「人に役立つ」研究開発 技術との真の共存を目

技術先進性を追求し、高級鋼材を中心に総合力世界ナンバーワンの鉄鋼メーカーを目指す新日鉄。その事業基盤は、市場ニーズを的確に捉えたスピーディな研究・技術開発が支えている。新春の技術対談では、人間、機械、情報分野などを融合した新領域研究「サイバニクス（Cybernics）」（※1）を提唱し、装着するだけで意のままに人間の動きをサポートしてくれるロボットスーツ「HAL（Hybrid Assistive Limb）」（※2）を開発した筑波大学大学院教授の山海嘉之氏をお迎えし、代表取締役副社長／技術開発本部長の二村文友が、「人と技術の融合」のあり方や製造業における「人を支援する技術」の方向性、研究者に求められる資質などについてお話を伺った。

筑波大学大学院 システム情報工学研究科 教授
山海 嘉之氏

「なぜ」を追求する好奇心・探究心が旺盛だった少年時代

二村　今年の新春対談は、新領域研究「サイバニクス」の開拓を推進され、1992年からロボットスーツ「HAL」の開発・実用化に取り組まれている筑波大学大学院教授の山海嘉之氏をお招きしました。現在、「HAL」は住宅・医療・福祉分野などでの実用・量産化が期待されていますが、私自身、山海先生のさまざまなご発言に接する中で、「人を支援する技術」「人と技術の共存」という研究開発理念に共感し、ぜひお会いしたいと思っていました。先生の研究内容がそのまますぐ鉄鋼業に適用できるかどうかはわかりませんが、本日は、装置産業である当社へのアドバイスを含めて、広範なお話をお伺いしたいと考えています。まず初めに、先生が研究者、中でもロボット研究を志したきっかけをお聞かせください。

山海　小学３年生のころ、風邪をひいたときに母が買ってきてくれた本の中にアイザック・アシモフの『アイ・ロボット』（※3）

さんかい・よしゆき　1958年岡山県生まれ。87年筑波大学大学院工学研究科修了。工学博士。日本学術振興会特別研究員、筑波大学助教授などを経て現職に。日本ロボット学会会員。ロボット開発には、工学だけではなく人間の生身を知る必要があるとの考えから、さまざまな分野の医学研究者と連携し、脳・神経科学、行動科学、ロボット工学、心理学、生理学、ITなどが融合した「サイバニクス（Cybernics）」という新たな学問分野の開拓を推進する。その成果としてロボットスーツ「HAL」を開発、大きな反響を呼ぶ。2004年6月には「HAL」の製造・販売のためのベンチャー企業「CYBERDYNE（サイバーダイン）」を設立。05年「世界テクノロジー賞」大賞、06年「グッドデザイン賞」金賞、06年「日本イノベータ大賞」大賞、07年第5回産学官連携功労者表彰「経済産業大臣賞」、07年「つくばベンチャー大賞」大賞などを受賞。またその間、日本ロボット学会、国際人工臓器学会、米国人工臓器学会、国際連続流人工心臓学会などのAWARD（賞）を受賞。日本ロボット学会理事、日本栓子検出と治療学会会長などを歴任。

※1 Cybernics：サイバネティックス、メカトロニクス、インフォマティックスを軸に、脳・神経科学やロボット工学、IT、システム統合技術、感性学、心理学、生理学、経済学、法学、倫理学などの領域を統括した学問体系。

を通して指す

© Prof. Sankai University of Tsukuba / CYBERDYNE Inc.

があり、それを読みながら漠然と「ロボットを開発する科学者・博士になりたい」と思ったのが最初です。小学４年生のときには母から「まだ目は離さないけど、手は離すわね」と言われました（笑）。おもちゃはあまり買ってくれませんでしたが、顕微鏡やフラスコなどの実験器具は買い与えてくれて、最初に買った顕微鏡は今でも研究室に置いてあります。

そのころ、ラジオや発振器などの電子機器を作ることも好きで、あるとき真空管を買いに行った電気屋で、欲しかった真空管がなく「型番が違うがこれで大丈夫」と代替品を買わされ、子ども心に不安を感じながらも使ってみるとちゃんと動く。そこでまず、同じではなくても原理が合っていれば動くという「模倣から工夫」への発想転換が起こりました。実験キットのようなものではなく部品から自分で集めて、手に入らなかったら他のものに置き換えてみるということを繰り返し、小学５年生になるころには、「原理と原理を組み合わせて」今までにないものを作ろうとするようになりました。ただしその段階では、ある程度の知識がないと次のステージに

『アイ・ロボット』角川文庫(左)、早川書房(右)

新日本製鉄（株）代表取締役副社長
技術開発本部長
二村 文友

※2 HAL：直訳すると「融合による補助的な腕・足」。人間と機械が一体化するロボットスーツ。筋肉を動かそうとしたときに脳から発生する微弱な生体電位信号を皮膚に貼ったセンサがとらえ、関節のモーターが駆動して身体機能を補強する仕組み。05年の「愛・地球博」で華奢な青年が女性を軽々と持ち上げる姿が観客の度肝を抜いた。
※3『アイ・ロボット』：SF作家 アイザック・アシモフの短編集。ロボット工学3原則「人に危害を加えない」「人の命令に服従する」「自己を守る」を説いている。

行けないので、全集のような書籍を購入して、辞書を片手に漢字を調べながら理解していきました。

二村　将来への漠然とした夢を描く一方で、目の前のものをふと「作ってみたい」と思うと熱中して止まらない。作るために必要なものを求めに走るのは当然のこと、作るために必要な知識まで、学校で習ったとか習っていないとかに関係なく、自分の力で修得していったわけですね。

山海　そうですね。中学生になると、今度は『レーザーの基礎と実験』という書籍に目が止まり、子どもには炭酸ガスやアルゴンガスは扱えませんが、ルビーレーザー発振器なら作れると思い、母の宝石箱をガチャガチャにして叱られましたね（笑）。そこで「ルビーって何だろう」と調べると、大半が酸化アルミニウムであることがわかり、「なんだ安物じゃないか」と、酸化させたアルミを沢山集めて熱したりしていました（笑）。

誰に教わることもなく、自分が興味を持つと調べて、動いて、試し、たとえうまくいかなくてもそれは失敗ではなく、次のチャレンジに頭を切り替える大切なきっかけだと考えていました。そして電気・電子を学びながら化学、生物などさまざまな分野に関わり、結果的に専門概念のない自分がいました。

二村　目的的に突き進んでいるうちに、従来にない分野に自分がいることに気づいたということですね。大学時代のことを詳しくお聞かせください。

人を喜ばせたい気持ちと異分野協業が生んだ新領域「サイバニクス」

山海　大学院では他の学生と同じように研究論文を書いて一度は関連する学会に入りましたが、博士課程修了後に所属していたほとんどの学会を辞めました。それは私にとって「よし！ 次へいこう」という合図でもあります。自分を一度リセットして、その後の２年間は論文も書かずに人生のグランドデザイン、つまり将来の研究ビジョンの設定とその内容整理で過ごしました。

その間、他の先生方のゼミなどに参加して、ロボットや制御装置だけではなく、生物学分野をはじめとするさまざまな研究のお手伝いをしました。電子カルテの導入に悩む病院向けのデータベース製作や、学内で必要とされる成績処理プログラム製作など自分の専門外の分野もありましたが、「そこを何とか…」の一言に弱く、何かリクエストがあると応える癖がつき、その経験がすべて自分の血や肉に変わっていきました。振り返ると常に傍に「人」が居て、その関わりから生まれるニーズに応えてきました。研究の動機は「人に役立つもの、喜んでもらえること」に尽きます。そしてこの2年間が現在の自分の基盤となっています。

二村　人の役に立つためにやるべきことを考え、その実現のためにとことん考え抜いて突き進んでいく姿勢が培われたのですね。「人の役に立ちたい」という強い信念はどのように育まれたのでしょうか。

山海　少年時代に繰り返し観ていたTVアニメで、「勧善懲悪」の概念が刷り込まれたような気がします。中でも「鉄腕アトム」に惹かれたのは、鉄腕アトムを作りたいということではなく、そこに描かれている「人間模様」でした。道徳観を持ち人間味溢れる鉄腕アトムはある意味で「人間の理想像」です。そこに人間に対するコントリビューション（貢献）のような概念が培われたように思います。人と技術が共存共栄し、共に生きるスタイルを探ることが現在の研究につながっていると思います。

二村　さまざまな経験を経て、そういう哲学を実践していくために、新たな学術領域として「サイバニクス」を提唱し、立ち上げたわけですが、確立された経緯をお聞かせください。

山海　自分で全部やらないと気が済まない性格もあり、研究を深めるにあたって、医学部に行き医学博士号も取ろうと考えました。しかし指導教官から、「自分が取得するのではなく医学の人たちと連携してみたらどうか」と言われ、実際にそうしてみて感動しました。自分が到達するには時間がかかる答えを目の前で出してくれる。そうした協業が図れるようになり、最終的に、医学との融合に焦点を当ててひたすら走り込み、それがサイバニクスという新領域の開拓につながりました。サイバニクスが目指す方向性は、人の生活に密着した技術で社会貢献することです。

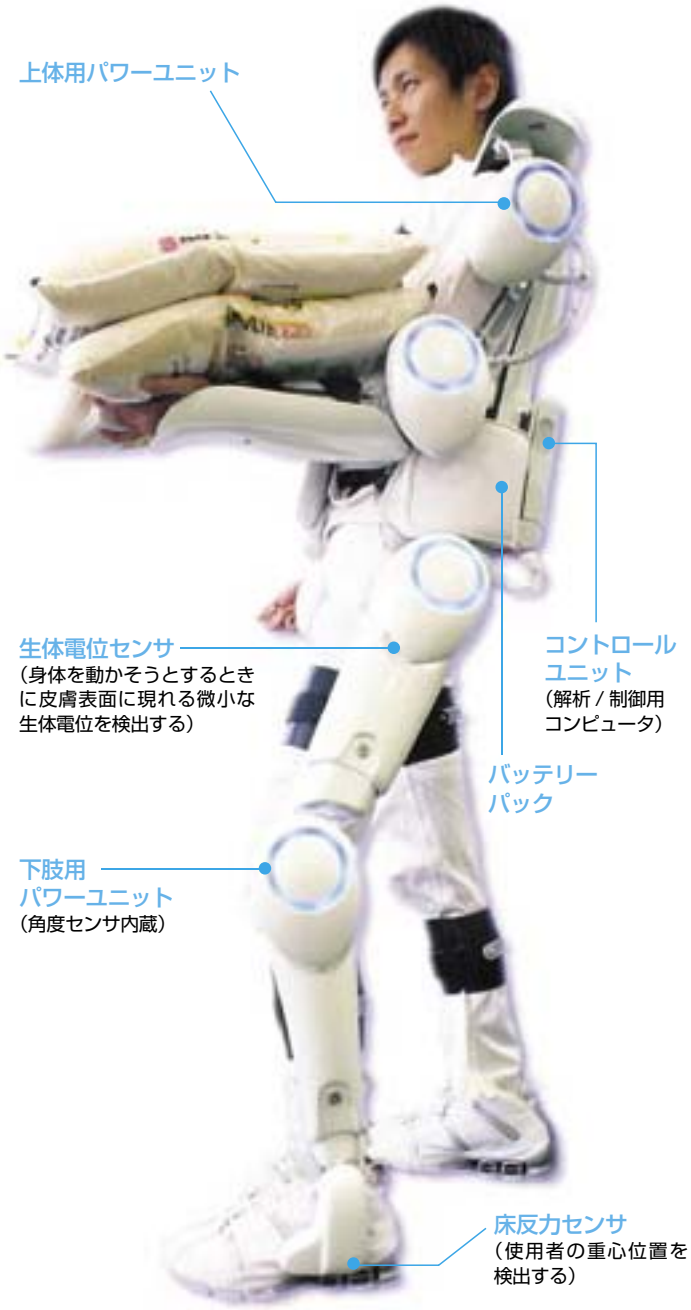
筑波大学の研究室にて

© Prof. Sankai University of Tsukuba / CYBERDYNE Inc.

脊髄を損傷された方の登山の夢をかなえる― HAL を装着した理学療法士が背負い、スイス・アルプスの登山を実現。

© Prof. Sankai University of Tsukuba / CYBERDYNE Inc.

医学にもさまざまな分野がありますが、現在の立場は、協業の中でそのすべてにタッチすることができます。「人が喜ぶこと」を一生懸命追求する中で、その研究領域は広がるばかりで、そろそろ新たな学術分野として形にする時期が来たと感じました。2004年からは筑波大学大学院システム情報工学研究科内で、学際・横断的に次世代の基盤となる研究を行うグループ「次世代ロボティクス・サイバニクス（通称UTARC）」として活動を開始し、2007年に、文部科学省の「国際研究教育拠点（グローバルCOEプログラム）」(※4) にも選定され、グローバルCOEサイバニクス国際拠点の拠点リーダーをしています。



HAL（Hybrid Assistive Limb）とその仕組み

© Prof. Sankai University of Tsukuba / CYBERDYNE Inc.

人と穏やかに密着・共存する技術の集大成「HAL」

二村　これまでの研究の一つの成果として誕生した「HAL」は、今までのお話にあったように、科学者の使命と良心を体現したものだと感じています。開発に込められた思いはどのようなものですか。

山海　根底には2つの考えがあります。一つは、他の動物は、厳しい自然環境の中で生き抜き、種を保存するための進化を遂げ続けていますが、人間はある段階で、技術を育てて身に付けることで自らの進化を止めた種族だということです。二つ目は、人間はある年齢から運動機能が低下していきます。昔は家族の中でケアする一つの循環が機能していましたが、現代は少子高齢化で独居老人が増加するとともに、介護の問題も深刻化しています。そうした状況の中で、個人の身体機能を技術で補えないかということです。

そのような考えに立つと、何らかの技術を身体に埋め込む方法も考えられますが、私自身、人工臓器の研究過程でそれがいかに難しいことかを痛感しています。手術などで身体を傷つけると生体防御システムが拒否反応を起こすからです。その点、皮膚のところまでであれば生体側は穏やかに受け入れてくれます。人間の動作を司る脳神経系の活動から筋骨格系の動きに至るまでの一連の現象には、すべて「イオン電流」が関与しています。体を動かそうとする意思は「電位」として検出できるので、皮膚の表面にそれを検出するセンサを貼れば、人間の意思と人工的なロボットが一体化する技術ができ、筋肉の代わりにロボットを使うことも可能です。それがHALの開発コンセプトです。

二村　無理やり身体に入っていくのではなく、人と技術が穏やかに共存することができる。例えば、簡単に言うと防寒用の服や視力を補うメガネのようなものですね。また、通常のロボット開発は、さまざまなセンサやプログラムを搭載してロボット単独で進化させていきますが、それはあくまでも人間の代替作業を行うものであり、真の意味で協調・融合するものではありません。

山海　そのとおりです。従来のロボットの仕掛けは、「話の飲み込みが悪いアシスタント」を抱えているようなもので、結局、人間がロボットを引っ張っているだけです。本当に役立てるためには、ロボットが人の一瞬先の行動を読んで、違和感なく動作させることができないと意味がありません。つまり、人間の意志を敏感に読み取り、身体の一部、筋肉と同じように機能させる必要があります。これは既成概念

※4　グローバルCOEプログラム：2002年度に文部科学省が設置した「21世紀COEプログラム」の評価・検証を踏まえ、国内大学院の教育研究機能の充実・強化を支援し、国際競争力を持つ大学づくりを推進することを目的とした事業。

として私たちが認識している情報伝達の系を逆行、部分的に先回りさせる「因果関係の逆転」です。HALにはそうした重層的な要素が組み込まれています。

また、従来型のロボットと同じような自律機能を持ちますが、決まった動きにならないように工夫しています。人間のさまざまな動作を精密に分析・分解した結果、言語による多彩な表現と同様に、すべての動作は基本的な単語のようなものの組み合わせで成立しているという仮説にたどり着きました。運動の最小単位である単語を組み合わせて一つの動作が生まれると考えると、基本的な単語の辞書さえ持っていれば、さまざまな状況に応じた運動を柔軟に組み立てることができます。この動作生体論を組み込んだことがHALが持つ自律系の最大の特徴です。

二村　今のお話を聞いて、そうした人に密着した技術だからこそ、サイバニクスには工学系だけではないさまざまな分野の見識が必要なのだと実感しました。

製鉄所は人体と同じ。大きな系としてのバランスが大切

二村　本日、山海先生には当社の君津製鉄所、技術開発本部（千葉県富津市）を見ていただきました。実際に製造現場をご覧になった印象はいかがですか。

山海　まず製鋼工程を拝見して、転炉という精錬容器の中に自動車約300台分の溶鋼が入っていることに驚きましたが、最初に受けた印象は「巨大プラント」だということです。巨大プラントは、ある意味で人間の体と同じです。人体は中枢神経などの大きな系の中でコントロールされていても、細かい部分は主体的にはコントロールされていません。

例えば、人間には各人相応の血圧や体温があり、化学反応を起こしながら結果的に個人や状況に合った動的平衡点に保たれています。製鉄所の巨大プラントもさまざまな細かい状況変化があっても全体として最適化できる動的平衡点があり、そうしたことを可能にする操業方法が好ましいのではないかと感じました。どこか一カ所だけを高度化しても駄目で、人間にとって食事が基本なのと同じように、基本的なことが健康管理、つまり最適な操業管理につながるのではないでしょうか。

二村　人体と同じように、製鉄所の操業は全体としてのバランスを取ることが大切です。設備の設計思想として、鉄鉱石を食べて、全消化器系を経て最終製品を生み出すだけではなく、そこで生まれたものを動脈系・静脈系の流れにきちんと乗せて、例えば途中で発生するスラグ、ダスト、CO_2などのさまざまな副生物を適正に処理・再利用していく。この2つの系のバランスが非常に重要です。

また、鉄鉱石を還元・溶解する高炉や還元剤を作るコークス炉の操業には膨大なエネルギーが必要ですが、その操業によって新たにガスが発生します。そうしたガスを製鉄所の自家発電や下工程のエネルギー源として活用しています。製鉄所によっては自家発電だけですべての電力を賄えるような所もあります。製鉄所の操業では、エネルギー活用の観点からそうした上・下工程のバランスも重要なファクターで

君津製鉄所全景。左上奥は技術開発本部（富津市）

転炉

CDQ

製鉄所では、鉄鋼プロセスで発生した副産物や排熱・副生ガスを適正に処理・再利用している。例えばCDQ(コークス乾式消火設備)は、コークスの冷却に水を使わず不活性ガスで消火し、赤熱コークスの顕熱を回収して発電し、CO_2排出量を削減する。

あり、そうした大きな循環の中で各設備が機能しています。

山海　人間で考えると、身体を構成する一つひとつの細胞は人体の健康のことなど意識せず、それぞれの細胞自身に課せられた役割を全うしているだけです。それと同様に、各工程や設備がそれぞれの役割をきちんと果たし、全体を司る中枢神経のようなシステムが上・下工程との相互作用や系の中で全体最適に導いていると考えることができますね。

二村　そうですね。今何を作るのかといった情報を流しながら、一つひとつの細胞である各設備、例えば何台かの圧延機で連続的に鋼材を薄くする際には、各圧延機がそれぞれの役割を果たし、それを中枢神経のような管理システムで一貫管理しています。そうした生産システムの集合体で鉄鋼業の巨大プラントは成り立っています。

現場との密接なコミュニケーションが新たな工夫を生む

二村　実は、今お話のあった巨大プラントという観点に加えて、製造現場で自動化・機械化されていない作業を一つひとつ見ていくと、まだまだ技術的な難しさがあって残念ながら人的な重労働に頼らざるを得ない場面が多々あり、本日先生に製鉄所を見ていただいた魂胆に、そういうところに対するご意見を伺いたいということがあります。

現場でものづくりを担う一人ひとりが、生きがいを持って仕事に取り組める環境づくりを行うことも私の使命の一つであり夢です。もちろんHALのような技術がそのまま適用できるとは思いませんが、先生が研究過程で構築されてきた概念や要素技術、そして人間と機械の共存への思いの中に、当社へのヒントがあると感じています。

山海　私の研究開発の根幹には「人の役に立ちたい」という思いがあります。自分が持つ技術にこだわらず、目的に応じた方法論を新たに生み出して技術を使いこなすことに喜びを感じる、そういう意味で私は「目的のためには手段を選ばない男」です（笑）。

拝見した中で、鉄鉱石運搬時にベルトコンベアから落ちた鉄鉱石を除去する「落鉱除去作業」については、自動化できないか、より人が使いやすい技術へはどのように置き換えが可能かなどアイデアがいろいろ浮かびました。また、富津で見せていただいた耐火物補修ロボットや人の眼の代わりになるセンサも大変興味深いもので、これらの機械や技術をどのように改良すればより使いやすいものになるか、考えてみたりしました。2週間ほど“丁稚奉公”して、実作業をもっと深く見ることができれば何らかの貢献を果たすことができるかもしれません。直面する課題に対して現場の方と設備技術開発の研究者が会話をして、「これが駄目ならこれは?」といった双方向の議論を重ねる中で新たな工夫が生まれると思います。

二村　おっしゃるとおりです。一見作業を見ただけでは、その作業の課題となる重層的な要素、要因は見えてきません。課題解決のための研究・技術開発の前提として、研究者が作業の一連の動きを深く洞察して現場のニーズを的確に把握することが大切ですね。

君津製鉄所にて　厚板工場の視察

君津製鉄所にて　鉄鉱石運搬で生じる落鉱除去作業の視察

山海　鉄鋼業では、製品だけではなく設備用の煉瓦など多くの重量物操作・運搬が不可欠のようですが、機械化が難しく、どうしても人が入り込まなければできない部分については、持ち上げて運ぶHALのような技術の適用も考えられます。

二村　そうですね。鉄鋼業に限らず、日本がものづくり立国としてあり続けるためには、原点となる現場技能を継承するとともに、作業者の負荷軽減などの諸課題を解決していかなければなりません。本日見ていただいた現場はごく一部ですが、鉄鋼業のような製造業には現段階でプログラム化、自動化できない多くの作業があります。実際にお話を伺って、特に静脈系の処理作業や、設備稼働率の向上に重要な役割を果たす設備点検・診断・整備・補修といった部分については、プログラムどおりに動くロボットではなく、先生が取り組まれている、「人間からの発信が引き金となり、それを前提とした人と機械の融合技術」という考え方に多くの示唆があると感じました。

チャレンジと人材育成で イノベーティブ・スパイラルを生み出す

二村　話は変わりますが、人材育成について少し伺いたいと思います。先生のお話を伺っていて、目的達成のためのチャレンジはまったく苦にならないという点に鍵がある気がします。先生は恐らく「人の役に立つ良い目的に出会い、これを達成することに没頭・熱中すれば、人は育つ」とおっしゃるのでしょうね。

山海　私の研究は闇雲ではなく目的を決めて行うスタイルですが、人材育成も同じです。日ごろ、学生には「目的を達成するために必要なことをツリー（樹形図）に書き出せ」と言っています。企業の研究者も何かに行き詰まったとき、一歩下がってツリーを書き直す手段を踏むことが重要な気がします。さらに、学生にリーダーとしての自覚を持たせるためには、成功体験を植え付けることが大切だと実感しています。

二村　企業の研究開発の目的はさまざまなニーズに応えることです。ニーズには、例えば社会の要請やお客様からの要望などありますが、ニーズに対する本質的な理解をした上で研究開発に没頭していくと、目的達成への情熱・熱意が生まれ、人が育ち、結果的に市場変化の先取りや開発のスピードアップが実現します。そして、それが当社の技術先進性を高めていくことにつながると確信していますし、同時に研究開発者の生きがいにつながっていきます。

山海　サイバニクスも明確な目的を前提とする基礎研究を実用研究に高め、きちんとものを作って社会にアウトプットすることで社会に貢献していきたいと思いますし、そこで生まれた課題解決への新たな目的意識を再度基礎研究にフィードバックしていくことが重要だと考えています。大学の研究も、生んだ技術に対して愛着を持って自ら育てる視点が大切です。今後、サイバニクスでの新産業創出と人材育成をセットに、革新的なチャレンジによるイノベーティブ・スパイラルを生み出していきたいですね。

二村　鉄鋼業は日本の製造業の基盤を支えており、社会ニーズに応える環境対応型の高度なプロセスや高機能鋼材などを創出し続けています。そうしたニーズに取り組み、人材育成のスパイラルアップを図るためにも、今後ますます産学連携を深めていきたいと思います。

技術開発本部 総合技術センターにて　人が入り込めない箇所の設備診断を可能にする特殊カメラの説明を受ける山海教授

内閣総理大臣表彰制度「第２回ものづくり日本大賞」経済産業大臣賞を受賞した「重荷重輸送鉄道用レール」。日本が世界に誇るオンリーワン技術として、世界７カ国で基本特許を取得し、鉱山鉄道などで採用され、高い評価を得ている。

ワクワク感を大切に、夢のある研究・技術開発に取り組む

二村　大学での研究活動と並行して、2004年にはHALの製造・販売を当面の目的とするベンチャー企業「サイバーダイン（CYBERDYNE）」を設立されました。今後の活動展開と抱負をお聞かせください。

山海　現在、原子力プラントの解体作業や送電用鉄塔の部材交換作業支援のためのHALを開発中ですが、目指すものは「人を支援する技術」です。また、現在、HALが標準装備している双方向通信システムを活用して、「HALを着用して自分の動作を他人に伝える」ことで、一時的な身体の機能不全を克服するリハビリ支援を行うことを考えています。一体を理学療法士が装着して、もう一体をリハビリされる方が装着することで、リハビリのやり方を体験・体感として伝えることができます。これは人類史上初めて、全神経に対して技能伝授を行える装置ができたと見ることもできます。

二村　重量物を扱う場合も作業や動きにはコツやツボがあり、ベテランがやると無駄な力がかかりません。現在、製造業では現場作業の技能伝承が大きな課題となっていますが、例えばベテランが装着することで若手にその動きが伝わり、その動きを別室で何度も再生することで高度かつ効率的な訓練を行うことができますね。

山海　実は、私はそうしたHALを博物館に置きたいんです。プロゴルファーのタイガー・ウッズなど、スポーツ界の著名選手に装着してもらってデータを蓄積すれば、300年後も歴史的名選手の動きを体感することができます。そう考えるだけでワクワクしてきます。このワクワク感が研究意欲の源泉ですね。

技術開発本部正面玄関にて

建設中のサイバーダイン社 研究開発・生産施設（完成予想図）

© 2007 CYBERDYNE Inc. All Rights Reserved.

二村　大変夢のあるお話ですね。本日、先生のお話をお伺いして、一見回り道と思えることも、目的を達成するために熱中して取り組んでいると、そのプロセスの中で視野が広がり、人は育ち、夢の実現の手段も見つかるのだということを自ら実証されてきたように拝察しました。

山海先生の今後ますますのご活躍を祈念しています。

本日はご多忙な中、貴重なお話を聞かせていただきありがとうございました。

（この対談は筑波大学 吉武博通副学長のご協力により、2007年11月13日に当社「紀尾井倶楽部」にて行われました）