

人間型二足ロボット「源兵衛」の身体操法に学ぶ 「ナンバ・テニス」の研究

NANBA - Tennis Based on Distributed Control of Physical Body of Humanoid Biped Robot GENBE in a Martial Art with Instability

正 川副嘉彦(埼玉工大)

Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Institute of Technology, Fusaiji 1690, Fukaya-si, Saitama

There is no robot around us in our society at the current stage and also there will be no robot in the future if we define a robot as an autonomous machine working in the arena of offices, homes, and disaster sites, etc. outside the factories and continue the present conventional research and development (R&D) style in robot projects. It seems that the emergence of intellectuality in an autonomous robot exists in the dexterity of human or creatures as complex systems. The previous paper proposed the approach for realization of a real intelligent robot. We call this Human-Robotics, where robots and engineers should learn and develop in collaboration with each other in the real world on the basis of the dexterity of nature, life and human. We realized the simple self-sustained humanlike robust walking & running NANBA of humanoid biped robot GENBE based on distributed control of physical body in a martial art, which uses only small active power with simple chaotic limit cycle utilizing instability. Instability makes the natural movement and can be applied to walking of a physically handicapped person, rehabilitation, sports, and so on. This paper showed the development of robust NANBA walking of humanoid Biped Robot GENBE to NANBA-Tennis making full use of instability as a source of driving force.

Key Words: Robotics, Human-Robotics, Humanoid Biped Robot, NANBA Walking, NANBA-Tennis, Martial Art, Limit Cycle, Nonlinear Control

1. 研究の背景と目的

「スポーツ選手の頂点は、残酷なほど若い時にやってくる。酷使して、あちこち壊れかかった体を残して現役を退いた時には、彼らは後進の指導とかいうもの以外、スポーツに対してもう何をしたらいいのかわからない。(中略) 私が誉めそやしたい技術は、もっと別なところで、おそらくは黙々と生きている技術である。年齢の積み重なりと強く関わり、それによってのみ少しずつ可能となってくるような技術である。こういう技術は、組織的にはほとんど利用することができない。利用するには、いささか手間がかかり過ぎる。待つ時間が長過ぎる。けれども、ほんとうに上達する技とは、そうした在り方しか実はしていないものではないだろうか。」という鋭い指摘がある[1]。

現代日本人の心身にある問題を武術研究者・甲野善紀が鋭く指摘している。かつての日本人の体の使い方は現代のスポーツ選手よりはるかに優れていたと確信できると言う。すべての分野で機械化が進んでいる現代とは異なり、昔は何をやるにしても体を使ってこなさなければならなかったもので、必然的に疲れにくく精度の高い体の運用が求められたのである(著者要約)。「体を上手に使うことで体全体に滞りがなくなり、ある状態から別の状態に一気に変化することができるようになれば、大変な速さを生み、同時に威力も出る」、「筋肉は体が無駄なく上手に動かせるようになるためであるのであって、そうした動きが自然と育つために、必要な形に筋肉がついていくようなトレーニングをすべきだ」と指摘している[2]。

また、「オリンピックが、スポーツ等の競技において、人間の身体運用の能力を出来る限り高めて、その成果を競い合うものとするれば、現状は決して十分とはいえない」と指摘する。「人間の動きに、いわゆる科学的視点と手法が導入され、それによって解析し、論文を書こうとした時、本来まだまだ未解明なことがあまりに多い人間の運動について、現状の科学分析法では説明できないことが漏れ落ちてしまうからである。そして、その記述しがたい微妙な動きが、身体運用の優位さを競う時に、決定的に大きな違いとなる。」[3]

さらに、武術とスポーツの身体操法の違いについて次のように述べている。「たとえば、サッカーにおいて選手Aが走りぬけようとする動きを選手Bがブロックしたとき、選手Aは方向を大きく変えることになる。しかし、武術的な身体運用法を用いると全く違った展開が拓けてくる。選手Aは選手Bの当たりを利用して、選手Aが行きたいと思っている方向へ運んでもらうという形をとるように出来るからである。(著者要約)」「このことは、一般的に知られているウェイト・トレーニング等を行って、走り込みをする、というトレーニング方法とは違った身体運用の訓練法が存在していることを示しているのではないかと思う。」[2]

テニスに眼を転じると、ナダルのような身体能力の高い世界の男子トップ選手と日本の選手が対等に戦える日が現在のテニスの延長線上には見えてこない[4]。

本研究では、関節に負担が軽くて省エネルギーの「ねじらない・うねらない・踏ん張らない」という2足歩行ロボットの「ナンバ」的な動き[5]-[7]をテニスに展開する。ロボットの自由度は人間に比べて少ないので、動きの原理がわかりやすい。「ナンバ」という身体操法に関する用語は、明確な定義があるわけではない。ここでは、「ねじらない・うねらない・踏ん張らない」という動きのイメージとして象徴的に使う。「歩きたい方向に倒れ、倒れる方向に足を出す」という二足ロボット「源兵衛」のナンバ歩き・ナンバ走りの原理を基本にして、打ちたい方向に倒れ、倒れる方向に足を出す「ナンバ・ボレー」、瞬間的に身体の方角を変える「ナンバ・ターン」、転倒力を利用して瞬間的に横方向に移動する「ナンバ・サイドステップ」などに展開する。「源兵衛」は、江戸一仙台間 300 km を1日で走ったといわれる飛脚の名前にちなんだものである。

2. 二足ロボット「源兵衛」のナンバ走りの進展

二足歩行ロボット「源兵衛」のナンバ歩きの基本は、最もシンプルな脚部6自由度の場合(Fig.1)、前傾姿勢で、(1)状態1: 身体を右に傾けると左脚が浮く。(2)状態2: このとき左足を前に出す姿勢をとると体が自然に左前方へ倒れ、左足が接地する。状態3と状態4は体を左へ傾けた反対の動きであり、こうした動きを左右交互に繰り返して歩

く、足を上げたとき自然に前方へ倒れようとする力を利用する。脚部 10 自由度の場合 (Fig.2), 足首関節を使って上体 (頭) が左右に傾かないように歩く。実環境に必要な歩行を姿勢制御無しで設計者の介助によりロボットが試行錯誤的に学習することにより自在の速度で歩行する。ナンバ歩きは、前傾角度を大きくしてピッチを速くすると自然に走りに転じる。Fig.3 の高橋尚子選手の走りは、大きく前方に上体が倒れ込む以上に繰り返す足のピッチが速いので自然に姿勢が起きているのである。源兵衛の走行法に近い。Table 1 は、各時間設定におけるサーボモータ (関節) の実際の動作時間、最大動作角度を高速ビデオにより調べた結果である。遅めの時間設定 5~7 では、設定した時間で 180 度まで回転させることができるが、速めの設定 1~4 では設定時間で 180 deg まで回転させることができない。したがって、速いナンバ走り (ダッシュ) の状態図はピッチを上げて目標の関節角度まで至らないまま次の動作に移る。Fig.4 は歩行・走行速度と両脚のピッチ速度の関係である。スモール・ソール (足裏面積が小さい) による超高速ナンバ走り (記号▲) は、最速[5]-[7]の約 2 倍の速さになっている。この走法は、バスケットボールやサッカーなどの瞬間的な加速や極短距離のダッシュに有効であるが、走り出しが非常に速い反面、身体の手操作が従来の走りに比べてあ

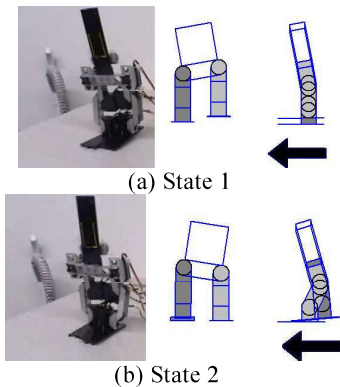


Fig.1 Fundamental States NANBA Walking of GENBE-No.2 with 6 freedom legs

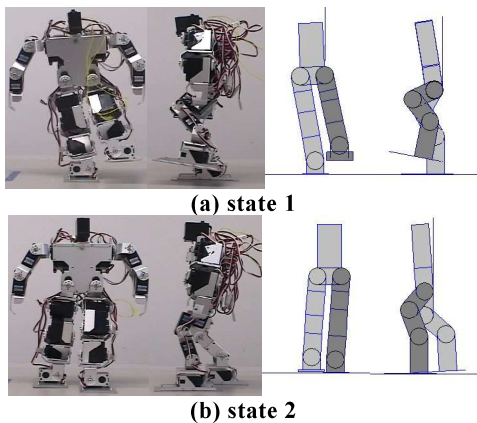


Fig.2 Fundamental States NANBA Walking of GENBE-No.4 with 10 freedom legs



(a)Naoko TAKAHASHI (b)GENBE No.4.
Fig.3 NANBA Runs

まりに複雑で、最初の二、三步は何とかなっても持続的にこれを行うことは非常に難しいといわれる[8]。前方への転倒を検出して転倒時の衝撃を最小にするような受け身の動きと、転倒から素早く立ち上がる動きの自律的発現については前報[9]- [11] に述べた。

Table 1 Measured operating time and max operating angle vs. time setting (speed) of GENBE No.4.

| Time Setting (speed) | Operating Time | Max Operating Angle of Servomotor | Max Operating Angle velocity of Servomotor |
|----------------------|----------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 0.047sec | 15deg | 319deg/sec |
| 2 | 0.094sec | 30deg | 319deg/sec |
| 3 | 0.188sec | 60deg | 319deg/sec |
| 4 | 0.376sec | 120deg | 319deg/sec |
| 5 | 0.752sec | 180deg | 239deg/sec |
| 6 | 1.504sec | 180deg | 120deg/sec |
| 7 | 3.008sec | 180deg | 60deg/sec |

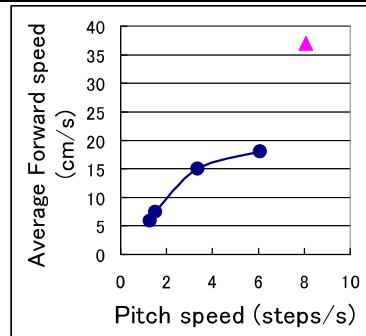


Fig.4 Forward speed vs pitch speed of NANBA dash of biped robot GENBE No.4 with small soles (▲ : with small-soles).

3. 二足ロボット「源兵衛」の「ナンバ・テニス」への展開

転倒力による不安定と状態の遷移を応用したナンバ的な動きにより、一瞬でその場で方向転換する俊敏な動き (ナンバ・ターンと呼ぶ) を前報[6]で実現した。Fig.5 は、不安定を利用する瞬間的な方向転換の原理であり、左脚を前に出して前傾で左脚に重心を乗せた状態 (状態 1) から右脚を前に出した状態 (状態 2) に遷移することにより、その場で瞬間的に右回りに 180 度方向転換する。Fig.6 は実行例であり、歩行してきた流れのまま一気に (約 0.8 秒で) 方向転換している。

Fig.7 は、テニスへの展開である。コート右サイドに走らされてやっとボールにラケットが届いたような状況で、時間稼ぎにロビングを打って (空中高くボールを打つ) コート中央に戻るときに、身体は転倒しない程度に前傾させな

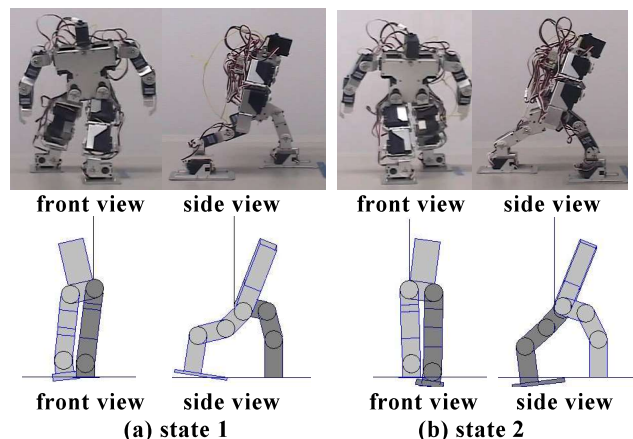


Fig.5 Fundamental two states of 180 degrees NANBA TURN.

がら、両足裏を浮かせて両膝の角度を変えることにより、前右脚を後脚の形に、後左脚を前脚の形に変えると、前脚・右足裏と後脚・左足裏は同時に左に回りながら、状態 1(f01)から状態 2(f19)まで一瞬（この場合は約 0.6 秒）で左回りに 180 度方向が変わる。

Fig.8 は、二足歩行ロボット「源兵衛」の「ナンバ・ボレー」である。状態 1(f06)から状態 2(f20)まで一瞬（この場合は約 0.5 秒以内）で遷移する。ボールとのタイミングをとって f14 と f16 の間（0.066 秒間）にボールを呼び込めば転倒力が活かされた自然で身体に負担の少ない確実なインパクトになるはずである。Fig.9 は、著者の「ナンバ・ボレー（フォア）」である。状態 1(f08)から状態 2(f20)まで一瞬（この場合は約 0.4 秒以内）で遷移する。ボールとのタイミングをとって f18(左足は浮いている)と f20(左足が接地)の間（0.066 秒間）にボールを呼び込めば、この間のラケット面の動きは少ないので、転倒力が活かされた自然で身体に負担の少ないロボスト（頑健）で確実なインパクトになるはずである。状態 1 は相手プレイヤーのボールの軌道や球質により決まる。状態 2 はどこに打ちたいかによって

決まり、ボールを呼び込むタイミングだけを意識すればよい。

Fig.10 は、著者の「ナンバ・バックボレー」である。状態 1(f03)から状態 2(f15)まで一瞬（この場合は約 0.4 秒以内）で遷移する。右足が接地する直前のフレーム f11 の前後がインパクトになる。グランド・ストロークの場合は省略するが、「ナンバ・テニス」は極めてシンプルな動作原理であり、テニスの経験を重ねることにより誰でも自然に習熟するはずであり、インパクトを点ではなく領域として意識するので、プレッシャーのかかるような状況で特に威力を発揮するはずである。

Fig.11 は、横方向の転倒力を利用する「ナンバ・サイドステップ」である。状態 1(f03)から状態 2(f11)まで一瞬（この場合は約 0.27 秒以内）で遷移し、約 0.2 秒で状態 1 に遷移する。

4. 結論

不安定を利用した二足ロボット「源兵衛」のナンバ歩き・ナンバ走りの原理をテニスに展開した。関節に負担が少な

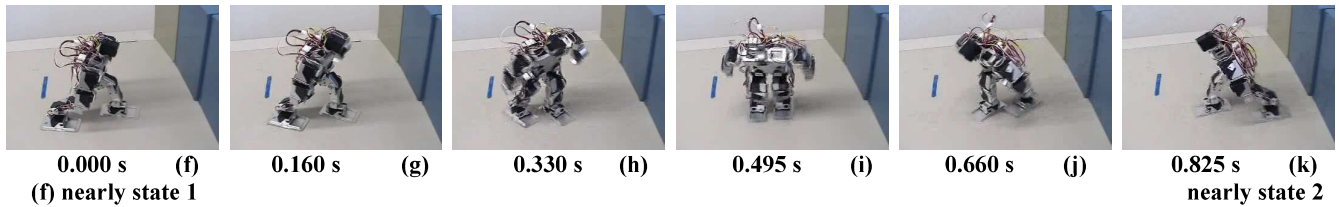


Fig.6 Emergence of a simple self-sustained humanlike robust instantaneous NANBA TURN about body axis of humanoid biped robot GENBE No.4 based on distributed control of physical body in a martial art utilizing instability with Anti-ZMP, which uses only small active power. It turns instantaneously 180 degrees in 0.7 seconds.

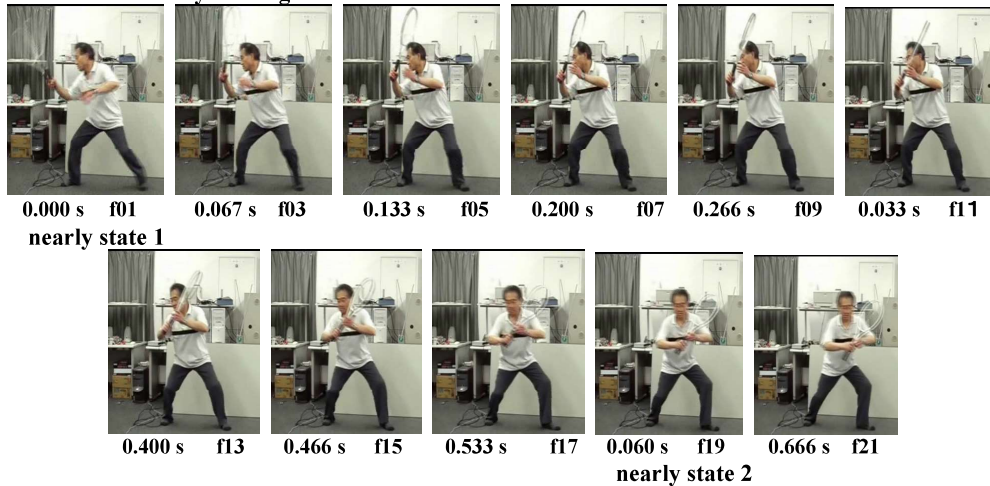


Fig.7 Emergence of a simple self-sustained robust instantaneous NANBA TURN of human based on distributed control of physical body in a martial art utilizing instability with Anti-ZMP, which uses only small active power. It turns instantaneously 180 degrees in 0.7 seconds.

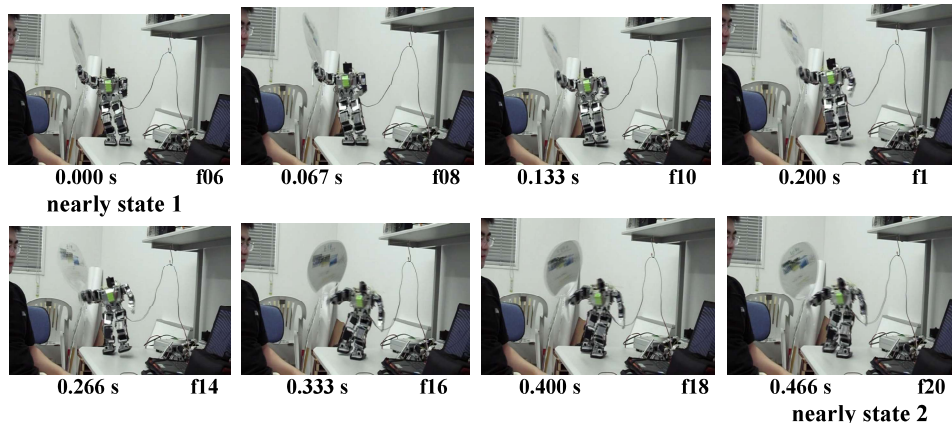


Fig.8 Emergence of a simple self-sustained humanlike robust instantaneous NANBA volley of humanoid biped robot GENBE No.4-2 based on distributed control of physical body in a martial art utilizing instability with Anti-ZMP, which uses only small active power.

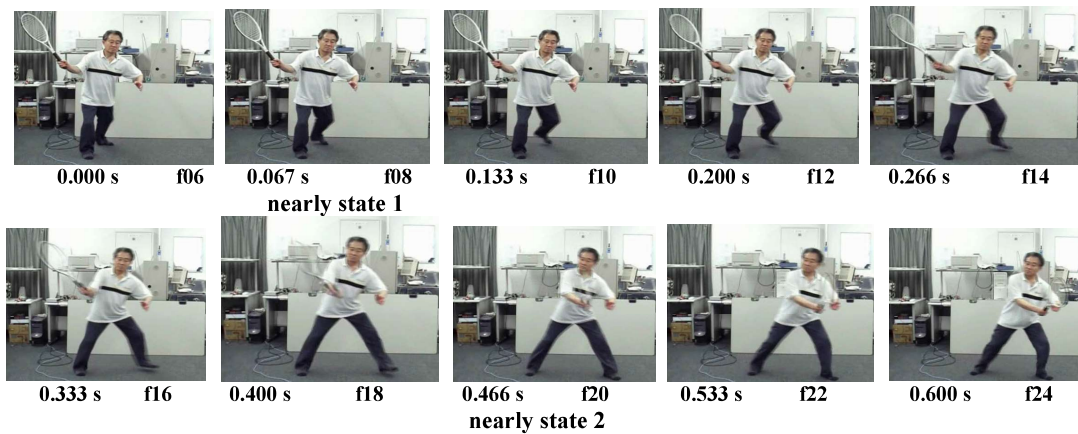


Fig.9 Emergence of a simple self-sustained robust instantaneous NANBA forehand-volley of human based on distributed control of physical body in a martial art utilizing instability with Anti-ZMP, which uses only small active power.

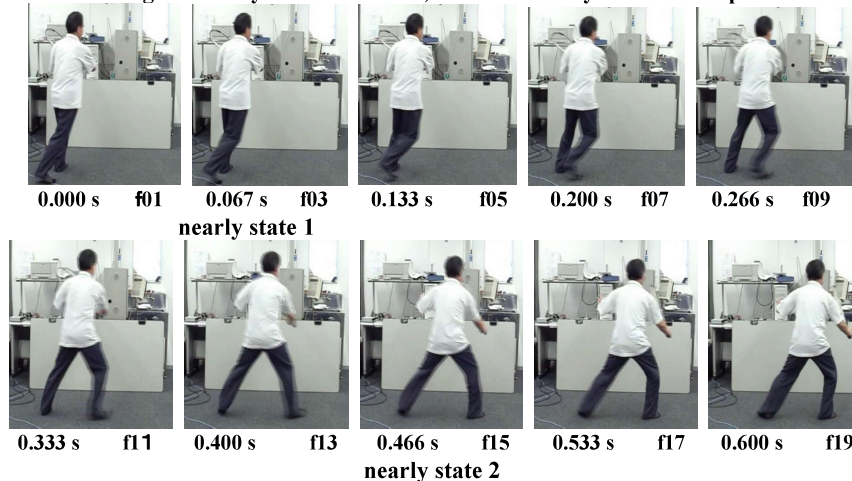


Fig.10 Emergence of a simple self-sustained robust instantaneous NANBA backhand-volley of human based on distributed control of physical body in a martial art utilizing instability with Anti-ZMP, which uses only small active power.

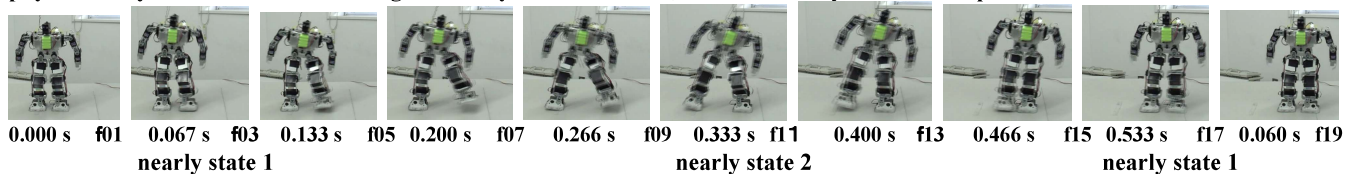


Fig.11 Emergence of a simple self-sustained robust instantaneous NANBA side-step of humanoid biped robot GENBE No.4-2 based on distributed control of physical body in a martial art utilizing instability with Anti-ZMP, which uses only small active power.

くて省エネルギーのねじらない・うねらない・踏ん張らない「ナンバ・テニス」は原理的に俊敏・ロバストである。おわりに、写真提供をいただいた高橋尚子選手とさかいやスポーツ・酒井孝典氏に深謝する。ご助力いただいた埼玉工業大学・平成16年度4年生・南雲・伊能・鈴木・池田および17年度・須永・桃井・原田・清水、18年度・森山・田口・癸生川の諸君に感謝する。

文献

- [1] 甲野善紀・前田英樹, 剣の思想, 青土社, (2001)
- [2] 甲野善紀, 日本人古来の動きを取り戻せ, 中央公論, 2006年11月号, pp.184-192.
- [3] 甲野善紀, 武術とスポーツの身体操法の違い: 身体運動に対する新たな視座を, 科学, Vol.74, No.6, (2004), pp.772-773.
- [4] 川副嘉彦, ねじらない・うねらない・ためない「ナンバ・テニス」の研究, 第19回日本テニス学会・第8回テニスフォーラム共催大会抄録集, 2007, p.29.
- [5] 川副嘉彦・南雲貴志・伊能新一・鈴木一彰, 古の身体操縦に学ぶ人間型二足歩行ロボット「源兵衛」のナンバ歩き・ナンバ走りの発現, 日本機械学会主催, 第9回運動と

振動の制御シンポジウム論文集, (2005), pp.514-519.

- [6] 川副嘉彦・須永智文・桃井孝昌, 二足ロボット源兵衛のAnti-ZMPによる瞬間的方向転換「ナンバ・ターン」の発現, 日本機械学会主催 Dynamics and Design Conference 2006 CD-ROM 論文集 560, (2006), pp.1-6
- [7] 川副嘉彦, 不安定を利用する人間型二足ロボット「源兵衛」に学ぶ関節に負担の少ない身体操法, 福祉工学シンポジウム 2006, (2006), pp.301-304.
- [8] 甲野善紀監修, 甲野善紀の驚異のカラダ革命, 学習研究社, (2006)
- [9] 川副嘉彦・原田一臣・清水祐一, 自律型二足ロボット源兵衛のAnti-ZMPによる瞬間的転倒衝撃回避と起き上がり, 日本機械学会・機械力学・計測制御部門講演会 D & D 2006 CD-ROM 論文集 550, (2006), pp.1-6
- [10] 川副嘉彦, 自律型二足ロボット「源兵衛」に学ぶ俊敏な転倒時・衝撃回避受け身と起き上がり, 福祉工学シンポジウム 2006, (2006), pp.297-300.
- [11] 川副嘉彦, 「ロボットと人間が21世紀を生きるための「ヒューマン・ロボット学」の提唱」, 第5回21世紀連合シンポジウム - 科学技術と人間 - 論文集, (2006), pp.23-26.