

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月15日現在

機関番号：84506

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560566

研究課題名（和文） 車いすユーザのエネルギー消費による身体負荷の定量化とバリアフリー評価に関する研究

研究課題名（英文） Relationship between wheelchair user's physical load and road environment by energy metabolism and wheelchair driving force

研究代表者

橋詰 努 (HASHIZUME TSUTOMU)

兵庫県立福祉のまちづくり研究所・研究員

研究者番号：00435900

研究成果の概要（和文）：本研究は車いすユーザの身体的負担に着目し、客観的エビデンスに基づいて歩道環境を評価する手法の構築を目的とする。成果として酸素摂取量代謝指標と車いす走行仕事率は、身体運動能力と道路の負荷との関係を表す指標として有効であることを明らかにした。歩道環境に対する車いすユーザの身体的負担を評価することが可能となり、歩道のバリアフリー化の検証、負担の少ない経路選択、ユニバーサルデザイン等への応用が可能である。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to evaluate the physical load of the wheelchair users while they are propelling a wheelchair on road, and to realize barrier-free environment. We evaluated the physical load using the oxygen cost index from oxygen uptake, workload and power from wheelchair driving force. The oxygen cost index and the power of wheelchair driving force are useful index for the assessment of barrier-free road environment, route selection with lower stress, and the universal design of slope.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学、土木計画学・交通工学

キーワード：交通バリアフリー、リハビリテーション工学、福祉のまちづくり、道路工学

1. 研究開始当初の背景

高齢者・障害者など、身体的にハンディキャップのある人たちが安全で快適に移動できる道路・交通環境のバリアフリーは、高齢社会に入ったわが国における活力ある社会づくりの上で重要な政策課題である。

平成18年12月にはバリアフリー新法（高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律）が施行された。この法律は公共施設および周辺道路をバリアフリー化するこ

とで、高齢者・障害者の移動負担を軽減し、移動の利便性および安全性の向上を図るものである。それに伴う移動円滑化基準では、車いすユーザの負担とならないような歩道境界部の段差、路面勾配（縦断勾配、横断勾配）、歩道幅員、路面状況などの道路構造についての基準を示している。

しかし、身体的負担と道路環境の関係については、具体的で客観的なエビデンスに基づいた上で評価した研究がなく、今後飛躍的に

外出量が増加すると考えられる車いすユーザに着目した負担感を客観的に評価した上で、バリアフリーの効果を評価することが重要な課題と考えられる。

具体的で客観的なエビデンス評価を進めてゆくためには、走行中の車いすユーザの身体的負担・車いすの走行性能・走行しやすい路面環境など複合的なアプローチによって検証する研究が求められている。

2. 研究の目的

本研究では歩道を走行する時の車いすユーザの身体的負担を客観的に明らかにすることにより、歩道の縦断勾配、横断勾配、波打ち路面などを含む歩道環境を評価する手法を提案し、歩道のバリアフリー度の評価やユニバーサルデザイン等に応用することを最終的な目標とする。

その手法として、①室内実験環境下において、車いすユーザの走行中のエネルギー代謝の基礎データを明らかにする。②実際の歩道環境において、路面の縦断・横断勾配、複合的路面状況等をパラメータとして、エネルギー代謝と車いす駆動トルクを計測し、車いすユーザの身体的負担の定量化を行う。③エネルギー代謝と車いす駆動トルクによる身体的負担量を指標として、歩道のバリアフリー評価手法を明らかにし、バリアフリーの効果検証や歩道のユニバーサルデザインへの応用を目的とする。

3. 研究の方法

車いすユーザの身体的負担について、客観的なエビデンスを明らかにするために、本研究では歩道を走行するときのエネルギー代謝（ヒト）と車いす駆動トルク（機械）に着目する。

具体的な研究の方法として、①酸素摂取量を計測することにより、車いすユーザの走行中のエネルギー代謝を指標として身体的負担の定量化を行い、②車いす駆動トルクを計測することにより、車いすが歩道を走行する時の物理的抵抗の指標とし、③車いすユーザのエネルギー代謝と車いす駆動トルクから導かれる指標に基づいて、実路面における歩道のバリアフリー評価を実施した。

車いす駆動トルクを計測するため、トルク変換器とロータリ・エンコーダを組み込んだ計測用車いすを使用した。車いす駆動トルクと車輪の回転角の値から、車いすが道路を走行するときの物理的負担を示す仕事量と、単位時間当たりになす仕事量すなわち仕事率を求めることができる。

酸素摂取量は携帯型呼吸代謝測定装置 VO2000 を用いて計測した。心拍数は心拍計 S625X を使用して計測した(図 1)。

実験を行った走行環境は、①室内平坦路面、

②縦断勾配 5%と 8%の実験用スロープ、勾配 8%の避難スロープと道路スロープ、③横断勾配 2%の道路、④波打ち路面解消工事前後の歩道環境である。

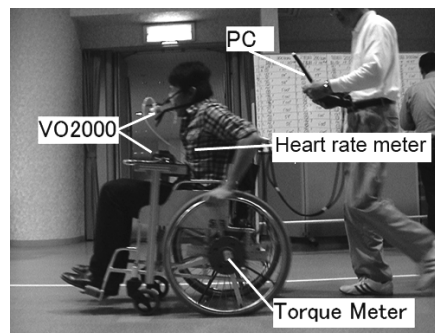


図 1 計測装置

4. 研究成果

歩道のスロープ（縦断勾配）、横断勾配は車いすにとって大きなバリアである。高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律による道路移動等円滑化基準では、「歩道等の縦断勾配は 5%以下とする。やむを得ない場合においては 8%以下とすることができる」、また「歩道等の横断勾配は 1%以下とする。やむを得ない場合は 2%以下とすることができる」と定められている。

縦断勾配の基準の根拠としては、既存研究と文献等から 5%以下であれば車いすユーザが登坂可能であること、車いすユーザ 25 名の実験結果では 24 名が 8%登坂可能であったことによっている。しかし、勾配ごとの車いすユーザの身体的負担に関する客観的評価は今後の課題とされている。

また現在国内において歩道のバリアフリー化への取り組みが積極的に行われているが、効果の定量的な検証が課題となっている。

本研究では、酸素摂取量と車いす駆動トルクを計測し、酸素摂取量代謝指標（単位距離当たりの酸素摂取量、以下 OCI（ O_2 Cost Index）と略す場合がある）と仕事率を指標とすることにより、歩道環境と車いすユーザの身体的負担を定量的に評価する新たな手法を提案した。以下に研究の成果を記す。

(1) 縦断勾配と身体的負担の関連性評価

①室内実験用スロープ

実験用スロープの距離は 10m、勾配は 5%と 8%である(図 2)。被験者は健康成人男性 6 名で、各被験者はスロープを上る動作を 20 回繰り返して、計 200m の走行を行い、その間の酸素摂取量、心拍数、車いす駆動トルクを計測した。

5%勾配の 200m 走行後の平均心拍数は 133bpm、平均 OCI は 0.00871/meter、平均仕事量は 11,751J、平均仕事率は 70.1W であった。8%勾配の 200m 走行後の心拍数は 150bpm、

OCI 0.01501/meter、仕事量 16,908J、平均仕事率は 70.8W であった。



図2 実験用スロープの計測

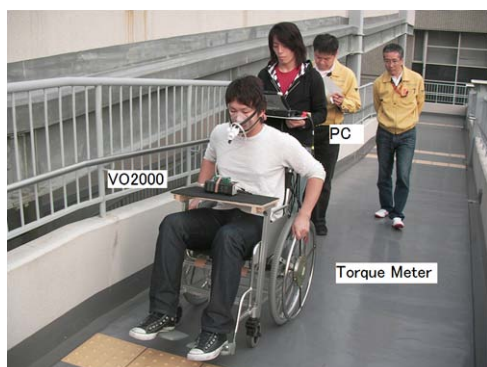


図3 避難スロープの計測



図4 道路スロープの計測

②避難スロープ

避難スロープの勾配は8%、1階から3階までの高低差は約7.6m、走行距離は120mである。途中1.5階・2階・2.5階の折り返し地点は平坦な踊り場になっている。スロープの途中には0.8mの平坦区間が2ヶ所ある(図3)。被験者は実験用スロープと同一被験者6名である。避難スロープでは、平均OCIは0.01701/meter、3階到達時の平均心拍数は156bpm、平均仕事量は8,072J、平均仕事率は58.4Wであった。

③道路スロープ

道路スロープの勾配は約8%、走行距離は105mで、被験者は健康成人男性4名である(図4)。8%勾配の道路スロープでは、平均OCIは0.0234 l/meter、105m走行後の平均心拍

数は156bpm、平均仕事量は8,923J、平均仕事率は55.0Wであった。

④スロープ(縦断勾配)の考察

室内の実験用スロープでは5%勾配の数値を基準とすると、8%勾配はOCIでは約1.7倍、心拍数は約1.1倍、仕事量では約1.4倍の差があり、平均値の差に統計的有意差がみられた。8%勾配は5%のスロープに比較して有意に身体的負担が大きいことが明らかである。

室内スロープ実験は10mの短距離を上り、介助により下ることを繰り返している。8%勾配室内スロープと避難スロープのデータを検証した結果、OCIの評価では短距離スロープを往復することにより、連続したスロープと同等の評価を行うことが可能である。

8%勾配避難スロープと道路スロープのOCIの差は1.4倍であり、平均値の差に有意差がみられたことより、実際の道路を走行するときの身体的負担がより大きい(図5)。道路スロープでは踊り場や平坦区間がなく、縦断勾配に加えて横断勾配や路面の波打ちの影響によるものと考えられる。

車いす駆動トルクから算出したスロープを上る物理的負担を表す仕事量も、避難スロープの8,072Jに対して、道路スロープは8,923Jで道路スロープが避難スロープの1.1倍物理的負担が大きく、両者の平均値の差に有意差がみられた。

一方、走行終了時の平均心拍数、平均仕事率(図6)については、両者の平均値の差に有意差は見られなかった。心拍数は両者とも156bpm、主観的運動強度を示すボルグ指数は約16(きつい、かなりきつい)であり、ほぼ上限に近い値のために差が現れなかったと思われる。

各勾配の走行時における身体的負担を評価するため、室内平坦路のデータと比較した。

走行速度3.6km/h、車いすを漕ぐストローク数60回/minの条件で、室内平坦路を600m走行した時の平均OCIは0.0061/meter、平均仕事率は15.2Wであった。

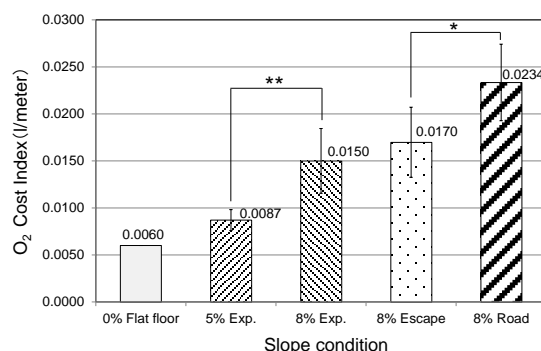


図5 平均酸素摂取量代謝指標 (*P<0.05, **P<0.01)

平坦路の OCI を基準の「1」とすると、5%勾配実験用スロープは 1.5、8%勾配実験用スロープ 2.5、避難スロープでは 2.8、道路スロープでは 3.8 の身体的負担に相当する。

同様に仕事率では、5%と 8%勾配実験用スロープは約 4.7、避難スロープは 3.8、道路スロープでは 3.6 となり、平坦路と比較した指標を用いることにより、各スロープの身体的負担の大きさを評価することができる。

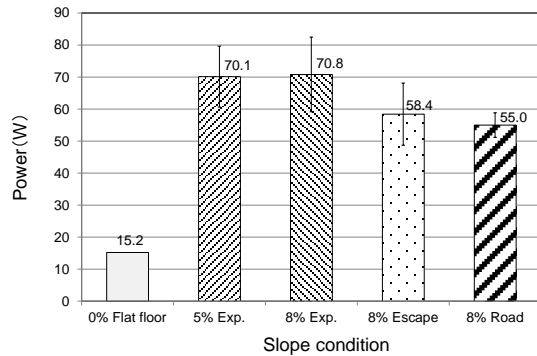


図 6 平均仕事率

(2) 横断勾配と身体的負担の関連性評価

横断勾配の実験は、自動車教習コースの道路中央(平均横断勾配約 0.4%、走行距離 245m)と、道路端(約 2%進行方向に向かって左に傾斜、距離 232m)の比較を行った(図 7)。

走行終了時の心拍数は道路中央が 139bpm、道路端が 142bpm で有意差はみられない。また、主観的運動強度を示すボルグ指数は、道路中央は 13(ややきつい)、道路端は 15(きつい)であり、身体的負担の増大を示している。

道路端を走行した時の OCI は 0.0080 l/meter、道路中央の OCI は 0.0062 l/meter であった。道路端の OCI の値が道路中央より約 1.3 倍大きい傾向が明らかになったが、統計的有意差は認められなかった(図 8)。

平均仕事率は道路端が 28.0W と道路中央の 25.7W より高い値を示したが、有意差は認められない。しかし両者の仕事率は、室内平坦路の仕事率 12.3W と比較すると有意に大きく、実際の道路環境における車いす走行の物理的抵抗が大きいことが明らかである(図 9)。

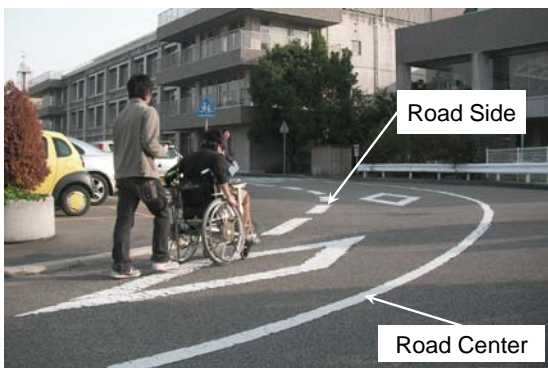


図 7 横断勾配の計測 (自動車教習コース)

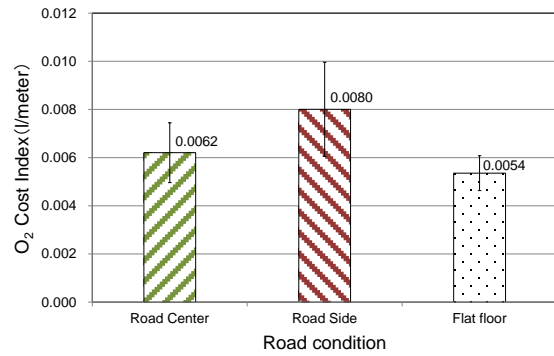


図 8 平均酸素摂取量代謝指標

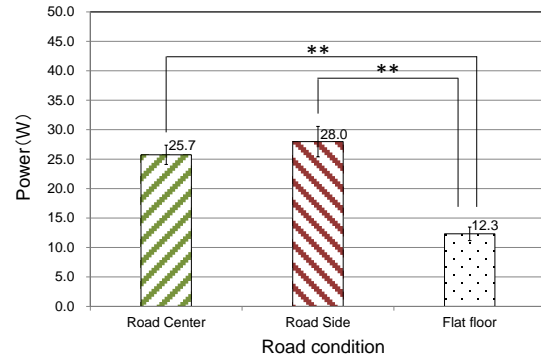


図 9 平均仕事率 (**: P < 0.01)

自動車教習コースは 4 カ所で緩やかに左に曲がる周回コースである。道路端の走行では左の横断勾配に抗して車いすを推進する必要があるため、右ハンドリムの仕事率に較べて左は約 3 倍の値に達している。

道路の横断勾配による左右の車いす駆動トルクのアバランスは、片麻痺等の障害を有する車いすユーザにとっては非常に大きな負担になることが推測される。

(3) 波打ち路面と身体的負担の関連性評価

波打ち路面解消工事の効果を検証した。実験は走行距離 226m、工事前の平均縦断勾配は約 2%、平均横断勾配は約 3%とガイドラインの上限を大きく超えている。解消工事後の平均縦断勾配は約 1.5%、平均横断勾配は約 1.6%で両者とも減少している(図 10)。



図 10 波打ち路面解消工事後の計測

解消工事後のボルグ指数は15(きつい)から13(ややきつい)に2ポイント、心拍数は152bpmから146bpmに低下し、身体的負担が軽減していることが示された。

波打ち路面解消工事の効果は、身体的負担を示すOCIの値が工事前の0.0123 l/meterから、工事後は0.0082 l/meterと有意に低下していることから明らかである(図11)。

平均仕事率は解消工事後が42.7Wと波打ち路面の35.9Wより有意に増加している(図12)。仕事率の増加は、路面状態の改善により効率的に走行できた結果と思われる。

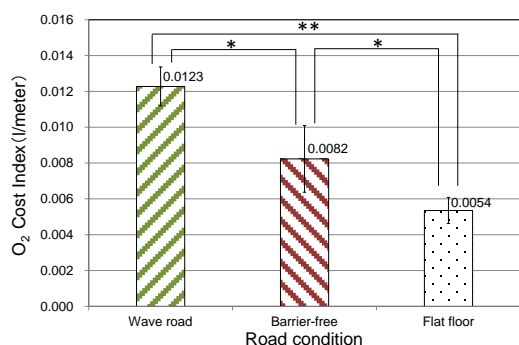


図11 平均酸素摂取量代謝指標 (*:P<0.05, **:P<0.01)

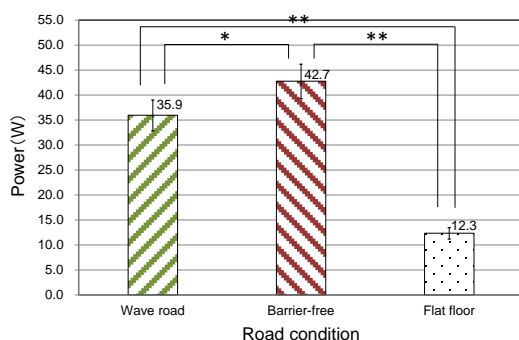


図12 平均仕事率(*:P<0.05, **:P<0.01)

(4) 研究成果のまとめ

研究成果として得られた知見を整理する。

- ① 実験用スロープの8%勾配は5%よりOCIが1.7倍の値を示し、身体的負担が大きい。
- ② 室内短距離スロープの往復により連続走行スロープの評価ができることを示した。この手法は実験に際して物理的制約がある中で、スロープと車いすユーザの身体的負担を客観的に評価する上で有用である。
- ③ 8%勾配の道路スロープのOCIは避難スロープと比較して1.4倍大きい。実際の道路スロープでは、横断勾配や路面の波打ち等の影響が大きいと考えられる。
- ④ OCIを身体的負担の指標とした時、平坦路を1とした場合、5%実験用スロープ1.5、

8%実験用スロープ2.5、8%勾配の避難スロープは2.8、道路のスロープは3.8となり、身体的負担を比較する指標として利用することが可能である。8%のスロープ(縦断勾配)の身体的負担が非常に大きいことが明らかになった。縦断勾配を5%以下に抑えること、8%勾配のスロープの場合には途中に平坦部を確保するなどの配慮が必要である。

- ⑤ 約2%の横断勾配により、OCIの値は約1.3倍増加する。また、波打ち路面解消工事においては、OCIの値が約2/3に低下し、身体的負担の軽減効果が明らかになった。
- ⑥ 横断勾配のある道路環境を走行する際には、OCI、心拍数、ボルグ指数等身体的負担を示す指標と、物理的抵抗を示す仕事率は平坦路に比較して増大することに注意する必要がある。横断勾配を可能な限り1%以下にするように、歩道の整備が重要である。
- ⑦ 車いすの駆動トルクから求められる道路の物理的抵抗を示す仕事量と、走行に要する時間で正規化した仕事率は、身体の運動能力と道路の負荷との関係を表す指標として有効である。

(5) 研究成果の有用性と展望

本研究の成果として得られた酸素摂取量代謝指標や道路の物理的抵抗を示す仕事率を評価指標として用いることにより、さまざまな走行環境に対する車いすユーザの身体的負担を評価することが可能であり、道路のバリアフリー化の効果の客観的評価、負担の少ない経路選択や、スロープのユニバーサルデザイン等への応用が可能である。

研究成果は国際学会において発表を行い、英語論文としても発刊されており、今後高齢者・障害者をはじめ全ての人の移動・交通アクセシビリティの向上に国際的に寄与することができる。今後の展望としては、歩道路面形状の自動計測と身体的負担の予測に基づく、交通アクセシビリティ支援情報の構築と情報発信が考えられる。

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3件)

- ① HASHIZUME, KITAGAWA, TAKAMI, YONEDA, KAMATA, FUJISAWA, SUEDA, Evaluation of Physical Load while Propelling Manual Wheelchair on a Slope, ASSISTIVE TECHNOLOGY RESEARCH SERIES, IOS Press, 査読有、Vol. 29, 2011, 796-803
- ② HASHIZUME, KITAGAWA, UEDA, MIYAMOTO, TAKAMI, YONEDA, KAMATA, MOHRI, MATSUSHITA, FUJISAWA, SUEDA, Relationship between wheelchair

user's physical load and road environment by energy metabolism and wheelchair driving force、12th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled Persons (TRANSED 2010)、査読有、2010、CD-ROM A280

- ③ HASHIZUME, KITAGAWA, TAKAMI, YONEDA, KAMATA, FUJISAWA, SUEDA, Evaluation of Body Vibrations During Manual Wheelchair Running Over Sidewalk Surfaces and Curbs - Standardization and Promotion of New Curbs with Universal Design、Assistive Technology Research Series, IOS Press、査読有、Vol. 25、2009、455-460

[学会発表] (計14件)

- ① 橋詰努, 北川博巳, 上田喜敏, 宮本忠吉、外4名、実験用スロープと道路スロープにおける車いす使用者の身体的負担の研究、日本機械学会第20回交通・物流部門大会、2011年12月、神奈川県
- ② HASHIZUME, KITAGAWA, MOHRI, UEDA, MIYAMOTO, YONEDA, FUJISAWA、Evaluation of Physical Load while Propelling Manual Wheelchair on a Slope、Association for the Advancement of Assistive Technology in Europe: AAATE 2011、2011年9月、オランダ・マーストリヒト
- ③ 橋詰努, 北川博巳、外2名、道路の横断勾配と波打ちによる車いす使用者の身体的負担への影響、日本福祉のまちづくり学会第14回全国大会、2011年8月、大阪府
- ④ 橋詰努, 北川博巳, 毛利太一, 上田喜敏、外2名、スロープを上るときの車いす使用者の身体的負担の評価、第26回リハ工学カンファレンス2011、2011年8月、大阪市
- ⑤ 橋詰努, 北川博巳、外2名、車いすがスロープを走行する時の身体的負担の評価、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011、2011年5月、岡山県
- ⑥ 橋詰努, 北川博巳, 上田喜敏, 宮本忠吉、外4名、スロープ路面と車いす使用者の身体的負担の研究、日本機械学会第19回交通・物流部門大会、2010年12月、神奈川県
- ⑦ 橋詰努, 北川博巳, 上田喜敏、外6名、酸素摂取量と車いす駆動トルクによる車いす使用者の身体的負担の評価、第25回リハ工学カンファレンス、2010年8月、宮城県
- ⑧ 橋詰努, 北川博巳、外3名、平坦路とスロープ走行時の車いす使用者のエネルギー代謝の計測と評価、日本福祉のまちづくり学会第13回全国大会、2010年8月、愛知県
- ⑨ HASHIZUME, KITAGAWA, UEDA, MIYAMOTO, TAKAMI, YONEDA, KAMATA, MOHRI, MATSUSHITA,

FUJISAWA, SUEDA、Relationship between wheelchair user's physical load and road environment by energy metabolism and wheelchair driving force、2010年6月、中国・香港

- ⑩ 橋詰努, 北川博巳, 上田喜敏, 宮本忠吉、外6名、車いすがスロープを走行する時のエネルギー代謝と身体的負担の研究、日本機械学会第18回交通・物流部門大会、2009年12月、東京都
- ⑪ 橋詰努, 北川博巳, 上田喜敏, 宮本忠吉、外6名高見正利、米田郁夫、鎌田実、松下征司、藤澤正一郎、末田統、車いす走行中のエネルギー消費と駆動力の研究、日本機械学会福祉工学シンポジウム2009、2009年9月、高知県
- ⑫ HASHIZUME, KITAGAWA, TAKAMI, YONEDA, KAMATA, FUJISAWA, SUEDA、Evaluation of Body Vibrations During Manual Wheelchair Running Over Sidewalk Surfaces and Curbs - Standardization and Promotion of New Curbs with Universal Design、Association for the Advancement of Assistive Technology in Europe: AAATE 2009、2009年8月、イタリア・フィレンツェ
- ⑬ 橋詰努, 北川博巳、外5名、車いす使用者の身体振動と道路環境の評価、第24回リハ工学カンファレンス、2009年8月、埼玉県
- ⑭ 橋詰努, 北川博巳、外5名、Influence of road surfaces on wheelchair user's whole-body vibration、第17回日本人体振動学会、2009年8月、東京都

[その他]

ホームページ等

<http://www.assistech.hwc.or.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋詰 努 (HASHIZUME TSUTOMU)

兵庫県立福祉のまちづくり研究所・研究員

研究者番号：00435900

(2) 研究分担者

北川 博巳 (KITAGAWA HIROSHI)

兵庫県立福祉のまちづくり研究所・研究員

研究者番号：10257967

(3) 連携研究者

上田 喜敏 (UEDA HISATOSHI)

森ノ宮医療大学保健医療学部理学療法学科・専任講師

研究者番号：80454677