開発 | |
| 名古屋大学 | 大日向五郎教授 | 大工仕事支援 カーベーターロボット | |
| 立命館大学 | 川村貞夫教授 | 上肢リハビリ支援スーツ | |
| | 藤本弘道社長 | | |
| | 金岡 克弥 | リハビリテーション、スポーツトレーニング、福祉ロボット | |
| | 池田雅夫教授 | パワーアシストスーツ用制御系の構成 | |
| | 八木栄一教授 | 低摩擦の空気圧シリンダ | |
| 岡山大学 | 則次俊郎教授 | 空気圧ゴム人工筋を用いたウェアラブルパワーアシストロボット | |
| 長崎大学 | 石松隆和教授 | 筋肉の活動量を測定する筋硬度センサをいろいろなパワーアシスト装置のマン・マシンインタラクションとして利用、モーターや空気圧シリンダなどの動力とする。 | |

(4) パワーアシストスーツの開発状況

① 北海道大学：スマートスーツ・装用型軽労化ロボット

「スマートスーツ」はパワースーツの一種で、ゴム等の弾性材と補助力調整機構で構成されるセミアクティブ・アシスト・システム型の筋力補助装置である。ゴム等の弾性体によって補助力を得ることによって小型軽量で装用負担が少なく、作業動作を妨げない装用者に安全な装用型軽労化ロボットが実現した(写真12, 図2)。

「スマートスーツ」は、考案者である田中孝之氏と清水建設(株)、(株)リースならびに(株)モリタ環境科学研究所の共同研究を実施してきた。基礎的な研究開発成果を介護福祉、高齢者や障害者の日常生活支援、農業や土木建築の作業支援などへの活用が期待されている。

超高齢化社会を背景とした労働環境の改善と広域的な産業分野における「スマートスーツ」の実用的研究開発および市場創出、事業化を目的とし

た「スマートスーツ研究会」も設立されている。

セミアクティブ・アシスト・システムとは、弾性材が発するパッシブ弾性力を用い、弾性材の伸張量をモータによりアクティブに制御することで適切な補助力を得ることができるアシスト方式である。

② 筑波大学山海研究室：ロボットスーツ「HAL」(Hybrid Assistive Limb)

写真15は前号で紹介したパワーアシストスーツ HAL (Hybrid Assistive Limb) による重量物ハンドリングである。パワーユニットは上肢用と下肢用があり、組み合わせると全身、腰痛対策の場合には下肢用のみを使用する。

人体の動きの情報は、脳が筋骨格系へ指令、筋肉が動き、信号がまた脳へ戻るといった閉ループ系の制御により人間の体を自然に支えている。HAL は、脳からの筋骨格系への指令に伴う皮膚表面の微量の生体電位信号から人間の意思を読み取り人体よりも先に動く。独特な筋電位計測や動作制御が HAL の特許となっている。

HAL は、人間の思い通りに動く『随意的制御システム』と HAL の判断で動作する『自律的制御システム』を混在させることで身体機能の拡張、増幅、サポートを行っている。



写真12 スマートスーツ

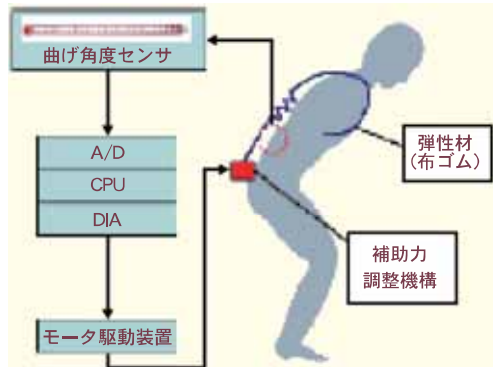


図2 スマートスーツの構成



写真13 スマートスーツによる揚上作業(北大)



写真14 同左と同じ営農姿勢(北大)



写真15 パワーアシストスーツ HAL (筑波大)
(http://sanlab.kz.tsukuba.ac.jp/r_hal.php)

http://qnet.nishinippon.co.jp/medical/health/2007205/2007205_002.shtm/
西日本新聞社



写真16 マッスルスーツ (理科大)



写真17 マッスルスーツの構成 (理科大)



写真18 マッスルスーツでの保持姿勢 (理科大)

HALの応用分野として、福祉医療の他、工場等での重作業支援、災害現場でのレスキュー活動等を想定している。2007年5月24日、社団法人土木学会建設用ロボット委員会主催の、第24回建設用ロボットに関する技術講習会「災害復旧に役立つ建設用ロボットを目指して」でHALが紹介されている。<http://robot.watch.impress.co.jp/cda/news/2007/05/25/493.html>

HALの量産化に向け大学発ベンチャーCYBERDYNE社が設立され、工場が10月に完成する。<http://www.cyberdyne.jp/robotsuithal/index.html>

③ 東京理科大学 小林研究室：マッスルスーツ (上肢)

マッスルスーツは、関節部分を除き、空気圧で収縮するゴムとナイロン製の人工筋で構成されている。軽量で着脱が容易、実用的な筋力補助装置である。人工筋の収縮で対応部位が動く、装着ではなく着用によって筋力を補助するシステムが他に類の無い特徴である。

着用によって上肢で屈曲や伸転などの7動作ができ、反力を発生させることも可能。筋力の衰えた高齢者や身体障害者、リハビリテーション中筋力補助、スポーツのフォーム矯正などに活用可能である。

<http://kobalab.com/>



写真21 農業用ロボットスーツ屈込姿勢 (農工大)



写真22 同左と同じ営農姿勢 (農工大)

<http://www.tuat.ac.jp/~toyama/pas.html>
(遠山茂樹「ウェアラブルロボットの開発」などによる)

④ 東京農工大 遠山研究室：農業用ロボットスーツ

農業用ロボットスーツは、服の上からひじや腰・ひざなど計8カ所に装着した超音波駆動モーターで人間の動きを補助し、体にかかる負担を大幅に軽減する。このスーツを装着すれば、中腰での営農作業も椅子に座って作業を行っているのと同じ負担となる (写真19)。

農林水産省技術会議の研究基本計画 (2005年



写真19 農業用ロボットスーツ (農工大)



写真20 農業用ロボットスーツによる揚上作業 (農工大)

度)において、ウェアラブルアグリロボットを次世代の農業水産業先導する革新的技術の研究開発課題に位置付け、研究開発には産官学連携の強化が必要であるとしている。また、ウェアラブルアグリロボット導入効果を、医療費削減200億円、腰痛などの疾病を持つ就労者を200万人とし、その労働効率向上を25%と試算している。

⑤ 電通大：可変弾性機構を有するスマートスーツ



可変弾性機構を有するスマートスーツは弾性エネルギーを利用するため、装着者に安全なアシストが実現する。出力対重量比が大きい弾性体を利用した小型・軽量化された可変弾性機構と二関節筋構造をもつ脚部スマートスーツである。表面筋電位を制御に用いる関節トルクの推定とアシスト制御を行う。

図3 可変弾性機構を有するスマートスーツ

⑥ 神奈川工科大学 山本教授：空圧パワードスーツ

http://www.we.kanagawa-it.ac.jp/~yamamoto_lab/syokai/suit.html

建設機械と施工法展示会（2003年）、建設技術展2005近畿（2005年）の展示に参加、建設場での作業支援システムとして注目された。建設分野では最も馴染みのあるパワードスーツである。

空気圧式で着脱が容易。写真23は2001年に同大



写真23 2001年型パワードスーツ（神奈川工大）



写真24 2007年型パワードスーツ（神奈川工大）

http://www.we.kanagawa-it.sc.jp/~yamamoto_lab/syokai/suit.html

が同様の空力式で発表したもの。写真24は、2007年10月の東京での国際福祉機器展で発表された改良型機体。写真24では、女性が患者の男性を抱き上げている。抱え上げなどの作業に邪魔とならないよう、動力装置類は全て背側に配されている。

⑦ 長崎大学機械制御学研究室：パワーアシスト班

装着型増力装置およびその入力信号を得るための特殊な生体信号計測システムの開発を行っている。研究課題として次項がある。

●筋活動量を計測する筋硬度センサの研究

筋活動量を計測するセンサとして、新たに開発した筋硬度センサは衣服の上から計測でき、特殊なクリームが不要、計測精度が高いなどの点が、筋電位センサとの優位性である。

●手指麻痺患者のための把持支援装具の研究

頸椎損傷や脳梗塞により手指に麻痺を負った患者用に3種類（電動装具、空気圧駆動式パワーグローブ、モータ駆動式パワーグローブ）の装着型のパワーアシスト装置を研究・開発した。パワーグローブは各指独立して動く高機能な装具を指向している。筋硬度センサの利用で意思と動作の整合性を実現している。

上記研究室では、高機能な筋硬度センサの利用と使用者である患者が真近にいて、効果的なパワーアシスト装置を研究・開発をしている。空気圧ゴム式人工筋肉を用いたウェアラブルパワーアシストスーツ（ソフトパワースーツ）、義足耐久試験機の研究・開発、高齢者や障害を持つ患者から要望される福祉機器の研究・開発なども行っている。ユーザとの協調研究は、産業における労働支援のためのパワーアシスト装置の研究・開発などにも有効である。

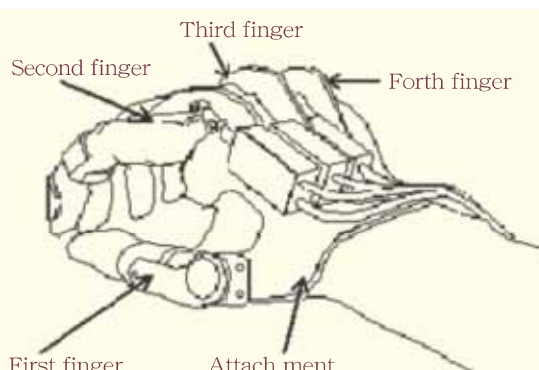


図4 把持支援装具（長崎大学）

http://www.welcome.mech.nagasaki-u.ac.jp/laboratory/research/power_assist.htm

⑧ 立命館大学

内部真空圧によって剛性（硬さ）が変化し、伸び、縮み、曲げ、捻りなど自在な変形が可能な超軽量の機械要素粒子内蔵型機械拘束要素（PMC）の空気圧ゴム人工筋を用いたウェアラブルロボットを開発。PMCの構造はビニルチューブに発泡スチロール粒子を封入しただけのシンプルなもので、任意の形状時に内部の空気を抜き、真空化するとPMC全体が固化する。コーヒー豆の真空パックが硬くなるのと同じ原理である。金属性部品を用いないため超軽量、柔軟であり、真空圧駆動のため壊れても危険性が少ないなど、リハビリテーション、スポーツトレーニング、福祉ロボットなどの人間に接する機械インターフェースに適している。

同大学では研究成果を産業界に提供するために、マンマシンシナジーエフェクタブが設立された。図4に示したパワーアシストスーツを超えた協調ロボットを提案している。

<http://robot.ci.ritsumeai.ac.jp/bio/particle.htm>



図4 究極のマンマシン協調ロボット
<http://robable.typepad.jp/robot/2008/01/13-mmsec8c.html>

⑨ 松下通信工業(株)：上肢リハビリ支援スーツ(腕力のみ)

身障者の補助、介護者の支援を目的に開発。量産による低価格化が実現すれば、土木用、産業用のパワーアシストスーツへの波及が期待される。

<http://panasonic.co.jp/ism/idea/10/>
<http://panasonic.co.jp/mtj/v5006/pdf/p0105.pdf>
<http://www.time.com/time/2006/techguide/bestinventions/inventions/medicine4.html>

⑩ その他

上記の他、Hondaは二足歩行ロボット「ASIMO（アシモ）」の基礎技術を応用し、高齢者など足腰の弱った人の歩行アシスト装置「ロ



写真25 上肢リハ
ビリスーツ
(パナソニック)



写真26 上肢リハビリスーツの構造
ビリスーツ
(パナソニック)

<http://www.time.com/time/2006/techguide/bestinventions/inventions/medicine4.html>

ボットスーツ」を試作している。ASIMOの制御ソフトウェア技術を注入すれば、高機能、廉価な装置実現の可能性がある。

トヨタは、リハビリ用パワースーツ「歩行アシスト」を開発中。「ロボット事業を中核事業に育てる」方針の下、介護・医療分野を主要ターゲットにロボット開発を進めている。

4. おわりに

福祉、医療、農業などの分野では弱者を支援する「パワーアシストスーツ」の開発が実用間近である。土木分野でも多くの就労者が腰痛や過労に悩まされている。

地上に置かれたものを持ち上げ、移動し、荷台に持ち上げるなどは、福祉の介護者の作業と何ら違いはない。リハビリ対応の補助服を荷役作業に用いる場合に、実作業に対応した基本的な動きに対応可能な動作解析に基づく制御系の整合性の確認、電源供給や防滴構造など屋外現場に即した設計、経済性の展望など、土木現場のニーズを開発者に伝える必要がある。

【参考文献】

- Shiro Fujita 他「RESCUE ROBOT “T-52ENRYU”」 ISARC2006 2006.9
- 田中孝之「農作業支援のためのパワースーツ」 IST NEWS No.11 2007.10 北海道大学大学院情報科学研究科
- 藤本弘道、植田慶輔「生体と機械の協調性・親和性を考慮したパワーアシストスーツの研究開発」松下テクニカルジャーナル 2004VOL.50 No.6 2004.12