

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18560255
 研究課題名（和文） 筋電制御ロボティクス知的技術による滑り雪氷路面環境下の安定歩容に関する研究
 研究課題名（英文） Study of Stable Walking in Frozen Environmental Road with Intelligent Technology of Electromyography Control Robotics
 研究代表者
 竹澤 聡（TAKEZAWA SATOSHI）
 北海道工業大学・創生工学部・教授
 研究者番号：70305902

研究成果の概要：転倒回避のために現実的に見合う歩行動作を提案することができた。それは、定常時における立脚中期～立脚終期までのスペクトル解析および、せん断力を求めた結果、現時点では定常時のみであるが、この値を基準とし、滑り判定を行うことは定常時かつ直進歩行であれば可能であることが示された。観測値の相関に基づき、歩き始め、歩き終わりの状態を推定もできると考えられることは重要な知見である。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,700,000	0	1,700,000
2007 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	510,000	3,910,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：知能ロボティクス、知能機械、制御工学

1. 研究開始当初の背景

二足歩行の基本は倒れずに前進することである。しかし、加齢ともなって平地歩行や階段昇降能力は急激に低下することは想像に難くなく、我々が住まいする北国においては、これに追い討ちをかけるように、凍結路面や雪で凸凹になった路面の悪条件が重なる。

平成26年（2014年）には日本の高齢化率は25%を越え、国民の4人に1人以上が65

歳以上の高齢者という超高齢社会が到来すると見込まれている国の推計に対し、我々研究者はただ茫然と立ち止まっていられず、なにかしらの行動を起こさねばなるまい。

北国の歩行は、健常者にとっても、積雪による歩道の幅員減少や転倒など、冬期特有のバリアが存在するため、市民の日常生活に大きな影響を与えている。二足歩行ロボットに代表されるように、日本のロボット

技術、メカトロニクスの進歩は近年目覚しく、枚挙の暇がないといえるが、北国・寒冷地での歩行をテーマとし、これと真剣に向き合い貢献可能なロボティクス知的技術に関する議論はこれまでの研究生活で意外と少なかったと感じている。

研究の全体構想としては、高いハードルの内容と危惧されると思うが、得られる知見は寒地技術応用に多いに有効という信念のもとに申請者の想いは熱く、「高齢化問題+寒冷地」という地域性がプラス α のファクタを勘案した新たなシーズに目を配り、顕在化・潜在化するニーズに対するテーマとして研究支援を切望するものである。

2. 研究の目的

3年間の研究期間内の目標は、端的にロボティクス見地から高齢者特有の歩行スタイルと転倒の関連を明らかにすることである。研究テーマに示すように、通常の歩行と大きく隔たるのは、足裏接地が滑り条件下となることである。本研究の目的は以下の通りである。

(1) 乾燥路面及び滑り路面での二足歩行の差異を、モーションキャプチャーを用いた歩行動作分析を行い、同時に下肢の筋電信号との関連性を明らかにする。

(2) 筋電信号に基づくモーションパターンを1/6サイズ二足歩行ロボットに投入し、歩行スタイルの模擬動作を実現し、歩行の動作的特徴を抽出するとともに人体動作との歩行パターンとの違いを定量化する。

(3) 滑り面歩行緊張時の人体筋電信号測定を実施し、乾燥路面時と滑り路面緊張時の歩行の違いを筋電信号測定により検討する。高齢者の場合、筋活動が不安定との報告もあり「滑る！」と判りながら行動を起こして対処できない問題も潜在することも推察される。

3. 研究の方法

(1) 高齢化による下肢姿勢のモーション同定・・・高齢者は立位時に膝関節が曲がり気味になり、上体の前傾が強いほど膝関節屈曲による代償も大きくなるので高齢者特有の姿勢情報を本学既存施設のモーションキャプチャーにて獲得する実験を行った。解析されたデータは、1/6サイズ二足歩行ロボット(本申請H18備品:e-nuvo 2.0 ZMP)にモーション入力し歩行の再現実験を詳細に行った。予期される問題点は、上部の前屈が与える歩行への影響の評

価であるが、共同研究者と相談の上進行し、最終的に人体全体の歩行動作につながる前段の研究成果を目指した。

(2) 滑り路面における二足歩行ロボット実験・・・歩行姿勢の問題には足裏面の形状および材質の選択は大きな要因を示すと考えられる。図1は、氷上でロボット腰部に加速度センサーおよび3軸ジャイロセンサーを取り付け、歩行の不安定化そして転倒に至るまでのメカニズムを定量的に探った。予期される問題点は、天然凍結路面との実験環境面の差異であったが、スライドボード導入により室内においてもフルシーズンでの実験が可能であるため、焦ることなく冬季の実験実施以前に十分検討をすることができた。

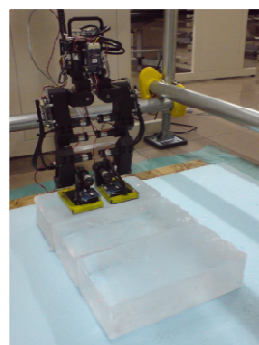


図1 ロボット氷上歩行実験

(3) スライドボードによる人体滑り転倒データ取得・・・転倒に至る歩行上の臨界条件やそれに伴う揺動あるいは突発動作をモーションキャプチャーにて獲得する実験を行った。

(4) 滑り面歩行緊張時の人体筋電信号測定・・・図2は乾燥路面時と滑り路面緊張時の歩行の違いを筋電信号測定により検討するための概念図である。高齢者の場合、筋活動が不安定との報告もあり「滑る！」と判りながら行動を起こして対処できない問題も潜在することも推察される。

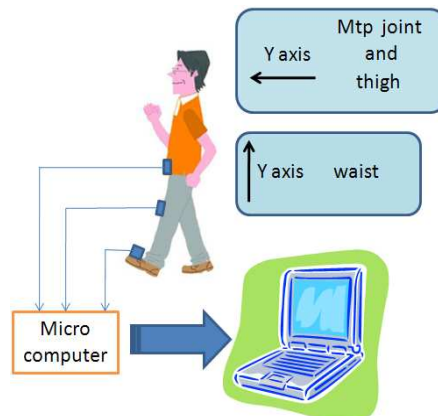


図2 歩行時の筋電信号測定方法

4. 研究成果

(1) 解析されたデータからは、1/6サイズ二足歩行ロボットにモーション入力し歩行の再現実験を詳細に行った。問題点としては、上部の前屈が与える歩行への影響の評価方法の定量化およびインデックスの決定ができた。

(2) 滑り路面を想定(スライドボード)した二足歩行ロボット実験・歩行姿勢の問題には足裏面の形状および材質の選択は大きな要因を示すことが判明できた。ロボット腰部に加速度センサーおよび3軸ジャイロセンサーを取り付け、歩行の不安定化そして転倒に至るまでのメカニズムを定量的に探った結果、左足後ろ外側の変化が顕著に見られることから、左足後ろ外側が滑っている事が判明した。これは右足前内側と、左足後ろ内側との間でのe-nuvoの静歩行による重心移動が影響しているためと考えられる。

(3) 滑り転倒と姿勢の関連の実験と理論解析・スライドボード上で人体による滑り転倒の実験と理論検証を行った。転倒に至る歩行上の臨界条件やそれに伴う揺動あるいは突発動作をモーションキャプチャーにて獲得した。

(4) 滑り面歩行緊張時の人体筋電信号測定・乾燥路面時と滑り路面緊張時の歩行の違いを筋電信号測定により検討した結果、高齢者の場合、筋活動が不安定との報告もあり「滑る!」と判りながら行動を起こして対処できない問題も潜在することが確認された。

(5) 取得したEMG信号を回路的に直流化、また、平滑による線形化を行い、直流低周波信号に変換することによりA-D変換を可能とした。そして、その正值アナログ信号を10bitで標準化することで、H8マイコンでの制御を実施した。

(6) e-nuvoが氷上を歩行した場合の実験結果を図3と図4に示す。横軸に時間[ms]を、縦軸に角速度[deg/s]をとり、測定を開始してから10秒間の角速度の変化を示している。図3と図4の角速度センサXで検出した角速度を比較すると、前者よりも後者のほうがグラフの山が細かく、角速度の作用する方向の変化が多いということがわかる。つまり、歩行動作をするために必要な角速度とは別の角速度が多く作用し、歩行の安定性が失われているものと考えられる。また、木製板上での歩行は氷上での歩行よりも歩行動作によ

る左右への重心移動に伴う角速度の動きを鮮明にみる事ができた。角速度センサXで検出した角速度で行うと、木製の板上を歩行させた場合はそれぞれ84個、97個、55個、59個、52個で平均値は69個、氷上で歩行させた場合はそれぞれ40個、41個、54個、45個、39個で平均値は43個となり木製の板上を歩行させた場合のほうが26個多い。これは歩行が安定に行われることで、角速度が緩やかに変化するためと思われる。

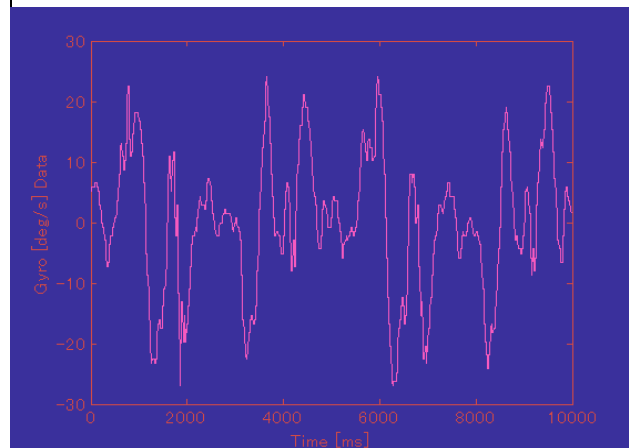


図3 乾いた道路を模した木製の板上歩行実験

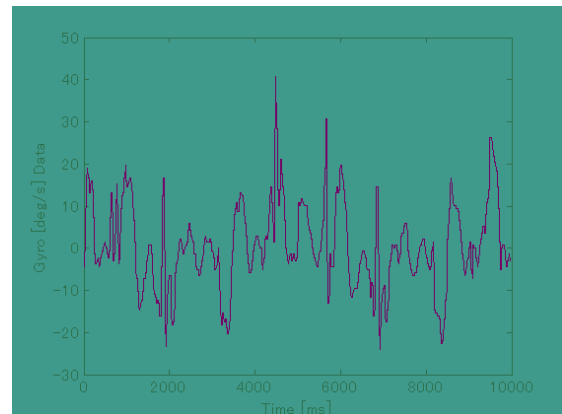


図4 凍結路面を模した氷上歩行実験

(7) 平成20年度は、転倒回避のために現実的に見合う歩行動作を提案することができた。

それは、定常時における立脚中期～立脚終期までのスペクトル解析および、せん断力を求めた結果、現時点では定常時のみであるが、この値を基準とし、滑り判定を行うことは定常時かつ直進歩行であれば可能であることが示された。その方法としては、実験より推定できる条件から

- ① 定常歩行時の合成荷重の大小にかかわらず、9Hz以上の値になると滑りである可能性がある。
- ② 定常歩行時の合成荷重から閾値を設け、その値の大小に関わらずに閾値を超えれば、周波数が8Hz以内であっても滑りである可能性がある。が挙げられる。

反対に滑りではない条件としてあげられるのは、せん断力が閾値に納まりかつ、周波数も8Hz内であるということである。この条件でマイコン制御を行えば、直進かつ定常であれば立脚中期～立脚終期の滑りを表現することは可能であると考えられる。ここで、歩き始めと歩き終わりのせん断力が安定しないために、滑りと判定してしまうことになるということも考えられる。

以上より、実験にて腰部に装着した加速度センサは振動成分の影響が少ないということがわかったので、速度計として使用することにより観測値の相関に基づき、歩き始め、歩き終わりの状態を推定もできると考えられることは重要な知見である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① 成田裕太郎、昆 恵介、竹澤 聡、重心の加速度変化から見たすべり危険因子の同定、日本機械学会機械力学・計測制御部門講演論文集、No. 08-14、179-184、(2008)、査読有
- ② 脇坂嶺一、竹澤 聡、つま先関節トルクによる姿勢安定ロボット歩行、日本機械学会機械力学・計測制御部門講演論文集、No. 08-14、155-160、(2008)、査読有
- ③ 加藤拓也、竹澤 聡、表面筋電位信号の平滑化処理法によるマニピュレータ制御、日本機械学会[No. 06-1] 2006年度年次大会講演論文集、vol. 5、21-22、(2006)、査読無
- ④ 加藤拓也、竹澤 聡、非線形な軌道上におけるロボットマニピュレータの計算トルク制御、北海道工業大学研究紀要、第34号、131-136、(2006)、査読有

[学会発表] (計4件)

- ① 京極岳久、竹澤 聡、筋電式パワーアシスト簡易制御手法の実験的研究、日本機械学会年次大講演論文集、No. 08-1、2008年度年次大会講演論文集 vol. 5、pp161-162、(2008年9月)、横浜
- ② 森 勸、竹澤 聡、環境情報ベクトル化によるヒューマノイドロボットの安定歩容の研究、日本機械学会

年次大講演論文集、No. 08-1、2008年度年次大会講演論文集 vol. 5、pp161-162、(2008年9月)、横浜

- ③ 成田裕太郎、竹澤 聡、遊脚動作解析から見た転倒回避問題、No. 07-1] 2007年度年次大会講演論文集、vol. 5、505-506、(2007年9月)、広島
- ④ 脇坂嶺一、竹澤 聡、可動範囲自己獲得能力を有する二足歩行ロボットの段差昇降問題、[No. 07-1] 2007年度年次大会講演論文集、vol. 5、503-504、(2007年9月)、広島

[その他]

- ① 研究成果の社会還元・普及事業 平成21年度 ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～KAKENHI 第2回 HIT夏休みキッズ科学技術セミナー ～ロボティクス・エディテイメント～平成21年7月26日(日)実施；小学校5、6年生30名参加予定。
- ② 研究成果の社会還元・普及事業 平成20年度ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～KAKENHI 第1回 HIT夏休みキッズ科学技術セミナー ～ロボティクス・エディテイメント～平成20年7月27日(日)実施；小学校5、6年生30名参加。
- ③ 研究成果の社会還元・普及事業 平成19年度ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～KAKENHI 自分で作っちゃえ！！最先端ゲーム機を～加速度とその不思議を解き明かそう～平成19年7月29日(日)実施；小学校5、6年生30名参加。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹澤 聡 (TAKEZAWA SATOSHI)
北海道工業大学・創生工学部・教授
研究者番号：70305902

(2) 研究分担者

太田 佳樹 (OHTA YOSHIKI)
北海道工業大学・創生工学部・教授
研究者番号：50233151
小林 幸徳 (KOBAYASHI YUKINORI)
北海道大学・工学部・教授
研究者番号：10186778