

「間(ま)」を合わせる共創インタフェースの設計原理に関する研究

(研究課題番号：16016233)

| | | |
|---------|--------|-------------------------|
| 研究代表者 | 三宅 美博 | 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・助教授 |
| 研究分担者 | 野澤 孝之 | 大学評価・学位授与機構・評価研究部・助手 |
| 研究協力者 | 小松 知章 | 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・研究員 |
| | 武藤 剛 | 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・研究員 |
| | 山本 知仁 | 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・博士課程 |
| | 小林 洋平 | 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・博士課程 |
| | 高野 弘二 | 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・博士課程 |
| | 大西 洋平 | 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・修士課程 |
| | 高梨 豪也 | 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・修士課程 |
| | 小林 哲平 | 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・修士課程 |
| | 今 誉 | 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・修士課程 |
| | 岩田 一樹 | 東北大学・未来科学技術共同研究センター・研究員 |
| | 川島 隆太 | 東北大学・未来科学技術共同研究センター・教授 |
| 海外共同研究者 | E.ペッペル | ミュンヘン大学・医学的心理学研究所・所長・教授 |

1. 本研究の概要

「間(ま)」を合わせることは人間同士の協調作業において不可欠である。しかし、この「間」が合うことは物理的な同調とは異なっていることに注意しなければならない。研究代表者の三宅と海外共同研究者のペッペルは、同期タッピング課題において、人間の認知的な同調感覚は音刺激に数十ミリ秒先行してタップする状態に対応することを明らかにしており、このことは認知的な「いま」は未来としての予測的領域に創出されることを意味しているからである。したがって、人間と機械の関係においても、物理的リアルタイム性に基づく従来型の同調に加えて、認知的同時性としての「間」の共有が考慮されなければならない。そこで本研究課題では、このような「間」の共有機構を明らかにし、それに基づく共創インタフェースの設計論を確立することを目標としている。

現状のインタフェース技術は身体への志向を徐々に強めつつあり、本研究もその流れの中にある。すでにアフォーダンスやダイナミカルシステムズアプローチにおいては、インタラクションの重視やモダリティの拡大が進められている。神経科学においても道具使用に伴う身体イメージのニューロンやミラーニューロンの発見がなされ、身体と環境の相互作用を裏付けている。そして、これらの研究の中で身体性を介する認知的空間の共有技術の開発が進められてきた。しかし認知的リアルタイム性の共有（認知的同時性）については、まだ手がつけられていない。現状のインタフェースは、物理的リアルタイム性に力が注がれている段階にあり、人間の認知的な時間としての「間」の共有を考慮に入れたものではないからである。このような背景の中で、本研究は身体性を介して認知的時間の共創支援をめざすものであり、極めて新規性の高い研究として位置づけられる。

本研究は、平成14年度から17年度までの4年間、公募研究として実施された。そして上記の同期タッピングにおいて、予測的タイミング制御として観察される「間」の創出機構を心理学的に解析し、脳高次機能が関与する認知的過程とそれが関与しない身体的過程として創出機構が二重化されていることを明らかにした。さらに、タッピングの時系列解析も進め、両過程のダイナミクスの違いも解明

した。そして人間2人の協調タッピングにおいて「間」の共創プロセスを計測し数理的にモデル化することにも成功した。このような成果を踏まえて、タッピング以外の協調作業にもモデルを拡張し、人間同士の協調歩行における「間」の共創プロセスの解析と歩行介助システムへの応用を進めた。特にA06班との連携のもとでWalk-Mateという歩行介助システムも試作した。さらに音楽的インタラクションの解析と再構成にも適用した。これらの基礎研究と応用研究によって、共創インタフェースの設計原理の確立をめざした。本報告書では成果を以下の6つのカテゴリーに分類して説明する。

研究統括（三宅）

「間」の共創メカニズムに関する基礎的研究（ヒトを知る）

- ・ タイミング予測機構に関する認知神経科学的研究
(三宅・大西・高野・岩田・川島・ベッペル)
- ・ 非線形システムとしてのタイミング予測機構の研究
(三宅・小松)
- ・ 相互タイミング予測と共創コミュニケーション
(三宅・今)

共創インタフェースとしての応用に関する研究（ヒトと交わる）

- ・ 共創インタフェースとしての運動生成過程の計測と評価
(三宅・武藤)
- ・ 共創インタフェースとしての歩行介助に関する研究
(三宅・高梨・小林哲)
- ・ 音楽アンサンブルにおける共創過程の解析と再構成
(三宅・山本・小林洋)

このように本研究によって人間のコミュニケーションにおける「間」の共創機構が明らかにされた。さらに「間」を合わせる共創型インタフェースの設計論とその評価プラットフォームも構築された。これらは「人間と共生できる情報システム」を目標と掲げるA03班の研究基盤を構成するとともに、その実施例を提供するものである。

2. 研究期間と研究経費の配分額

本研究は、平成14年度より17年度までの4年間に渡って進められた。この間に配分された研究経費は下記のとおりである。

| 年度(平成) | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 合計 |
|---------|----|------|------|------|------|-------|
| 研究費(千円) | ・ | 5900 | 6600 | 6800 | 7200 | 26500 |

3. 研究成果

3.1 タイミング予測機構に関する認知神経科学的研究 (三宅・大西・高野・岩田・川島・ペッペル)

3.1.1 研究目的

本項目では、人間のコミュニケーションに広く観察される「間(ま)」という現象に注目した。「間」とは人間の外側から計測可能な物理的時間ではなく、時々刻々と内的に生成される認知的時間であり、それがどのように創出され個体間で共有されるのか?という問いは、コミュニケーションの基盤としてのコンテキスト共有につながる重要な問題である。そこで本研究では、この問題に向けての第一歩として、認知的タイミング制御に注目し、その生成メカニズムを明らかにすることを目標とした。

人間のタイミング機構を解析するための実験系として従来から同期タッピング課題が用いられてきた。これは一定のリズム音にタップ運動を同調させる単純な実験系である。ここでは「負の非同期現象(Negative Asynchrony: NA)」という興味深い現象が報告されており、音刺激とタップが主観的に同期している状態で、タップが音刺激に数 10ms 先行動作する。これは予測的現象であり、内的に時間が創出されることを意味している。そこで、この現象の生成機構を認知神経科学的に解析し、上記の認知的タイミング機構に迫ることとした。

3.1.2 認知科学的解析

同期タッピング課題における NA に注目して、その生成機構に対するワーキングメモリの影響を調べた。具体的には、同期タッピング課題に対して単語記憶課題(ワーキングメモリを消費する課題)を並存させた時に、NA の生起確率がどのように変化するかを調べた。その結果、Fig.1 のように、刺激リズム音の周期(ISI)が 1.8 秒以下の時には差がないが、それ以上の刺激周期の時には差が出ることを示された。このことからタイミング機構には、ワーキングメモリのような高次機能の関与する認知的機構と、関与しない自動的機構の 2 種類が共存することが明らかになった。

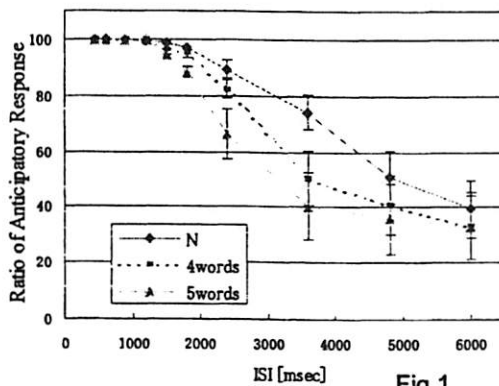


Fig.1

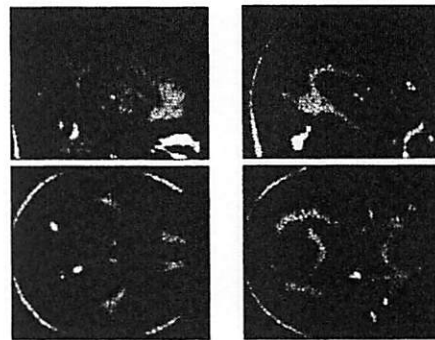


Fig.2

3.1.3 神経科学的解析

上記の解析では刺激周期 1.8 秒以上の同期タッピング課題において NA の生起率に差があった。そこで、この差異を生む神経基盤を明らかにするために周期 0.6 秒と 2.4 秒における同期タッピング時の脳の活性状態を fMRI を用いて比較した(Fig.2)。その結果、周期 0.6 秒の場合 (Fig.2 左) には、運動野、聴覚野とともに右小脳前葉に活性が観察された。一方、周期 2.4 秒の条件 (Fig.2 右) においては、前頭前野(ワーキングメモリに関与)にも活性が観察された。これらの結果は上記の解析を支持するものである。

3.1.4 まとめ

本研究課題で分析したものは同期タッピング課題という非常に限定された状況である。しかしこれらの結果は、身体化された自動的タイミング機構と高次機能の関わる認知的タイミング機構という、二重化された制御メカニズムによってタイミング予測されることを意味している。しかも前者には小脳の関与が、後者には前頭前野の関与が示唆された。これらの結果から人間の認知的時間としての「間」は上記のような二重化されたプロセスを経て創出されることが予想される。これを踏まえて、タイミング予測のダイナミクスに関する研究が 3.2 節と 3.3 節においてなされた。

3.2 非線形システムとしてのタイミング予測機構の研究 (三宅・小松)

3.2.1 研究目的

事後的な認知や反射のみに頼っては同期不能で、自ら予測的に生成されるタイミング合わせを必要とする現象は、音楽やスポーツ等における協同作業で広く観察される。従来、このような同期機構は、同期誤差に対する修正に主眼を置いて線形記述されてきたが、本項目では、上記の結果を踏まえて、タイミング予測のダイナミクスを非線形システムとして解明することを目標とする。そして非線形系としての側面を明らかにするための解析手法の検討および、それにより得られる時系列特性の解明をめざすものである。具体的には、予測的に生成されるタイミングであることが明らかになっている、負の非同期現象 (以下 NA と略記) に注目する。これは、従来の類似研究で一般的に用いられてきた同期タッピング課題において、被験者に一定間隔で聴覚刺激を与え (刺激周期は以下 ISI と略記)、その同期誤差 (以下 SE と略記) の時系列変化として得る。

3.2.2 定常的な解析

同期タッピング課題の NA における SE の時間発展は、およそ $1/f$ 様のパワースペクトルを呈した (Fig.3)。我々の研究グループの連動研究(3.1 節参照)では、1.8 秒未満の ISI ではタイミング予測が身体的かつ自動的になることが示されていたが、同時間域では $\beta=0.5$ 以上の高いスペクトル指数が得られ自己相似性を伴う運動であることが示された (Fig.3 左)。一方、注意資源を必要とする認知的な運動であることが示されていた長い ISI 領域では、固有周期に従う周期的運動であることが判明した (Fig.3 右)。また、ダイナミクスの自己相似構造を検証すべく、DFA (Detrended Fluctuation Analysis) を新たに適用した結果、SE 時系列は顕著な自己相似性を持つが、その時間スケールは約 100~250 タップ長程度の上限を持つことが判明した。

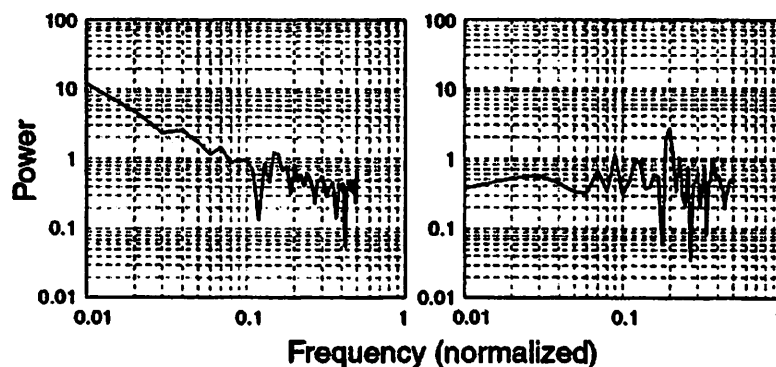


Fig.3

3.2.3 時間発展に関する解析

自己相似性が確認された時間スケールを窓長として Short Time Fourier Transformation を SE 時

系列に適用し、その窓毎に α で累乗近似することにより、自己相似成分(Fig.4 上)と残差の周期成分(Fig.4 下)に分離した。これは定常解析で認められた自己相似性と周期性とが、時系列としてどの様に増減するかを可視化する試みである。前者はスペクトル指数の変化で捉えられ(Fig.4 上)、後者は時間軸方向で局所的に維持される顕著なパワーのピークとして現れる(Fig.4 下)。両変動間に有意な相関が見られたことから、ISI 一定つまり定常な刺激への同期課題でありながら、試行の時間軸方向に渡ってその応答が、自己相似性に富んだ状態と周期性に富んだ状態との間をダイナミックに推移することが強く示唆された。

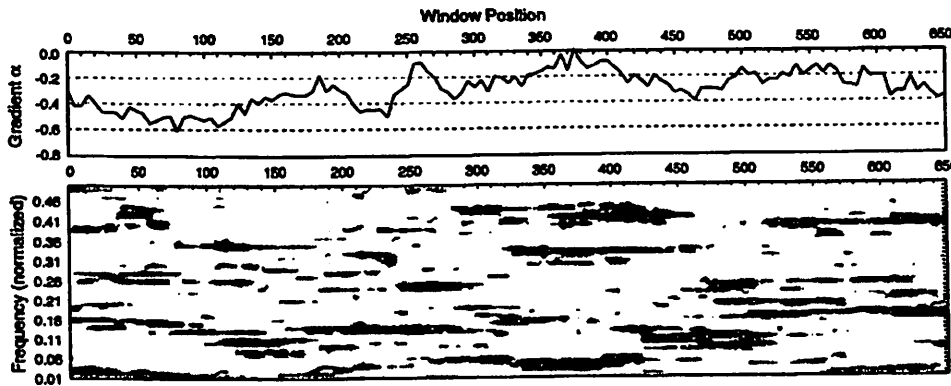


Fig.4

3.2.4 まとめ

負の非同期現象 NA におけるタイミング生成機構に関する従来研究の多くは、その同期誤差 SE に対する修正作用を定常過程として扱ってきた。そのため時間軸方向へ構造化される性質は、これまでほとんど注目されてこなかった。しかし本研究の結果は、SE の時系列内に、そのような時間的構造が存在することを示しており、非線形的性質を持つ様々な特徴量の変化を抽出し得た。また、我々は内的なタイミング生成は二重化された機構の組み合わせであることを明らかにしつつあり、本結果は、そのような内的ダイナミクスの振る舞いを、外側から身体運動の時系列解析を通して捉えられる可能性を示したことに由来する。これは共創型インタフェースの今後を考えた場合（脳科学的な測定機器の巨大さを考え併せ）、システムの小型化への道が拓かれたとも言えよう。

3.3 相互タイミング予測と共創コミュニケーション（三宅・今）

3.3.1 研究目的

本項目では、人間のコミュニケーションに広く観察される「間(ま)」の共有という現象に注目した。「間」とは物理的時間とは異なり、時々刻々と創出される認知的時間である。それがどのように個体間で共有されるのか？という問いは、コミュニケーションの基盤としてのコンテキスト共有機構の解明につながるものであり、人間の協調作業支援の観点からも不可欠なものである。そこで、ここでは個体間での認知的タイミング共有として「間」の共有を捉え、その際に現れる相互予測ダイナミクスを明らかにすることを目標とした。特に、前節での時系列解析の有効性を踏まえて、時間相関の解析からタイミング共有モデルを推定する。

人間の認知的タイミング機構を解析するための実験系として従来から同期タッピング課題が用いられてきた。しかし、これは一定リズムにタッピング運動を一方向的に合わせる実験系であるため、人間同士の協調過程で見られるタイミング共有という、双方向的なコンテキストの生成過程（共創的過程）を計測することはできないという問題があった。そこで本研究では、相互のタイミング共有機構を調べる最も単純な系として協調タッピング課題を新たに構成し、それに基づいてタイミング共有モデルを構築した。

3.3.2 実験システム

本研究で製作した協調タッピング実験システム (Fig.5) は、2人の被験者が1組となって使用するものであり、一方の被験者のボタン押し動作(Tap)が、他方の被験者に音刺激として与えられるクロスフィードバック系として構成された。

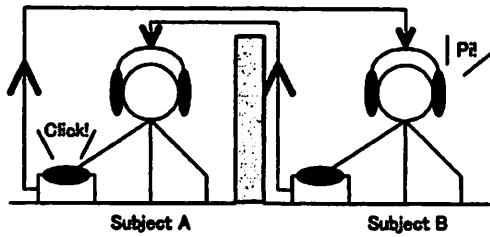


Fig.5

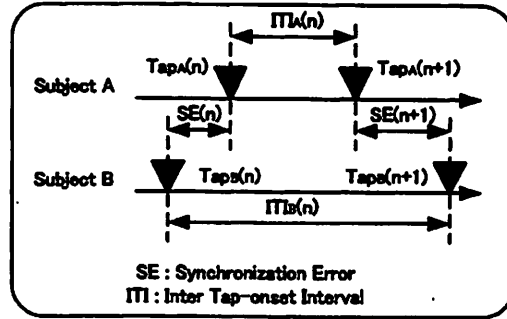


Fig.6

ボタン押し(Tap)時刻を $Tap(n)$ として記録し、2人の被験者間での非同期量(SE: Synchronization Error)と個々の被験者のタップ周期(ITI: Inter Tap-onset Interval)を計算し (Fig.6)、これらのデータ間での相関解析に基づいてモデル推定を行なった。このとき非同期量(SE)とタップ周期(ITI)を、以下のように定義した。

$$SE_A(n) = Tap_A(n) - Tap_B(n)$$

$$ITI_A(n) = Tap_A(n+1) - Tap_A(n)$$

3.3.3 結果と解析

SE と ITI の間での相関関係を解析した。その結果、SE と ITI 変化量、SE 変化量と ITI 変化量の間に強い比例関係 (前者が $c(0)=-0.79$ 、後者が $c(0)=-0.83$) があることが示され、その相関に基づいてモデル推定を行なったところ、以下の式(3)のように ITI が直前の SE から影響を受けるモデル1と、ITI が SE の履歴の総和から影響を受けるモデル2の、2種類から構成される階層的タイミング共有モデル(Fig.7)が得られた。

$$\begin{aligned}
 & ITI(n) \\
 &= t(C_1 + k \cdot SE(n)) + l(ITI_0 + h \cdot \sum_{j=1}^n SE(j)) \\
 &= t \cdot k \cdot SE(n) + l \cdot h \cdot \sum_{j=1}^n SE(j) + t \cdot C_1 + l \cdot ITI_0
 \end{aligned}$$

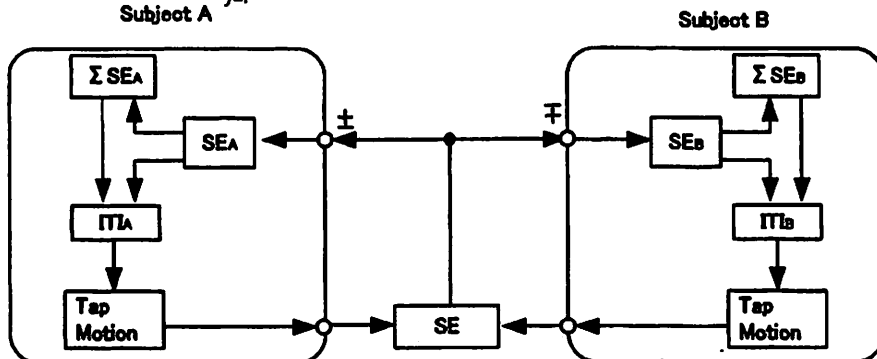


Fig.7

3.3.4 まとめ

本研究で構成したものは、協調タッピングという非常に限定された状況におけるタイミング共有のモデルである。しかし、上記の結果は、リアルタイム性の高い相互作用と記憶の関与する履歴性の高い相互作用が、二重化されたタイミング制御系を構成することを明確に示しており、同期タッピング課題に関する我々の先行研究とも符合する (3.1 節および 3.2 節参照)。したがって、本モデルは人間のタイミング共有の基本的機構の一つを表わすものと考えられ、「間」の共有支援技術につながる可能性を有する。

3.4 共創インタフェースとしての運動生成過程の計測と評価 (三宅・武藤)

3.4.1 研究目的

他者との身体的インタラクションにおいて観察される、身体運動の同調プロセスは、幼児の発達や障害者のリハビリ訓練といった、人間の機能創出に関わる局面において重要なはたらきを担っていることが示唆されている。本項目では、このような仕組みを共創インタフェースとして技術的に応用するため、療法士と障害者の歩行リハビリ訓練で観察される両者の歩行運動の相互作用 (協調歩行) に注目し、その協調歩行運動の生成過程の計測と、それを実際に共創インタフェースとして歩行リハビリ訓練に活用した技術の評価を行った。

3.4.2 協調歩行運動の生成過程の計測

人間 2 人が歩調 (脚の接地タイミング) を合わせて歩く協調歩行を取り上げ、その協調運動の制御機構を実験的に解析した。特に、協調歩行中の脚のステップ動作と腕振り動作の時間発展を同時に計測し、その過程が先行研究において扱われてきた脚運動の相互引き込みに基づく脚ステップのタイミング同調過程だけではなく、腕運動の制御も必要とする階層化された過程として実現されていることを示した。そして、その脚運動と腕運動の作用関係の詳細な解析を行い、協調歩行運動のタイミング制御が、個体間での脚運動リズムの相互引き込みと、個体内での腕運動と脚運動の相互作用に基づく、二重の制御プロセスとして実現されていることが明らかになった。

さらに、この二重の制御プロセスを、運動制御の観点から解析するため、協調歩行と同時に単語記憶課題を二次課題として課すことによって人間の注意資源を操作し、随意運動の発現に関係する能動的注意と個体間協調運動の関係の解析も進めた。その結果、腕運動の動力学的特性の制御に能動的注意が関与していること、そして、その特性が変化することによって、脚運動が拘束を受けることも明らかになった。これらのことから、協調歩行運動におけるタイミング制御プロセスが、Fig.8 に示す脚運動の引き込みを実現する自動的な制御機構 (黒と灰色の矢印) と、能動的注意を介して腕運動によって脚運動を制御する随意的な運動制御機構 (黒と点線矢印) の連関に基づく、二重化された制御機構によって実現されていることを示した。

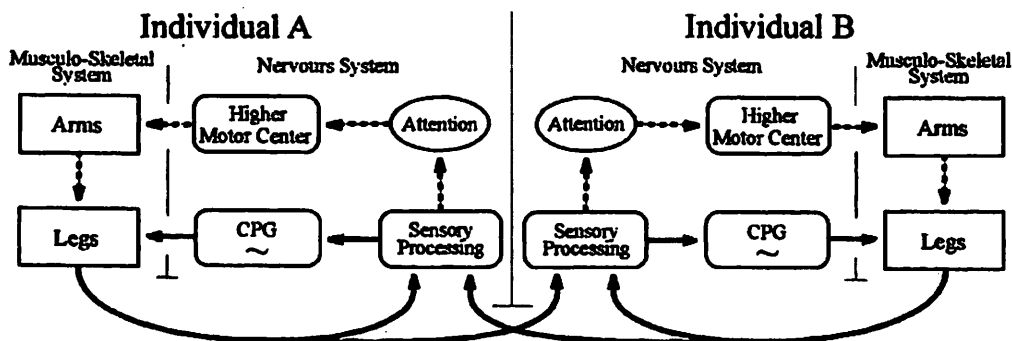


Fig.8

3.4.3 共創インタフェースとしての活用

この二重の制御プロセスの再構成を目的として、これを二重化されたタイミング制御機構を非線形振動子のモデルとして協調歩行シミュレータに実装し、それを脳血管障害に起因する片麻痺歩行における脚の左右接地タイミングの非対称性の改善訓練に適用した。その結果、この改善過程と、この二重の制御プロセスとの間に時間的相関が存在することが明らかになった。このことから、提案された二重化されたタイミング制御機構に基づく協調歩行運動の制御プロセスが、歩行運動の改善に必要な運動機能の創出に関わっていることを示唆した。

3.4.4 まとめ

人間の協調歩行運動のタイミング制御が、自動的な制御機構と随意的な運動制御機構の連関に基づく、二重化された制御機構によって生成されていることを示した。また、その制御機構が、新たな歩行運動機能を創り出す共創インタフェースの役割を担っている可能性を示した。

3.5 共創インタフェースとしての歩行介助に関する研究（三宅・高梨・小林哲）

3.5.1 研究目的

高齢者における歩行障害の発生頻度は非常に高い。たとえば 1km 歩けない高齢者の割合は 70 歳代で 20~30%、80 歳代では 40%にも達すると言われている。そして、これらの人々が積極的に社会参加するための介助システムを開発することは社会的ニーズに極めて合致したものである。このような背景から、本研究項目では、我々が進めてきた「間(ま)」を合わせるタイミング機構の研究成果を、「共創インタフェース」として構成し、高齢者に優しい歩行介助システムを開発することを目標とした。

3.5.2 歩行介助システム“Walk-Mate”

高齢者の歩行介助の現場では、介助者と患者がタイミングを合わせて一緒に歩きながら機能回復を進める訓練が用いられることが多い。そこで「間」を合わせて歩くことで、歩行介助に有効な性質が得られるとの仮定のもとで、“Walk-Mate”システムを構築した。具体的には、計算機内の仮想的な歩行ロボットと実空間の人間が足音を介して「間」を合わせ同調歩行するシステムである(Fig.9)。これは我々が進めてきた協調タッピングの実験系(3.3 節参照)を歩行リズムの同調に応用した形になっている。

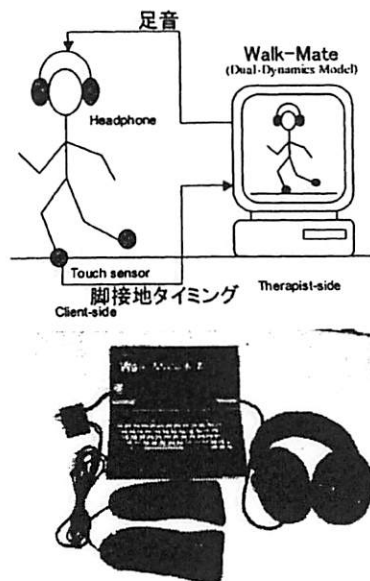


Fig.9

そこでは人間の足音が仮想ロボットに伝えられ、仮想ロボットの足音が人間に戻される中で運動のタイミングを制御し、人間と仮想ロボットの歩行リズムが相互に歩み寄って同調し(相互適応)、歩行運動自体が人間とロボットを含めてグローバルに安定化され転倒防止に効果があることが示された(Fig.10)。さらに脳血管障害あるいは整形外科疾患による片麻痺歩行への支援(歩行の非対称性の緩和)や、パーキンソン病等に起因する歩行障害(特に、加速歩行の緩和)での効果が確認された。

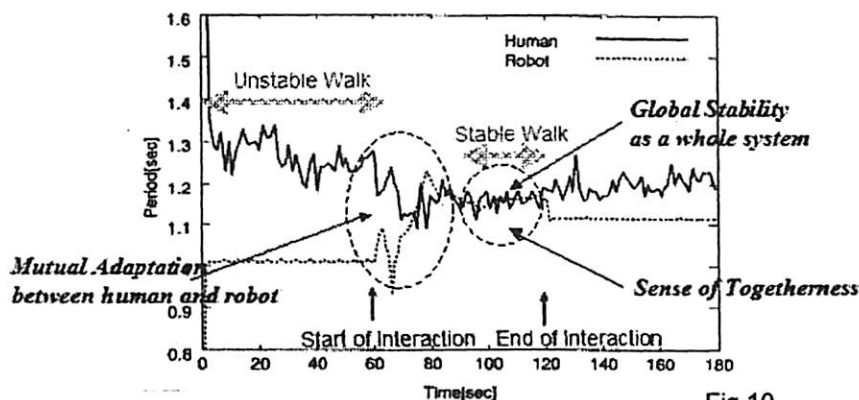


Fig.10

3.5.3 実用化への取組み(A06 班との共同研究)

上記の成果を踏まえ、実際に歩行介助の現場へ適用できる歩行介助システムとして実用化することもめざした。具体的には、実験セットの段階まで開発されていた Walk-Mate を高齢者に適したウェアラブルな介助システムとして構築し(Fig.11)、さらに歩行障害種別に依存した多様なインタフェースプログラムの開発を進めた。

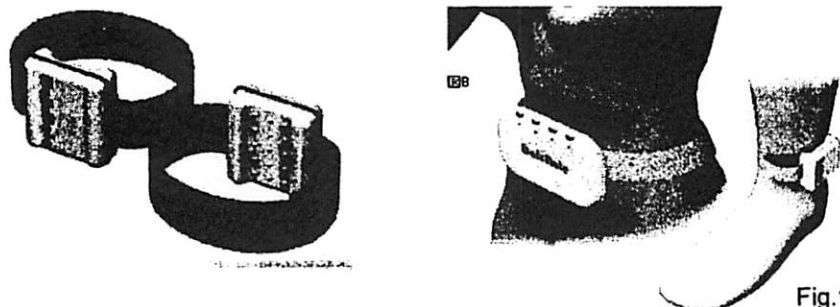


Fig.11

3.6 音楽アンサンブルにおける共創過程の解析と再構成(三宅・山本・小林洋)

3.6.1 研究目的

複数の演奏者からなる音楽アンサンブルでは、互いに音を出し合うときの「間」を共有できなければ演奏を行うことができない。本項目の目的は、音楽アンサンブルにおけるこの「間」の共創過程を認知的、音楽的側面から明らかにし、そのモデル化を行い、最終的には人間と共同演奏を行うことができるシステムとして再構成することである。

3.6.2 音楽アンサンブルにおける間の共創過程の認知的側面の解析

本研究では、まず間の共創過程の認知的なメカニズムを明らかにするために2人の演奏者によるアンサンブルの実験を行った。この実験では、緩やかなピッチの変化をもつ曲Aと急激なピッチ変化を

持つ曲Bを音楽的特性が異なる曲として用意し、これら2曲を通常に演奏する場合と、言語系に負荷をかける単語記憶課題を行いながら演奏する場合の2つを実験条件として設定した。この設定のもとで、演奏リズム、呼吸リズムの同期を解析した。

実験結果としては次のことが得られた。曲Aを演奏する場合にはどちらの演奏条件でも演奏リズムはよく同期していたが、演奏者間の呼吸リズム、また演奏者内の演奏リズムと呼吸リズムは同期していなかった。それに対し曲Bの場合には、通常の演奏では演奏リズムは同期していたものの、単語記憶課題を行っての演奏では、演奏の同期が低下した。また、曲Bの演奏では、演奏者間の呼吸リズム、演奏者内の演奏リズムと呼吸リズムが曲Aの演奏に比べよく同期していた。

本研究ではこれらの結果より次のような解釈を得た。まず、曲Aのような緩やかなピッチ変化の音楽は、脳の聴覚系で処理され、そこで処理された音楽情報が身体系（指の運動等）へフィードバックされ、最終的に音楽を生成する。これは比較的単純な感覚運動連関と考える。それに対し、曲Bのような急激なピッチの変化は言語系でも処理されることが知られている（本実験結果もこのことを支持する）。言語系は呼吸リズムに強い影響を与え、また呼吸リズムと指のリズミックな運動が結合系にあることから、曲Bを演奏する際には言語系で処理された音楽情報が呼吸リズムに影響を与えると同時に、呼吸リズムと身体のリズム（指の運動等）の結合が強くなり、それらの統合として音楽が生成される。その結果として、演奏者内の演奏リズムと呼吸リズムの同期が高くなり、演奏者間の呼吸リズムの同期も高くなる。本研究では、この解釈に基づいて Fig.12 のような階層性をもった演奏者間の認知的なモデルを提案した。

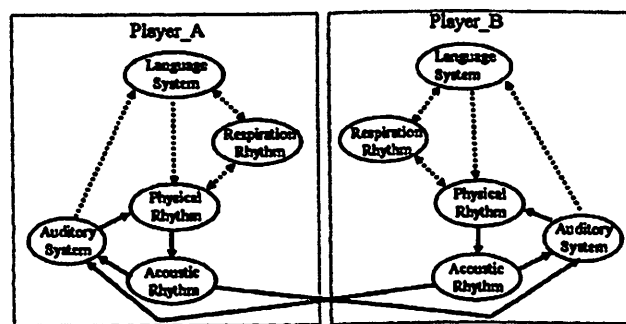


Fig.12

3.6.3 音楽アンサンブルにおける間の共創過程の音楽的側面の解析

次に本研究では、このモデルを具体的にするために、共同演奏の音楽的側面である演奏リズムをダイナミクスレベルで解析した。ここでは最も単純な作用関係として演奏者間の演奏リズムのずれ（位相差）が演奏者内の演奏リズム（振動数）にどのようにフィードバックされるかを調べた。解析結果として、位相差が線形に振動数にフィードバックされる短周期の作用と、位相差の履歴の和がフィードバックされる長周期の作用があることが示された。これらはどちらも負のフィードバックであり、位相差を打ち消すような相互作用を構成していることがわかった。

3.6.4 音楽アンサンブルにおける間の共創過程の再構成

この解析結果を基に、人と間を合わせながら演奏を行うことができるシステムの構築を行った。ここではそのモデルとして以下のような非線形位相振動子による引き込みモデルを階層化して用いた。

$$\omega_p = \omega (1 + K \sin \phi) \quad (\text{下位モデル}), \quad \omega = \omega_0 (1 + \int \phi) \quad (\text{上位モデル})$$

このうち ϕ は演奏者間の位相差、 ω は各演奏者の固有振動数、 ω_p は演奏される振動数である。このモデルでは、下位層は位相差 ϕ が振動数に直接フィードバックされるような短周期の作用、上位層は位相差 ϕ の重み付け積分 $\int \phi$ がフィードバックされる長周期の作用を構成する。我々はこのモデルを Fig.13 のように人間の演奏者と演奏システムの間で適用することを提案し、新たなアンサンブルシステムとして構築した。このシステムは人間の演奏入力と、内部にあらかじめ用意した楽譜を照らし合

わせて位相差を算出する。そして前述のモデルにしたがって自身の振動数を決定し、音楽演奏として人間の演奏者に提示する仕組みとなっている。このシステムの評価には人間の演奏者と演奏をさせるチューリングテストを用いた。提案システムは従来のシステムよりも人間に近い感覚を演奏者に与えることが示され、より人間が行っているようなアンサンブルに近いものを再現した。

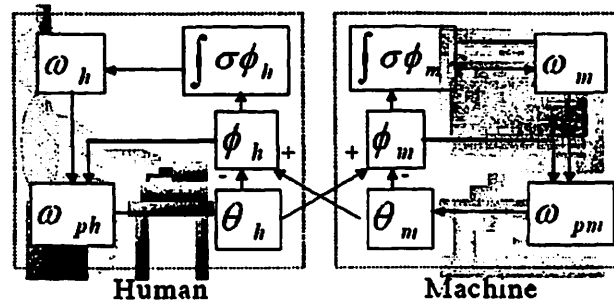


Fig.13

4. 研究発表

学会誌等

武藤剛, 三宅美博:“歩行介助を目的とする人間-ロボット協調系における共創出過程の解析”, 計測自動制御学会論文集, 38, 3, 316-323, 2002.

三宅美博, 大西洋平, エルンスト・ペッペル:“同期タッピングにおける2種類のタイミング予測”, 計測自動制御学会論文集, 38, 12, 1114-1122, 2002.

高梨素也, 三宅美博:“共創出型介助ロボット”Walk-Mate”の歩行障害への適用”, 計測自動制御学会論文集, 39, 1, 74-81, 2003.

Miyake, Y.:“Subjective present and two modes of thinking”, Acta Neurobiologiae Experimentalis, 63, 3, 236, 2003.

小松知章, 三宅美博:“同期タッピング課題における予測的挙動の時系列データ解析”, 計測自動制御学会論文集, 39, 10, 952-960, 2003.

Miyake, Y.:“Co-creation system”, Cognitive Processing, 3, 131-136, 2003.

小川健一朗, 三宅美博:“非局所相互作用を導入した自律分散モデル—細胞集団の秩序形成における細胞外マトリクスの役割—”, 電子情報通信学会論文誌, J86-A, 1, 19-28, 2003.

平澤宏祐, 白松直樹, 山本知仁, 原田久, 三宅美博:“放射線治療における音楽を使った呼吸同期システムの開発”, 生体医工学, 41, 4, 466-474, 2003.

Miyake, Y., Onishi, Y. & Poeppel, E.:“Two types of anticipation in synchronous tapping”, Acta Neurobiologiae Experimentalis, 64, 415-426, 2004.

Ogawa, K. & Miyake, Y.:“An autonomous decentralized model with a non-local interaction -- Roles of an extracellular matrix in organization of multicellular system”, --Electronics and Communication in Japan: Part 3, 87, 55-65, 2004.

武藤剛, 三宅美博:“人間-人間協調歩行系における共創出プロセスの解析”, 計測自動制御学会論文集, 40, 5, 554-562, 2004.

三宅美博, 辰巳勇臣, 杉原史郎:“交互発話における発話長と発話間隔の時間的階層性”, 計測自動制御学会論文集, 40, 6, 670-678, 2004.

小林洋平, 三宅美博:“相互引き込みモデルを用いたアンサンブルシステムの開発”, 計測自動制御学会論文集, 40, 9, 948-957, 2004.

小林洋平, 永田洋一, 三宅美博:“音楽アンサンブルにおけるタイムラグの影響”, 計測自動制御学会論文集, 40, 8, 876-878, 2004.

- 武藤剛, 三宅美博:“歩行介助における共創出プロセスの解析”, 計測自動制御学会論文集, 40, 8, 873-875, 2004.
- 山本知仁, 三宅美博:“共同演奏における演奏者間コミュニケーションの解析”, 計測自動制御学会論文集, 40, 5, 563-572, 2004.
- 山本知仁, 藤井倫雅, 三宅美博:“拍子を付加した場合の演奏者-聴取者間相互作用の解析”, 計測自動制御学会論文集, 40, 2, 207-209, 2004.
- 瀨美将利, 三宅美博, 國見ゆみ子, 野村進, 別府政敏:“歩行介助システム Walk-Mate の時間的・運動力学的な有効性評価”, 計測自動制御学会論文集, 41, 4, 380-382, 2005.
- 小松知章, 三宅美博:“同期タッピング課題における非同期量の時間発展”, 計測自動制御学会論文集, 41, 6, 518-526, 2005.
- 小林洋平, 三宅美博:“階層化された相互引き込みモデルに基づくアンサンブルシステム”, 計測自動制御学会論文集, 41, 8, 702-711, 2005.
- 栗塚義人, 三宅美博, 小林洋平:“音楽的コミュニケーションを用いた歩行介助システム”, 計測自動制御学会論文集, 41, 10, 866-875, 2005.
- 今 峯, 三宅美博:“協調タッピングにおける相互同期過程の解析とモデル化”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 7, 4, 61-70, 2005.
- 三宅美博:“安心の場の再生に向けて: ところを内包するシステムとしての場の技術”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 7, 4, 61-70, 2005.
- Miyake, Y., Onishi, Y. & Pöppel, E.:“Dual Anticipation Timing Mechanism in Synchronous Tapping”, Proc. of 2002 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2002), Hammamet, Tunisia, MP2J1 pp.1-8, 2002.
- Miyake, Y.:“Two Modes of Anticipation in Sensori-Motor Synchronization”, Proc. of SICE Annual Conference 2002 (SICE2002), Osaka, Japan, 2925-2930, 2002.
- Takano, K. & Miyake, Y.:“Identification of Temporal Sequence in Synchronization Task”, Proc. of SICE Annual Conference 2002 (SICE2002), Osaka, Japan, 2974-2977, 2002.
- Muto, T. & Miyake, Y.:“Analysis of the Co-emergence Process on the Human-Human Cooperation”, Proc. of 2002 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2002), Hammamet, Tunisia, MP1J2 pp.1-6, 2002.
- Muto, T. & Miyake, Y.:“Analysis of the Co-emergence Process on the Human-Human Cooperation”, Proc. of 2002 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN2002), Berlin, Germany, 65-70, 2002.
- Muto, T. & Miyake, Y.:“Analysis of Two Kind of Control Dynamics on Cooperative Walk”, Proc. of SICE Annual Conference 2002 (SICE2002), Osaka, Japan, 2080-2083, 2002.
- Li, K. & Miyake, Y.:“Dynamics of the Duality Model in Two Agents System”, Proc. of SICE Annual Conference 2002 (SICE2002), Osaka, Japan, 2931-2936, 2002.
- Shimogama, M. & Miyake, Y.:“A Machine embedded in Sensory-Motor Coupling of Human -- Emergence of Subjective Time ”, Proc. of SICE Annual Conference 2002 (SICE2002), Osaka, Japan, 2084-2087, 2002.
- Muto, T. & Miyake, Y.:“Co-emergence process on the humans' cooperation for walk-support”, Proc. of 2003 IEEE Int. Symp. on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA2003), Kobe, Japan, 324-329, 2003.
- Miyake, Y., Onishi, Y. & Pöppel, E.:“Two types of anticipation in sensory-motor coupling”, Proc. of SICE Annual Conference 2003 (SICE2003), Fukui, Japan, 3221-3226, 2003.
- Muto, T. & Miyake, Y.:“Co-emergence process on the humans' cooperative walk”, Proc. of SICE Annual Conference 2003 (SICE2003), Fukui, Japan, 3116-3121, 2003.
- Komatsu, T. & Miyake, Y.:“Two dynamics of anticipatory behavior in synchronization tapping”, Proc. of SICE Annual Conference 2003 (SICE2003), Fukui, Japan, 3207-3210, 2003.
- Takano, K. & Miyake, Y.:“Two types of time perception in synchronization tapping task”, Proc. of SICE Annual Conference 2003 (SICE2003), Fukui, Japan, 3211-3216, 2003.

- Miyake, Y.: "Two types of anticipation in sensory-motor coupling", Proc. of Int. Symp. on Time, Cognition and Thinking, Strzekecino, Poland, 40-41, 2003.
- Miyake, Y.: "Co-creation in man-machine interaction", Proc. of 12th IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN2003), Silicon Valley, U.S.A., 2003.
- Miyake, Y., Ohnishi, Y. & Poeppel, E.: "Two types of anticipation in synchronization tapping", Proc. of Int. Workshop on Object Recognition, Attention & Action, 25, 2004.
- Komatsu, T. & Miyake, Y.: "Temporal development of dual timing mechanism in synchronization tapping task", Proc. of 13th IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN2004), no.181, pp.1-6, 2004.
- Takano, K. & Miyake, Y.: "Two types dynamics in negative asynchrony of synchronization tapping", Proc. of SICE Annual Conference 2004 (SICE2004), 1792-1796, 2004.
- Komatsu, T. & Miyake, Y.: "Temporal development of dual dynamics in synchronization tapping task", Proc. of SICE Annual Conference 2004 (SICE2004), 2689-2692, 2004.
- Kurizuka, Y., Miyake, Y. & Kobayashi, Y.: "Co-creative walking support as music therapy", Proc. of 13th IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN2004), no.289, pp.1-6, 2004.
- Kurizuka, Y., Miyake, Y. & Kobayashi, Y.: "Walking support system based on musical exercise therapy", Proc. of SICE Annual Conference 2004 (SICE2004), 2693-2696, 2004.
- Miyake, Y. & Poeppel, E.: "Two types of anticipatory timing control in synchronous motion", Proc. of 2nd Int. Workshop on Man-Machine Symbiotic Systems, 57-68, 2004.
- Yamamoto, T. & Miyake, Y.: "Hierarchical Control System of Musical Performance and Design of Musical Interaction System", Proc. of Human Computer Interaction International 2005, Embodied Interaction and Communication, 4, pp.1-10, 2005.
- Muto, T., Herzberger, B., Kobayashi, Y., Muto, Y., Globocnik, T., Poeppel, E., Hermsdoerfer, J. & Miyake, Y.: "Interactive cuing with the Walk-Mate to improve stability and variety of gait dynamics", Proc. of Human Computer Interaction International 2005, Embodied Interaction and Communication, 5, pp.1-10, 2005.
- Miyake, Y.: "Co-creation system and human walking support", Proc. of 1-st Int. Conf. on Complex Medical Engineering (CME2005), 521-524, 2005.
- Yamamoto, T. & Miyake, Y.: "Hierarchical interaction in musical ensemble: Temporal development of bar period and respiration rhythm", Proc. of 1-st Int. Conf. on Complex Medical Engineering (CME2005), 530-535, 2005.
- Miyake, Y.: "Co-creation Technology (Invited Lecture)", 5th Parmenides Workshop on Thinking and Consciousness, Elba, Italy, 2002.
- 三宅美博: "共創インタフェースと「間」 (招待講演)", 人体科学会・第12回大会, 2002.
- Miyake, Y.: "Dual Anticipation Timing Mechanism in Synchronous Tapping (Invited lecture)", 1st Japan-Slovenia Seminar, Tokyo, Japan, 2002.
- Miyake, Y.: "Two types of anticipation in sensory-motor coupling (Invited lecture)", 2nd Slovenia-Japan Seminar, Maribor, Slovenia, 2003.
- 三宅美博: "共創システムとしての運動生成 (特別講演)", スポーツ心理学会, 2004.
- Miyake, Y.: "Coordination from inside (Invited lecture)", 4-th Sino-German Advanced Workshop in Cognitive Neuroscience and Psychology, 2005.
- Miyake, Y.: "Co-creation system and "nowness" (Invited lecture)", Parmenides Faculty Plenary 2005, 2005.

口頭発表等

- 三宅美博: "共創システム", 情報処理学会・知能と複雑系研究会資料, Vol.130-8, pp.43-48, 2002.
- Miyake, Y.: "Co-creation System", SICE 第27回システム工学部会研究会資料, pp.17-20, 2002.

Miyake, Y.: "Walk-Mate" as a Co-creative Interface", Demonstration Booklet of The First International Workshop on Man-Machine Symbiotic Systems (MMS-WS2002), Kyoto, Japan, p.2, 2002.

三宅美博: "共創システムのめざすもの", 第3回 SICE システムインテグレーション部門講演会講演論文集(II)(SI2002), pp.41-42, 2002.

武藤剛, 三宅美博: "共創システムとしての歩行介助", 第3回 SICE システムインテグレーション部門講演会講演論文集(II)(SI2002), pp.275-276, 2002.

三宅美博, 大西洋平, エルンスト・ペッペル: "二重化されたタイミング予測機構と「共創」", 第15回自律分散システム・シンポジウム資料, pp.133-138, 2003.

三宅美博: "共創システムのめざすもの", 2003年精密工学会春季大会学術講演会予稿集, pp.A60, 2003.

三宅美博: "人と人工物の共創システム", 東京大学人工物工学センター第6回人工物工学コロキウム-共創工学の展開-資料, pp.19-29, 2003.

三宅美博: "「間(ま)」と共創的コミュニケーション", 第47回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp.477-478, 2003.

三宅美博: "共創を支援するシステムについて", ロボティクス・メカトロニクス講演会'03 講演論文集(ROBOMECH2003), pp.2A1-3F-C8 pp.1-2, 2003.

三宅美博: "生命に共創設計を学ぶ", ホモコントリビューエンス研究所報告, vol.2, pp.1-47, 2004.

小林哲平, 三宅美博: "運動学的解析による歩行介助ロボット Walk-Mate の有効性評価", ヒューマンインタフェースシンポジウム 2004 講演会予稿集, pp.1144-1150, 2004.

小林豊, 三宅美博: "協調演奏における創出的コミュニケーション機構の解析", 第11回創発システムシンポジウム「創発夏の学校 2005」講演資料集, pp.151-154, 2005.

著書・出版物

Miyake, Y.: "Co-creation in human-computer interaction", C Stephanidis & J Jacko, Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 513-517, 2003.

三宅美博: "人間と人工システムのコミュニケーション", 吉田, メカノクリーチャ, コロナ社, 79-108, 2003.

三宅美博: "人と人工物の共創システム", 上田完次, 共創とは何か, 培風館, 79-108, 2004.

Miyake, Y., Onishi, Y. & Poeppel, E.: "Two types of anticipatory-timing mechanism in synchronization tapping", N Osaka, Object Recognition, Attention, and Action, Springer-Verlag, in press.

Miyake, Y.: "Co-creation system and human-computer interaction", T Sakai, K Tanaka, K Rose, H Kita, T Jozen, H Takada, 3-rd Conference on Creating, Connecting and Collaborating through Computing, IEEE Computer Society Press, 169-172, 2005.

Yamamoto, T. & Miyake, Y.: "A hierarchical interaction in music ensemble performance: Analysis of 1-bar rhythm and respiration rhythm", L Wu, K Ito, S Tobimatsu, T Nishida, H Fukuyama, Complex Medical Engineering, Springer-Verlag, in press.

受賞

高梨豪也, 三宅美博: "共創型介助ロボット Walk-Mate の歩行障害への適用", 計測自動制御学会論文賞, 2004.

小林哲平, 三宅美博: "運動学的解析による歩行介助ロボット Walk-Mate の有効性評価", 2004年度ヒューマンインタフェース学会研究奨励賞, 2004.

小林豊, 三宅美博: "協調演奏における創出的コミュニケーション機構の解析", 第11回創発システムシンポジウム・ベストポスター賞, 2005.