



「ヒューマノイドリーグの歩み」

第6回

■ 荻野正樹 (大阪大学)

ヒューマノイドのサッカー競技

ヒューマノイドリーグは、ロボカップの多くのリーグの中でも「2050年に人間のサッカーのワールドカップのチャンピオンチームにロボットのチームが勝利する」という最終目標への最前線のリーグであるといえる。ヒューマノイドリーグは2002年に福岡で行われた第6回ロボカップ世界大会から公式のリーグとなった。当初は歩くこともままならず、競技も歩行競技や1対1のペナルティキックが中心であった。また、ロボットも外部電源、外部コントロールを利用することができた。現在はサイズによって3つのクラスからなり、最も小さなサイズである身長60cm以下のキッドサイズクラスでは、自律型ロボットが3対3のサッカー試合をするまでになってきている。人間と同程度の大きさである120cm、160cmサイズのクラスにおいてもサッカーの試合が始まりつつあり、この8年の間に技術レベルも大きく進歩してきた。本稿では、ロボカップヒューマノイドリーグの設立当初からの歩みを振り返るとともに、現在の競技について概説する。

ヒューマノイドリーグの概要

現在ヒューマノイドリーグは大きさによって、身長60cm以下のキッドサイズクラス、身長100～120cmのティーンサイズクラス、身長130～160cmのアダルトサイズクラスの3つのクラスからなる。ロボットは外部コントロール、外部電源は許されておらず、電源、制御コンピュータをロボットに搭載し自律制御をすることが求められている。また、ロボットに搭載するセンサも、人間と同様のセンサに限られており、全方位カメラなど人間の能力を著しく超えるセンサは禁止されている。競技はサッカー競技とテクニカルチャレンジの2つからなる。サッカー競技はチーム対抗の競技であり、クラスごとに、キッドサイズクラスでは3対3のサッカー、ティーンサイズクラスでは2対2のサッカー、アダルトサイズクラスでは1対1のドリブル&キッ

クラス	サッカー競技	テクニカルチャレンジ
キッドサイズクラス (30～60cm)	3対3サッカー	スローイン 障害物回避ドリブル ダブルパス
ティーンサイズクラス (100～120cm)	2対2サッカー	スローイン 障害物回避ドリブル ダブルパス
アダルトサイズクラス (130～160cm)	ドリブル&キック	スローイン 障害物回避ドリブル フットレース

表-1 ヒューマノイドリーグのクラスと競技

クが行われる。テクニカルチャレンジはサッカーにかかわる基本技術を競うことを目的としており、スローイン、障害物回避、パスなどの競技が行われる(表-1参照)。

例年、日本大会は5月の連休ごろに行われ、その年の1月ごろに参加募集のエントリーが行われる。世界大会は6月から7月に行われる。世界大会ではビデオと書類による事前審査が行われるが、その年の1月に審査のための仮登録、2月に審査結果の発表が行われる^{☆1}。世界大会では、特に優秀な成績を上げたロボットに対してベストヒューマノイド賞として、ルイ・ヴィトン社からルイ・ヴィトンカップが与えられることになっている(表-2に2002年から2010年までのベストヒューマノイドを示す)。2010年の日本大会は大阪工業大学で行われ、キッドサイズクラス7チーム、ティーンサイズクラス1チーム、アダルトサイズクラス2チームの合計10チームが参加した。シンガポールで行われた世界大会では、12カ国から、キッドサイズクラス24チーム、ティーンサイズクラス4チーム、アダルトサイズクラス5チームの合計33チームが参加し、熱戦を繰り広げた(図-1参照)。

歴史

ヒューマノイドリーグは2002年に福岡で行われたロボカップ世界大会から新たに加わった²⁾。初めてのヒューマノイドを使った世界的なロボット競技大会ということもあり注目を集めた。また2000年

^{☆1} 2011年は事前審査の受付締切は1月28日であった。詳細はリーグの公式ページ¹⁾とメーリングリストを参考のこと。

開催年(開催地)	チーム	国	ロボット
2010(Singapore)	Team Nimbro	Germany	Nimbro
2009(Graz)	Darmstadt Dribblers	Germany	Bruno
2008(Suzhou)	Team Osaka	Japan	Vstone TichnoR
2007(Atlanta)	Team Osaka	Japan	VisiON 4G
2006(Bremen)	Team Osaka	Japan	VisiON TRYZ
2005(Osaka)	Team Osaka	Japan	VisiON NEXTA
2004(Lisbon)	Team Osaka	Japan	VisiON
2003(Padua)	HITS Dream	Japan	FirStep
2002(Fukuoka/Busan)	Gifu Industries' Association	Japan	Nagara

表-2 歴代のベストヒューマノイド賞受賞ロボット

に登場したASIMO(本田技研工業(株))もゲストとして登場し模範演技を行って会場を盛り上げた。このときの大会では、身長は10cmから2.2mまで多彩なロボットが参加した。競技としては1分間の片足立ち、身長3倍の距離の往復、そしてペナルティキック(キッカーとキーパーに分かれて各チーム5回ずつ試行する)の競技が行われた。参加したロボットは自律型だけではなく、外部電源の利用や、外部からのコントロールも許されていた。そこで、競技の公平性と自立型/自律型への技術向上を促すためにパフォーマンスファクタというものが設けられた。パフォーマンスファクタとは「外部電源」「外部コンピュータ」「外部コントロール」「コマンドプラットフォーム」のそれぞれの項目について、1つの項目があてはまるごとに1.2倍のペナルティを与えるというものである。また、規定競技だけではなく、技術力をアピールするためのフリースタイルという競技も設けられた。2002年の大会では岐阜県生産情報技術研究所のロボットNagaraが優勝し、ルイ・ヴィトンカップが与えられた。2003年もほぼ同様のルールで競技が行われたが、このときは、ホンダのヒューマノイドをベースにしたHITS Dreamチーム(学校法人ホンダ学園ホンダテクニカルカレッジ関東)のロボットFirStepがベストヒューマノイド賞を獲得した。2003年から2004年は、競技としてもそれほど画像処理を必要とするものはほとんどなく、競技の成績は主にハードウェアの完成度と、歩行技術の良さによって決まっていたといえ



図-1 2010年シンガポール世界大会の様子



図-2 メタリックファイターと森永氏



図-3 超小型のヒューマノイドロボットと井藤氏



図-4 ホンダ学園 HITS Dream と子供のPK戦

る。たとえば、歩行競技においてもボールを認識するのではなく、歩いた歩数で次の行動を決定するなどが行われていた。参加者が主に大学のチームからなる他のリーグとは異なり、ヒューマノイドリーグでは、大学のほかに一般からの参加者が活躍していたということも特徴の1つである。このころ、国内大会ジャパンオープンでは、五輪の会チームのメタリックファイター（森永英一郎氏³⁾）、Silf-H2（井藤功久氏⁴⁾：日本ロボット学会最優秀賞）などが、ハードウェアとして完成度の高いロボットで観客を

沸かせていた（図-2、図-3参照）。

しかし、このころの大会はまだ競技会としては未熟であり、参加者の技術レベルを見ながらルールをその場で変更したり、参加者のロボットの準備が整うのを待ってから競技をスタートさせるなど、競技というよりはヒューマノイドを世間一般に紹介する場としての性質が強いものであった（たとえば、ロボットと子どものPK戦のデモンストレーションが行われた（図-4参照））。2004年からは、サッカーとテクニカルチャレンジ、フリースタイルの3つにまとめられた。サッカー競技はPK戦に相当するペナルティシュートである。テクニカルチャレンジは身長5倍の距離に置かれたボールまでを往復する歩行競技。3本のポールの間をすり抜けてゴールを目指す障害物歩行、上り坂と下り坂のあるコースを走破するバランスチャレンジ、ポールに向かってボールをキックするパスチャレンジの4つの競技が設けられた。フリースタイルは各チームが持つ技術を指定時間内に自由に表現する競技である（図-5参照）。2004年のベストヒューマノイド賞は、Team



図-5 フリースタイルでパスを披露する大阪大学 Senchans



図-7 ドリブル競技にチャレンジする Team Osaka

Osaka⁵⁾ (ヴイストン (株), 大阪大学, 大阪市) が獲得したが, Team Osaka はその後5年間ロボカップから撤退するまでベストヒューマノイド賞を総嘗めにした。

2005-2007

2005年から2007年は自立型/自律型ヒューマノイドのサッカー競技会として確立されていく過程であったといえる。パフォーマンスファクタは廃止され, 外部処理, 外部電源は完全に禁止となった。コマースプラットフォームの使用についても, ベースとなる機体はコマースであっても, さまざまな改造が施され, 境界があいまいになるために区別はしないことになった。サイズのクラスは40cm, 80cm, 120cmの3つに区分されていたが, 2005年からは65cm以下のキッドサイズクラスと65cm以上のティーンサイズクラスの2つのクラスに整理された。競技もキッドサイズクラスにおいて2対2

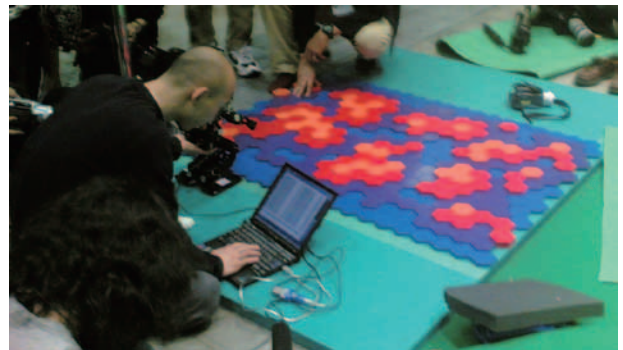


図-6 不整地歩行にチャレンジする坂本氏

のサッカーの試合が始まった。このときのフィールドの大きさは $3.2 \times 2.6\text{m}$ で, 現在のフィールドの大きさの約半分である。テクニカルチャレンジでは, より歩行の安定性の技術を競わせるために不整地歩行の競技が始まった。不整地歩行では3種類の高さを持つ六角形のタイルをさまざまに組み合わせて凸凹道をつくり, それを走破するというものである。この競技は思いのほか難しく2007年にテクニカルチャレンジから廃止されるまで, これをクリアしたチームは筆者の記憶では皆無であったと思う(図-6参照)。

2005年は9カ国から20チームが参加し, 2004年から倍増した。このため, すでに他のリーグで始まっていたように, 事前に提出されるチームの技術情報を記載したTeam Description Paperによって書類審査が行われるようになった。また, この年は他の中型リーグや4足リーグなどで活躍していた大学からヒューマノイドリーグへ参加をしてきたチームがあり, これらのチームによって, すでに競技として厳格なルールを規定していた他のリーグのノウハウが競技運営やルールに活かされるようになってきた年でもある。2006年にはテクニカルチャレンジにドリブル競技(ドリブルをしながら3本のポールの間をすり抜ける競技(図-7参照)), 2体のロボットによるパスチャレンジが加わり, よりサッカーそのものの技術を競う競技となった。

2007年にはフィールドの大きさをさらに大きくして, キッドサイズクラスは $4.5 \times 3.0\text{m}$, ティーンサイズクラスは $6.0 \times 4.0\text{m}$ になった。テクニカ

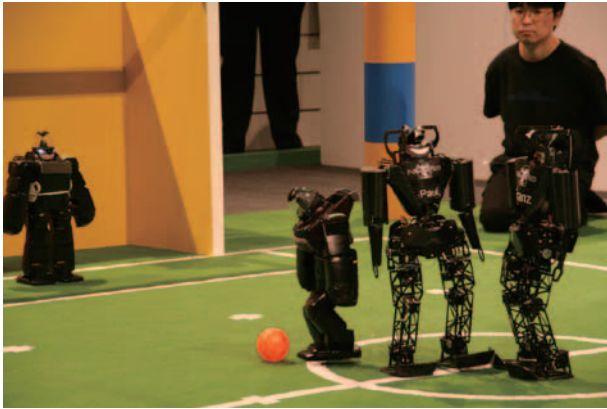


図-8 2006年の2対2のサッカー決勝戦 Team Osaka 対 Nimbro

ルチャレンジでは、サッカーに近い競技に集中したいという各チームの要望から、不整地歩行は廃止されることになった。2007年の参加数はさらに増えて29チームとなった。2005年から2007年においても、日本のTeam Osakaの強さは抜きん出ており、ベストヒューマノイド賞を獲得している。一方で、ドイツからの参加チームも年々ロボットのハードウェアとソフトウェアの完成度をあげ、2007年の2対2のサッカー競技で、ついにNimbro(ドイツ:ボン大学)がTeam Osakaを破り優勝した(図-8参照)。しかし、この年もTeam Osakaがテクニカルチャレンジですばらしい成績を収めたため、総合的な評価としてベストヒューマノイド賞はTeam Osakaに与えられた。

2008-2010

2008年にはフィールドの大きさはキッドサイズクラス、ティーンサイズクラスどちらのクラスにおいても6×4mに統一された。これはキッドサイズの運動性能が向上してきたこともあるが、一方で、開催時の開催者側の負担を軽減するためでもあった。サッカー競技もキッドサイズでは3対3のサッカー試合が行われるようになり、選手の増加とともにペナルティエリア内でのキーパーの行動を優遇するルールが追加された。

テクニカルチャレンジは、障害物回避、ドリブル、パス(ティーンサイズクラスは徒競走)の3つになった。この年のロボットの身体上の規定の大き



図-9 2008年ジャパンオープンでの3対3サッカーの決勝戦: Team Osaka 対 CIT Brains

な変化としては、全方位カメラが禁止されたことが大きい。というのも、それまで活躍していたTeam Osakaのロボットは全方位カメラを利用していただけである。全方位カメラはお椀上のミラーを使って1つのカメラでロボットの周り360度すべての方向の画像情報を得ることができるカメラで、中型リーグではよく用いられている。ロボットで可能な技術を制限すべきかどうかについては議論が分かれたが、ロボカップの最終目標である人間との競技が実現されたときに、感覚的に得られる情報は人間とロボットで同一にすべきであるということから、後ろを見ることができない人間と同様の視覚情報を実現するように全方位カメラは禁止されることになった。一方で、2008年を最後にTeam Osakaはロボカップの参戦をとりやめ、2009年からはCIT Brains(日本:千葉工業大学ほか)⁶⁾が日本大会では常勝チームとなり(図-9参照)、世界大会でもドイツのチームがベストヒューマノイド賞を獲得するようになった。この年からティーンサイズのロボットのチーム参加数が増加し、性能の向上も見られた。2008年にはキッドサイズクラスにおいて好成績を収めてきたTeam OsakaがティーンサイズクラスにVstone TichnoRを登場させ、世界大会においてベストヒューマノイド賞を獲得している。2009年のジャパンオープンでは、日本の坂本はじめ氏(はじめ研究所)⁷⁾による人間の身長を遥かに超える210cmのロボットが登場し、その迫力ある姿は観客を驚かせた(図-10参照)。



図-10 巨大ロボットを調整中の坂本はじめ氏

このような大型のヒューマノイドの参加チームの増加と技術力の向上を背景に、2010年にはティーンサイズクラスは、100～120cmのクラス（ティーンサイズクラス）と130～160cmのクラス（アダルトサイズクラス）に分割され、ティーンサイズクラスでは2対2のサッカーの試合が始まった。世界大会のティーンサイズクラスで初めて行われた2対2のサッカー競技では、決勝戦でNimbroがCIT Brainsを破って優勝し、その素晴らしい歩行能力、位置同定、障害物回避運動の能力に対して、ベストヒューマノイド賞が授与された。アダルトサイズクラスでは、世界大会の決勝は開催国であるシンガポールのチーム同士の試合となり地元のファンを楽しませた。試合では、シンガポール国立大学のTeam Ropeがシンガポール工科大学のRobo Erectusを僅差で破った。

現在のルール

この章では簡単に現在のルールを概説する。ルールの詳細や最新情報については、ヒューマノイドリーグの公式ページを参照してほしい¹⁾。

サイズとレギュレーション

ロボットの高さ H は以下の式によって定められている。

$$H = \min(H_{top}, 2.2 \times H_{com}) \quad (1)$$

ここで、 H_{top} はロボットが直立したときの地面から頭の先までの高さ、 H_{com} は直立したときの地面から重心までの高さである。各競技のクラスにおいては H について以下の条件が満たされなければならない。

- $30\text{cm} < H < 60\text{cm}$ (キッドサイズクラス)
- $100\text{cm} < H < 120\text{cm}$ (ティーンサイズクラス)
- $130\text{cm} < H < 160\text{cm}$ (アダルトサイズクラス)

身体の手足のサイズについては、このほかにもさまざまな条件があるが、特に足裏の面積については「足裏は面積 $H \times H/28$ の長方形に収まらなければならない」というルールがある。この足底の面積の条件は年々小さくなるように改定されており、これによって参加チームが歩行技術を高めることを促している。

フィールドとボール

フィールドの大きさは $6 \times 4\text{m}$ であり、3つのクラスで共通の大きさのものを使用している。フィールドには色のついた2本のランドマークポールが、タッチラインとセンターラインが交差する2つの場所に設置されている。ゴールにもゴールポストに青色、黄色が着色されている。ボールは、キッドサイズクラスでは標準的なオレンジ色のテニスボール、ティーンサイズクラス、アダルトサイズクラスではオレンジ色のビーチハンドボール2号（直径18cm, 294g）が用いられる。

サッカー競技

キッドサイズクラスでは3対3のサッカー競技、ティーンサイズクラスでは2対2のサッカー競技、アダルトサイズクラスでは1対1のドリブル&キック競技が行われる。

キッドサイズクラスとティーンサイズクラスのサッカー競技は、前半・後半各10分間行われる。試合中、人間はロボットを操作することはできず、原則としてロボットはレフリーボックスと呼ばれる競技の状態を管理するコンピュータからの信号をもと



に動作させなければならない。競技中、ロボット同士の通信や、ロボットの状態をモニタするための通信は許可されている。人のサッカーと異なるルールとしてスローインのルールがある。ボールがフィールドの外に出てスローインになった場合は、ボールは、ラインを割った場所から、最後にボールを触れたチームのゴールの方向に向かって1m移動した場所に置かれることになっている。

アダルトサイズクラスのドリブル & キック競技は、通常のサッカー競技とペナルティキックを組み合わせた競技である。チームはストライカーとゴールキーパーに分かれ、ストライカーのロボットはフィールドの中央から黄色のゴールを向いた姿勢でスタートする。他方のチームのゴールキーパーのロボットは黄色のゴールにいる。両者のロボットが置かれた後、ボールは、青いゴールのあるフィールド内にランダムに配置される。審判が笛を吹いた後、ストライカーはボールを発見してゴールしなければならないが、ボールが青いゴールのあるフィールド内にある間はドリブルで黄色のゴールの方に進まなければならない。これを交互に5回繰り返してゴール数を競う。

テクニカルチャレンジ競技

テクニカルチャレンジはサッカーにかかわる個人的な技術を競う競技である。各クラスで3つのチャレンジが用意されており、与えられた25分の制限時間内であれば、どの種目にも何度もチャレンジしてよいことになっている。

キッドサイズクラスでは、スローインチャレンジ、障害物回避ドリブル、ダブルパスの競技が行われる。ティーンサイズクラス、アダルトサイズクラスでは、ダブルパスの代わりにフットレース(徒競走)が行われる。

スローインチャレンジはロボットが床に置かれたボールを持ち上げてスローインを行う競技である。ロボットはセンターサークルから出発し、フィールドの端に置かれたボールの場所まで到達しなければならない。また、床に置かれたボールをしゃがんで

持ち上げ、フィールドの方向に向き直ってボールを投げ入れることが求められる。投げ入れられたボールがフィールド内を転がった距離が記録となる。

障害物回避ドリブルは障害物を回避しながらボールをドリブルしてゴールを目指す競技である。フィールドには敵に見立てた6つの黒いポール(直径20cm, 高さ90cm)がゴール前に配置され、ロボットはセンターサークルからボールをドリブルしながらゴールに向かう。ドリブルでは2つの障害物の間を少なくとも一度は通り抜けなければならない。また障害物に触れるとそこで失格となる。ボールをゴールに入れ、ロボットがゴールラインに触れる場所まで到達した時間が記録となる。

ダブルパスは2体のロボットがパスをしながらゴールを目指す競技である。ロボットAとBがフィールドの一方のゴールエリア内からスタートし、4回のパスを行い、逆方向のゴールへボールが入るまでの時間を競う。フィールドには対戦相手に見立てた2つの黒い障害物のポールが配置されている。パスが成功するたびにチームはポイントを得ることができ、成績に加算される。

フットレースはロボットの歩行の速さを競う競技である。ロボットは反対側のタッチラインに向かってハーフフィールドをできるだけ速く歩き、反対側のタッチラインでUターンをして、元の位置に戻るまでの時間が記録となる。反対側のタッチラインはロボットの片方の足で接触するか、横切ることが求められる。ロボットが転倒しても自身で立ち上がることができれば競技を続行することができるが、フィールドから外に出た場合には失格となる。

将来への動向

ヒューマノイドリーグの運動能力は、入手可能なハードウェア技術に支えられている。企業が提供するラジコンサーボモータの能力の向上によって、ヒューマノイドロボット開発が飛躍的に向上したといっても過言ではない。キッドサイズクラスでは、ほとんどのチームでシリアル通信によって多種の情報

を通信可能で、さまざまな制御を行うことができる多機能のラジコンサーボモータが利用されるようになってきている。それとともに、運動能力はロボットの重量バランスと歩行アルゴリズムの実装が大きく影響するようになってきている。リーグ開始初期の静歩行的な動きから比較すると、近年の参加チームの歩行能力は格段に向上し、参加時に提出される各チームの Team Description Paper にも、歩行アルゴリズムとして一般的なゼロモーメントポイントや倒立伸子を利用した歩行アルゴリズム、センサフィードバックを利用したアルゴリズムの利用が紹介されており、チームによっては 40cm/sec 程度の歩行を実現できている。一方で、ボールへのアプローチや動くボールに対する適切な運動という面では、人間の動作に比べると無駄な動きがまだあるように見受けられる。そのような動作は、たとえば、ボールにアプローチする場合に、ボールの前で歩幅の調整や、足踏み動作からキック動作へのスムーズな移行というところに現れている。これはボールの位置を正確に認識するための画像処理の速度や、動的な運動生成能力が人間と比較して不足しているためであろう。キッドサイズクラスでは、かなり動作が機敏になってきているが、今後はセンサとモータをより密に連携させ、動作間のスムーズな移行を行うことが期待される。

より大型のクラスにおいても、近年キッドサイズクラスで利用されているサーボモータと同じように利用できるモータが入手可能になってきており、これによって、より安価にロボットを構築することが可能になってくれば、新規チームが参入しやすくなることが期待される。

最近、ヒューマノイドリーグ以外のリーグにおいても、ヒューマノイドを使用するリーグが増加している。四足リーグはプラットフォームをソニーの AIBO からフランスの Aldebaran 社のヒューマノイド「NAO」に変更し、共通プラットフォームリーグとして多くのチームが参戦するようになっている。このリーグでは、同じハードウェア環境のもとでサッカー技術の優越が競われている。また、小型リー

グでは天井カメラを利用した、より簡易なヒューマノイドを使った競技を行うサブリーグが提案されている。このリーグではグローバルビジョンにより得た情報に基づく高度なチーム戦略や複数ロボットによる協調プレイの実現、無線通信によるロボットの制御などを研究開発の対象としている。シミュレーションリーグにおいても、ヒューマノイドをモデル化し 3 次元的な動力学を考慮したサブリーグが始まっている。それぞれのリーグにおいて特徴のあるヒューマノイドの競技が行われつつある。このように多様化するヒューマノイドのサッカー競技において、今後は、それぞれのリーグのコミュニティ間の技術の共有化を進めること、また、それぞれのリーグの競技的な特徴をより強く出すためのルール差別化、共通化を行うことが必要になる。また、競技会への来場者に対しても、これまではリーグの違いは形態や大きさなどによって一目瞭然であったが、これからはヒューマノイドという見た目が同じになるため、より目標としている研究開発の技術的な特徴をアピールすることが求められるであろう。

参考文献

- 1) RoboCup: Humanoid League Official Page, <http://www.tzi.de/humanoid/bin/view/Website/WebHome>
- 2) Christaller, T. : Lessons Learned from Fukuoka 2002 Humanoid League, Lecture Notes in Computer Science, Vol.2752/2003, pp.485-488 (2003).
- 3) 森永英一郎 : マイクロマウス工房, <http://www8.big.or.jp/~morinaga/>
- 4) 井藤功久 : Silf-H2, <http://www004.upp.so-net.ne.jp/silf/Silf-H2.html>
- 5) ヴイストーン (株) ほか : Team Osaka, <http://www.vstone.co.jp/top/products/robot/v2/outline/index.html>
- 6) 千葉工業大学ほか : CIT Brains, <https://sites.google.com/site/hayashibaralab/robocup>
- 7) 坂本はじめ : はじめ研究所, <http://www.hajimerobot.co.jp/>
(2011年2月28日受付)

■荻野正樹 ogino@res.kutc.kansai-u.ac.jp

昭和 47 年生。平成 8 年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系博士前期課程修了。平成 14 年同大学院工学研究科知能機能創成工学専攻博士後期課程単位取得退学。平成 14 年から平成 18 年にかけて大阪大学研究員。平成 18 年から平成 21 年にかけて科学技術振興機構 ERATO 浅田共創知能プロジェクト研究員。平成 21 年より大阪大学大学院工学研究科助教。平成 23 年より関西大学総合情報学部准教授。ヒューマノイド、認知発達ロボティクスの研究に従事。日本ロボット学会、日本神経回路学会各会員。