

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2005～2008
 課題番号：17206045
 研究課題名（和文）自律・随意複合型サイバニックロボットスーツの開発とその基盤技術化
 研究課題名（英文）Development of Hybrid Assistive Limb and technologizing the base
 研究代表者
 山海 嘉之（SANKAI YOSHIYUKI）
 筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授
 研究者番号：30183833

研究成果の概要：

本研究では Cybernetics, Mechatronics, Informatics を中心として、脳・神経科学、行動科学、システム制御工学、ロボット工学、IT 技術、心理学、生理学、システム統合技術などが融合複合した人間・機械・情報系の融合複合新領域「サイバニクス」を駆使し、人間の意思に従う随意制御機能とロボットの自律制御機能を両立するハイブリッド制御機能など、様々な機能を複合した「サイバニックロボットスーツ」を開発し、開拓によって得られた各種技術を多くの分野で適用可能な次世代基盤技術として体系化した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	14,200,000	4,260,000	18,460,000
2006年度	10,200,000	3,060,000	13,260,000
2007年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
2008年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
総計	33,600,000	10,080,000	43,680,000

研究分野：工学

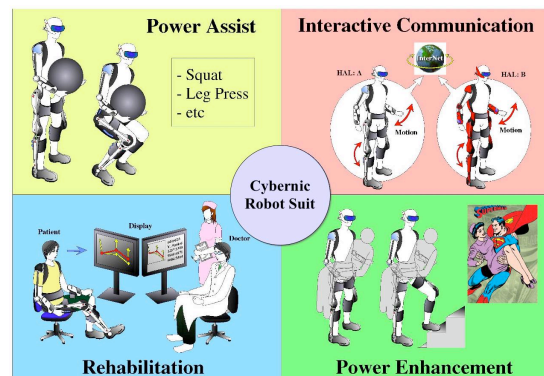
科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：ロボットスーツ、サイバニクス技術、下肢動作支援、パラメータ調整、環境確認、医療福祉、バーチャルリアリティ、インタラクション

1. 研究開始当初の背景

我々は、世界に先駆けて人間の意思通りに身体運動機能を拡張し増幅する下肢用「ロボットスーツ」の開発に成功した。ロボットを身につけるという発想で人間と機械を一体化させる当該技術は、人間の身体能力の向上を実現する革新的なものである。このイノベーションの活用範囲は極めて広く、医療福祉分野、重作業分野、レスキュー分野、エンターテインメントなど様々な分野での応用が期待される。

この成功の背景には、人間・機械・情報系を



融合複合した新しい学術「サイバニクス」開拓が必須であった。サイバニクスは、Cybernetics, Mechatronics, Informatics を中心とし、脳・神経科学、行動科学、システム制御工学、ロボット工学、IT 技術、心理学、生理学、システム統合技術などが融合複合した新しい分野である。

2. 研究の目的

サイバニクス技術によって構築された人間・機械・情報系の一体化／共依存システムを「サイバーノイド」と呼ぶ。当該研究では、これまでの科学研究費の補助により実現された着実な研究成果を背景として、サイバーノイド化された各種ロボットスーツ「サイバニックスロボットスーツ」の開発と次世代基盤技術の開拓に焦点をあて、以下の目的を達成する。

- (1) 下肢用サイバニックスロボットスーツの開発
- (2) 上肢用サイバニックスロボットスーツの開発
- (3) サイバニックスリムの開発

3. 研究の方法

- (1) 下肢用サイバニックスロボットスーツの開発

重度運動機能障害対応ロボットスーツとして、下肢の股関節、膝関節、足関節の動作が制御可能な HAL-5 LB Type-C を新規に開発した。転倒回避機能として、ロボットスーツの動作支援時において、転倒が開始した場合に、HAL が自律的に一歩踏み出すことで、転倒を回避する制御手法を提案した。転倒検知は、HAL 装着者の足裏床反力情報をもとに行われ、同時に踏み出し脚が選択される。踏み出し脚の着地位置に関しては、一歩の踏み出しによって停止が可能になるよう、転倒検知時の上体角度及び角速度に応じて決定される。そして、初期位置と着地位置を結ぶ軌道を生成し、その軌道に対して追従制御を行うことで転倒回避動作を実施する。

- (2) 上肢用サイバニックスロボットスーツの開発

ロボットスーツ HAL によって麻痺患者の上肢を直接動かすことで麻痺患者が自身の腕を使って自立した食事動作が可能な上肢型 HAL を開発した。設計製作した上肢型 HAL は食事動作に必要なリーチング動作と手先姿勢制御を支援するために、肩 3 自由度、肘 2 自由度、手部 2 自由度の人間の四肢の 7 自由度で、それらすべての動作を支援する機能を有する。さらに、上肢麻痺患者が簡易に装着できる機構を有する。製作した上肢型 HAL のティーチングプレイバックによる軌道生成、制御手法と人間の関節可動域を考慮した

軌道生成、制御手法の開発を行った。後者では、リーチング動作の軌道生成において、人間のリーチング動作を模擬した躍度最小モデルによる軌道生成を行った。

- (3) サイバニックスリムの開発

従来の義足で不可能であった膝関節を随意に屈曲伸展する動作や膝関節を駆動しながらの階段上り・障害物またぎ動作を可能とし、また、歩行や立ち上がり動作をより楽に行える随意制御可能な義足型サイバニックスレッグの開発をした。サイバニックスレッグはロボットスーツ HAL の技術を活用してシステムを構築しており、膝関節にパワーユニットを有し、屈曲伸展動作をアシストする。膝関節の制御には、装着者の生体電位信号に従って駆動トルクを発生させる“Cybernic Voluntary Control”と、義足側の股関節・膝関節角度および両足の床反力センサの情報からロボットの動作を実現する“Cybernic Autonomous Control”を組み合わせたハイブリッド制御を用いる。

4. 研究成果

- (1) 下肢用サイバニックスロボットスーツの開発

提案した転倒回避手法の検証のため、対象者を下肢運動機能障害者と想定し、下肢の各関節を自由に動かせるマネキンにロボットスーツを装着させて、想定実験を行った。実験結果より、立位姿勢からの転倒時に、ロボットスーツが自律的に脚を一歩踏み出すことで、転倒動作をロボットスーツが回避することが可能となり、提案した手法の有用性を確認した。

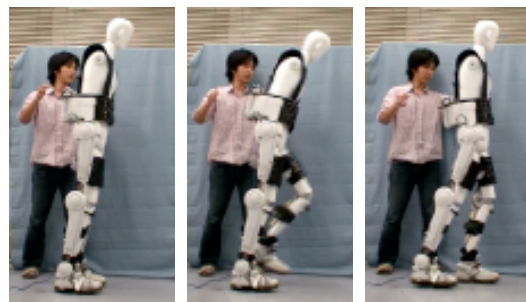


Fig. 1 下肢用ロボットスーツの転倒回避動作

- (2) 上肢用サイバニックスロボットスーツの開発

開発した上肢用サイバニックスロボットスーツを Fig.2 に示す。提案したシステムの検証実験として関節可動域の確認実験、装着機構の動作確認実験、人が装着しないロボットスーツ単独での動作実験、脱力した健常者に装着し食事動作を支援する実験を行った。その結果、関節可動域、装着機構が食事支援システムとして有用であることを確認した。ま

た、提案したティーチングプレイバックによる軌道生成手法による制御系により、食事動作に必要なリーチング動作を支援し、装着者が食事動作を実現できることを確認した。

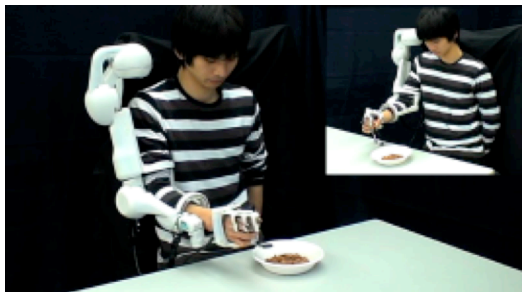


Fig. 2 上肢用サイバニックロボットスーツ

(3) サイバニックリムの開発

開発したサイバニックレッグを Fig.3 に示す。サイバニックレッグの有用性を検証するため、大腿切断者による実証試験を行った。実験により、従来の義足では不可能であった膝関節を随意に屈曲伸展する動作や膝関節を駆動しながらの階段上り・障害物またぎ動作を可能とし、特に、膝関節を随意に屈曲伸展する動作において、「義足の膝が思い通りに曲がるので自分の脚のように感じられる」という感想を得た。また、歩行動作、立ち上がり動作、座り込み動作についても実現され、特に、歩行動作と立ち上がり動作については、「アシスト感が得られ動作が楽に行える」という感想を得た。



Fig. 3 サイバニックレッグ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計9件)

- 1) K.Suzuki, G.Mito, H.Kawamoto, Y. Hasegawa, Y.Sankai: Intention-Based Walking Support for Paraplegia Patients with Robot Suit HAL, Advanced Robotics, Vol.21, pp.1441-1469,2007,査読有
- 2) H.Toda, T. Kobayakawa, Y. Sankai: A multi-link system control strategy based on biological reaching movement, Advanced Robotics, Vol.20 No.6, pp.661-679,2006,査読有
- 3) S.Ikeda, H.Kawamoto, K.Kasaoka, Y.Hitomi, Y.Sankai, H.Ohne, S.Haga, and T.Tgakemasa: Muscle type specific response of PGC-1 α and oxidative enzymes during voluntary wheel-running in mouse skeletal muscle, Acta Physiologica, Vol. 188, Issue 3-4, pp.217-223,2006,査読有
- 4) M.Nishida, T.Yamane, O.Maruyama, Y.Sankai and T.Tsusui : Computational fluid dynamic analysis of the flow around the pivot bearing of the centrifugal ventricular assist Device (Effects of design variations of the washout hole, the pivot and the back gap), The Japan Society of Mechanical Engineers (JSME) International Journal, Series C, Vol.49 , No. 3, pp. 837-851,2006,査読有
- 5) 戸田英樹,小早川達,山田博,山海嘉之:超音波を利用した高速呼吸センサの開発,生体医工学, 44巻4号, No718 (第2稿), 2006, 査読有
- 6) H.Toda, Y.Sankai : Three-dimensional link dynamics simulator based on N-single-particle movement, Advanced Robotics, Volume 19,Number 9, pp.977-993(17), 2006, 査読有
- 7) H.Kawamoto,Y.Sankai: Power assist method based on phase sequence and muscle force condition for HAL,Advanced Robotics,vol.19,No7, pp.773-795,2005,査読有
- 8) S.Lee,Y.Sankai: Virtual Impedance Adjustment in Unconstrained Motion for Exoskeletal Robot Assisting Lower Limb,Advanced Robotics, vol.19,No.7,pp.773-795,2005, 査読有
- 9) 李秀雄, 山海嘉之:装着型下肢用パワーアシストシステムによる振り運動での仮想インピーダンス調整に関する研究,

日本機械学会誌C編, 71巻, 705号,
pp.1686-1695,2005, 査読有

〔学会発表〕(計22件)

- 1) Yoshiyuki Sankai, Leading Edge of Cybernics and Future Robotics, IEEE-RAS International Conference on Humanoids 2008, 2008.12.13, ダエジョン (韓国)
- 2) 山海 嘉之, 次世代の動作補助ロボット・HAL, リハビリテーションケア合同研究大会, 2008.11.7, フェニックスプラザ福井 (福井県)
- 3) Yoshiyuki Sankai, Cybernics - based Solutions for the Ageing Society, The Silver Market Phenomenon: Business Opportunities and Responsibilities in an Era of Demographic, 2008.11.1, 国連大学 (東京都)
- 4) 山海 嘉之, サイバニクス: 人・機械・情報系の融合複合, 日本神経回路学会第18回全国大会, 2008.9.24, 産業技術総合研究所 (茨城県)
- 5) 山海 嘉之, 神経内科治療と工学の接点-ロボットスーツの医療への応用-, 第26回日本神経治療学会総会, 2008.6.27, 新横浜プリンスホテル (神奈川県)
- 6) 山海 嘉之, 失われた機能をどう補うかロボットスーツの開発, 第45回日本小児外科学会, 2008.5.29, つくば国際会議場 (茨城県)
- 7) Yoshiyuki Sankai, HAL(Hybrid Assistive Limb)based on Cybernics, 日本小児神経学会50回記念国際シンポジウム, 2008.5.28, ホテル日航東京 (東京都)
- 8) Yoshiyuki Sankai, Robot Suit HAL(Hybrid Assistive Limb)for SCI rehabilitation, 3rd Olfactory Mucosa Autografts for chronic spinal cord injury, 2008.5.9, ケファロニア (ギリシャ)
- 9) 山海 嘉之, サイバニクス: 人・機械・情報系の融合複合, 電子情報通信学会総合大会, 2008.3.19, 北九州市ひびきの学術研究都市会議場 (福岡県)
- 10) 山海 嘉之, サイバニクス 人間支援テクノロジー 脊髄損傷に対する支援テクノロジーの展望, 第1回日本嗅粘膜移植研究会, 2008.2.9, 大阪大学中之島センター (大阪)
- 11) 山海 嘉之, 最先端技術とリハビリテーションについて, 第36回四国理学療法士学会, 2007.12.2, 愛媛十全医療学院 (愛媛県)
- 12) 山海 嘉之, HAL: Hybrid Assistive Limbs, 第37回日本臨床神経生理学会学術大会, 2007.11.23, 栃木総合文化センターB会場 (栃木県)
- 13) 山海 嘉之, 夢拓く人と技術との共生—HALの開発を通して, 人間福祉学会2007 in 岐阜, 2007.11.17, 岐阜グランドホテル (岐阜県)
- 14) 山海 嘉之, 重度脊髄損傷者のリハビリテーション効果と支援機器開発の展望, 第42回日本脊髄障害医学会シンポジウム, 2007.11.9, 大宮ソニックシティ (埼玉県)
- 15) 山海 嘉之, サイバニクス最前線: サイボーグ型ロボット技術と人間支援, 第35回日本救急医学会総会 学術集会, 2007.10.18, リーガロイヤルホテル大阪第3会場 (大阪府)
- 16) 山海 嘉之, 人支援と次世代ロボット技術, 平成19年度 (社)日本機械学会茨城講演会, 2007.9.28, 茨城大学 (茨城県)
- 17) 山海 嘉之, 医療福祉サイバニクス, (社)日本機械学会, 創立110周年 2007年度年次大会, 2007.9.11, 関西大学BIGホール100 (大阪府)
- 18) 山海 嘉之, 高齢化時代を支援するロボットスーツHAL, 第26回日本医用画像工学会大会, 2007.7.21, つくば国際会議場 (茨城県)
- 19) 山海 嘉之, ロボットスーツの現状と今後の展開, 電気学会 センサ・マイクロマシン準部門, 2007.7.2, 筑波大学大学会館 (茨城県)
- 20) 山海 嘉之, 少子高齢社会を支える最新技術「サイバニクス」—ロボットスーツHAL、そして、統合メディケアへ、第57回日本病院学会, 2007.6.14, つくば国際会議場 (茨城県)
- 21) Hayashi T., Kawamoto H. and Sankai Y.: Control Method of Robot Suit HAL working as Operator's Muscle using Biological and Dynamical Information, Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2005), CD-ROM, pp.3455-3460, 2005, アルベルタ (カナダ)
- 22) Kim Seon Hoon and Sankai Yoshiyuki: Task Generation for Humanoid Robo Walikng using Human Motion by Phase Sequense, Proc. of 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2005), CD-ROM, pp.524-530, 2005, ナッシュ

ビル (USA)
〔図書〕 (計 2 件)

- 1) 山海嘉之: 地域リハビリテーション,
介護ロボットスーツ HAL, 三輪書房,
pp.679-684, 2007
- 2) 山海嘉之, 松原洋子: 現代思想,
サイボーグ患者宣言,
杏林書院, pp.48-67, 2007

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 19 件)

- 1) 名称: 重心位置検出装置及び重心位置検
出装置を備えた装着式動作補助装置
発明者: 山海嘉之
権利者: 筑波大学
種類: 特許出願
番号: PCT/JP2008/72344
出願年月日: 2008.12.9
国内外の別: 国外
- 2) 名称: 装着式動作補助装置
発明者: 山海嘉之
権利者: 筑波大学
種類: 特許出願
番号: PCT/JP2008/72081
出願年月日: 2008.12.4
国内外の別: 国内
- 3) 名称: 装着式動作補助装置のフレーム構
造
発明者: 山海嘉之
権利者: 筑波大学
種類: 特許出願
番号: 2008-248774
出願年月日: 2008.9.26
国内外の別: 国内
- 4) 名称: 生体信号計測装着具及び装着式動
作補助装置
発明者: 山海嘉之
権利者: 筑波大学
種類: 特許出願
番号: 2008-232091
出願年月日: 2008.9.10
国内外の別: 国内
- 5) 名称: 装着式動作補助装置の動作補助シ
ステム及び装着式動作補助装置及び装
着式動作補助装置の動作補助方法
発明者: 山海嘉之
権利者: 筑波大学
種類: 特許出願
番号: PCT/JP2008/064700
出願年月日: 2008.8.18
国内外の別: 国外
- 6) 名称: 装着式動作補助装置の動作補助シ
ステム及び装着式動作補助装置及び装
着式動作補助装置の動作補助システム
発明者: 山海嘉之

- 権利者: 筑波大学
種類: 特許出願
番号: 2008-208027
出願年月日: 2008.8.12
国内外の別: 国内
- 7) 名称: 装着式動作補助装置、装着式動作
補助装置のキャリブレーション装置、及
びキャリブレーション用プログラム
発明者: 山海嘉之
権利者: 筑波大学
種類: 特許出願
番号: 2008-200028
出願年月日: 2008.8.1
国内外の別: 国内
 - 8) 名称: 装着式動作補助装置、基準パラメ
ータデータベース構築装置、装着式動作
補助装置における駆動制御方法、基準パ
ラメータデータベース構築方法及びそ
のプログラム
発明者: 山海嘉之
権利者: 筑波大学
出願: 特許出願
番号: 2008-181472
出願年月日: 2008.7.11
国内外の別: 国内
 - 9) 名称: 装着式動作補助装置、装着式動
作補助装置の制御方法および制御用プ
ログラム
発明者: 山海嘉之
権利者: 筑波大学
出願: 特許出願
番号: 2008-087681
出願年月日: 2008.3.28
国内外の別: 国内
 - 10) 名称: リハビリテーション支援装置
発明者: 山海嘉之
権利者: 筑波大学
種類: 特許出願
番号: 2008-056674
出願年月日: 2008.3.6
国内外の別: 国内
 - 11) 名称: リハビリテーション支援装置
発明者: 山海嘉之
権利者: 筑波大学
種類: 特許出願
番号: PCT/JP2008/054890
出願年月日: 2008.3.17
国内外の別: 国外
 - 12) 名称: 重心位置検出装置及び重心位置検
出装置を備えた装着式動作補助装置
発明者: 山海嘉之
権利者: 筑波大学
種類: 特許出願
番号: 2007-337166
出願年月日: 2007.12.27
国内外の別: 国内
 - 13) 名称: 装着式動作補助装置

- 発明者：山海嘉之
権利者：筑波大学
種類：特許出願
番号：2007-330628
出願年月日：2007.12.21
国内外の別：国内
- 14) 名称：埋め込み型動作補助装置及びその制御方法およびプログラム
発明者：山海嘉之
権利者：筑波大学
種類：特許出願
番号：2007-267076
出願年月日：2007.10.12
国内外の別：国内
- 15) 名称：動作補助装置及び動作補助装置の保守管理システム
発明者：山海嘉之
権利者：筑波大学
種類：特許出願
番号：PCT/JP2007/068856
出願年月日：2007.9.27
国内外の別：国外
- 16) 名称：回動調節装置及び回動装置の制御方法
発明者：山海嘉之
権利者：筑波大学
種類：特許出願
番号：PCT/JP2007/068751
出願年月日：2007.9.27
国内外の別：国外
- 17) 名称：動作補助装置及び動作補助装置の保守管理システム
発明者：山海嘉之
権利者：筑波大学
種類：特許出願
番号：2007-242648
出願年月日：2007.9.19
国内外の別：国内
- 18) 名称：装着式動作補助装置及びその制御方法及びプログラム
発明者：山海嘉之
権利者：筑波大学
種類：特許出願
番号：2007-228868
出願年月日：2007.9.4
国内外の別：国内
- 19) 名称：回動調節装置及び回動装置の制御方法
発明者：山海嘉之
権利者：筑波大学
種類：特許出願
番号：2006-079247
出願年月日：2006.3.22

○取得状況（計4件）

- 1) 名称：装着式動作補助装置

- 発明者：山海嘉之
権利者：筑波大学
種類：特許取得
番号：第4200492号
取得年月日：2008.10.17
国内外の別：国内
- 2) 名称：装着式動作補助装置及び制御用プログラム
発明者：山海嘉之
権利者：筑波大学
種類：特許取得
番号：第4178187号
取得年月日：2008.9.5
国内外の別：国内
- 3) 名称：装着式動作補助装置、装着式動作補助装置の制御方法および制御用プログラム
発明者：山海嘉之
権利者：筑波大学
種類：特許取得
番号：第4178186号
取得年月日：2008.9.5
国内外の別：国内
- 4) 名称：装着式動作補助装置、及び装着式動作補助装置における駆動源の制御方法、及びプログラム
発明者：山海嘉之
権利者：筑波大学
種類：特許取得
番号：第4178185号
取得年月日：2008.9.5
国内外の別：国内

〔その他〕

筑波大学大学院 サイバニクス研究室
<http://sanlab.kz.tsukuba.ac.jp>
筑波大学 サイバニクス国際教育研究拠点
<http://www.cybernetics.tsukuba.ac.jp>

6. 研究組織

- (1)研究代表者
山海 嘉之 (SANKAI YOSHIYUKI)
筑波大学・
大学院システム情報工学研究科・教授
研究者番号：30183833
- (2)研究分担者
葛岡 英明 (KUZUOKA HIDEAKI)
筑波大学・
大学院システム情報工学研究科・教授
研究者番号：10241796
長谷川 泰久 (HASEGAWA YASUHISA)
筑波大学・
大学院システム情報工学研究科・准教授
研究者番号：7003675