

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 5 月 15 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560617

研究課題名（和文） 人体－車いす－空間連携による障害者のための至適温熱環境設計に関する研究

研究課題名（英文） Thermal environment design for the disabled person by human body-wheelchair-dwelling space cooperation

研究代表者

土川 忠浩（TSUCHIKAWA TADAHIRO）

兵庫県立大学・環境人間学部・教授

研究者番号：50180005

研究成果の概要（和文）：体温調節機能が低下している障害者およびその介助者の日常生活支援するため、人体－車いす－空間連携による温熱環境制御方法開発のための基礎的検討を行った。人工気候室内で頸髄損傷者を対象とした体温調節生理・心理反応実験により、その特性を把握した。制御用体温調節シミュレーションモデルを構築するために必要な人体と車いすの熱物性値を測定した。体温調節モデルによって脊損者の体温ならびに体温調節反応の予測を行い、実験値との比較を行ってその有効性を検討した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop the control method of thermal environment by human body-wheelchair-dwelling space cooperation for the disabled person (and his caregiver) whose ability of regulate body temperature is reducing. Thermoregulatory responses of the person with spinal cord injury (SCI) at risk of both hyperthermia and hypothermia were measured in the artificial climate chamber. For building the thermoregulation simulation model of SCI, thermal properties of the human body and wheelchair were measured. The simulated results of body temperature of SCI by the simulation model showed good agreement with the experimental results.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2010年度	300,000	90,000	390,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築環境・設備

キーワード：温熱環境、車いす、体温調節モデル、生理心理

1. 研究開始当初の背景

近年、建築・都市空間においてバリアフリーやユニバーサルデザインの概念は浸透しつつあるが、手すりの設置や段差の解消といった力学的障壁に着目したものが多く、熱的障壁については十分に考慮されていないと考えられる。特に車いす使用者の多くは脊髄

損傷者（脊損者）・頸髄損傷者（頸損者）などの身体障害者や高齢者であり、健常者に比べ発汗等の体温調節能力の低下あるいは一部欠損のため、温熱環境に対する適応性は一般的に低い傾向にある。さらに厳しい熱環境変化がある場合は、生命の危険に陥ることもある。

これまでの温熱環境設計に関する研究のほとんどが健常者を対象としたものであるが、最も至適な温熱環境を必要としているのは、上記のような身体的障害等によって体温調節機能が低下している人々であろう。バリアフリーあるいはユニバーサルデザインという概念が広く社会に浸透してきた現在でも、このような人々を対象とした建築環境学研究（特に温熱環境）は少なく、設計手法等の確立に至っていないのが現状である。

日本において脊損者を対象として研究として、田村・吉田(1979)は脊損者の体温調節反応を確認するために、健常者と第5、6頸椎損傷者を対象に実験室実験を行っている。体温調節障害による低体温やうつ熱が起きていることを確認している。

三上・吉田ら(2003,2005)は、脊損者、脳性まひ者、ポリオ、切断者などの様々な身体障害者の体温調節反応に関する研究や、温冷感・快適感などの官能申告や日常の意識調査を行ってきた。特に脊損者に関する研究が顕著で、体温調節反応に関する研究では、上記の実験の結果と同様に低温側では、四肢末梢部血管収縮障害により過放熱となる傾向を認め、高温環境下では、血管調節障害、発汗障害等により十分な放熱が行われず、うつ熱となる傾向を示したと報告している。

以上のように、脊損者の体温調節機能低下の温熱生理学的特徴は、多大な努力を必要とする貴重な研究によって明らかになりつつある。しかしながら、QOLを向上させるために温熱環境をどのように提供すべきかといった方法論の確立には未だ至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、以上のような背景を鑑み、いわゆる環境弱者のための温熱環境設計・評価方法確立の基礎的研究と位置づけ、主として車いすを使用する脊損者(頸損者)と周囲環境との熱交換に基づく、温熱環境設計、評価指標の確立、さらに人体、福祉用具(車いす)および空間制御の連携による体温調節支援システム(人間-車いす(福祉機器)-空間連携制御システム)構築のための基礎的検討を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 主として脊損者(頸損者)の生活温熱環境実態と温熱的改善ニーズの把握

居室等の温熱環境の測定による実態把握と、改善方法の検討を行った。

(2) 人工気候室を用いた温熱環境に対する頸損者の生理・心理反応の実測

①温湿度条件に対する深部温・皮膚温等の反応実験

頸損者1名および健常者(青年男子)1名を対象に各被験者に対して、定常温熱環境条件と非常温熱環境条件について実験を行った。定常条件では、室温21℃、23℃、25℃、

27℃、29℃の5条件とし、1環境条件について90分間行った。非常条件では、室温27℃から30分毎に温度を2℃ずつ25℃、23℃と下げていき、計90分間行った

②末梢部皮膚温の変動特性の実験

快適状態において、手指先のような末梢部では皮膚温に揺らぎが生じることが先行研究で明らかにされている。頸損者においても同様の反応が起きるかどうかを被験者実験によって確認した。

③人間-車いす-空間連携制御システムのための人体モニター部位の検討実験

連携システム開発では、耳内温度のような人体の深部体温をモニターする必要がある。日常生活で耳内温を連続測定することは困難であるので、その代替として腕や脚部の皮膚を断熱(具体的には、実用性を考慮して市販の厚手のリストバンド等を利用する)することによって、深部温度の代替とすることが可能かどうかを被験者実験により検討した。

(3) 脊損者の体温調節シミュレーションモデル構築のための人体ならびに車いすの熱的物性値の実測

①人体表面の皮膚分節面積の実測

脊損者の障害の度合いによる体温調節の能力の程度を表現するために、脊髄神経に対する皮膚面積(皮膚分節)の割合を採用する。そのため、青年男子(健常者)の人体表面に医療用サージカル粘着テープを用いた面積測定を行った。

②車いす乗車人体の対流熱伝達率および放射熱伝達率の測定

車いす乗車人体の体温調節シミュレーションでは人体と環境との熱交換量を算定する必要がある。その算定には人体表面での対流熱伝達率および放射熱伝達率が必要となる。風洞実験室内に車いす乗車人体を配置し、被験者(青年男子・健常者1名)に対して実測を行った。

③車いす乗車人体の日射投影面積の実測

屋外環境では日射対策が必要となる。日射による受熱量を算定するためには、人体の日射受熱面積が必要である。車いす乗車した被験者(青年男子・健常者1名)を対象に写真撮影法によって実測を行った。

④車いすの照り返し吸収率の測定

屋外環境では日射のみならず、アスファルトのような地面からの照り返しの影響についても検討する必要がある。車いすのシート裏面や背面が地面からの照り返しを吸収する熱物性値として照り返し吸収率を定義し、実測を行った。

(4) 脊損者の体温調節シミュレーションモデルの構築と分析

①脊損障害の度合いによる深部温・皮膚温のシミュレーション

人体の主な部位の深部温および皮膚温を

求めることが可能な Stolwijk のモデルを拡張し、頸損者の体温調節シミュレーションモデルを構築した。そのモデルによって、脊損の障害の度合いによる深部温度・皮膚温度等のシミュレーションを行って、影響の違いについて検討した。

②被験者実験実測値とシミュレーション予測値との比較

開発した頸損者の体温調節モデルを用いて、被験者実験との比較を行い、モデルの有効性の検討を行った。

③体温調節シミュレーションモデルによる防暑対策・防寒対策の効果の検討

頸損者は暑熱環境においてうつ熱、寒冷環境では過冷却の危険性があるため様々な対策を行っている（例えば、防暑対策として顔面に霧を吹き付けるなど）。制御連携システムではこのような対処方法を教示し、その効果を予測する機能を有することも検討している。このような対策の効果についてシミュレーションモデルを用いて検討した。

4. 研究成果

(1) 主として脊損者（頸損者）の生活温熱環境実態と温熱的改善ニーズの把握

頸髄損傷者3名の自宅居室における温湿度等の温熱環境の実測調査を行いその実態を把握するとともに暖冷房の使用状況等について把握・分析を行った。さらに、居室温熱環境の簡易改善方法として、熱損失の比較的大きい窓ガラスに気泡断熱シートを取り付けた場合の温熱環境改善効果があった。

(2) 人工気候室を用いた温熱環境に対する頸損者の生理・心理反応の実測

①温湿度条件に対する深部温・皮膚温等の反応実験

障害者（頸損者）の温熱環境に対する生理心理反応のデータを取得し、体温調節数値シミュレーションのための基礎データとするため、人工気候室内において頸髄損傷者1名および健常者1名を対象として、温熱環境条件（定常状態および非定常状態）に対する生理・心理反応を測定した。その結果、頸損者の深部体温および皮膚温は、体温調節機能の欠如によって環境温度に大きく影響することが確認された。

図1に設定室温滞在90分後の耳内温（深部温）の変動量を示す。健常者の耳内温度はほぼ一定であるが、頸損者の耳内温は室温の影響を受けていることが判る。

②末梢部（手指先）皮膚温の変動特性の実験

頸損者の手指先（左手第三指先端部）の皮膚温に、熱適快適時特有の揺らぎが見られるかどうかを実験的に検討した。その結果、健常者については、先行研究と同様に揺らぎが認められたが、頸損者では健常者ほど明確な傾向は示されなかった。ただし、被験者1名に対する結果であり、今後のさらに確認実験を

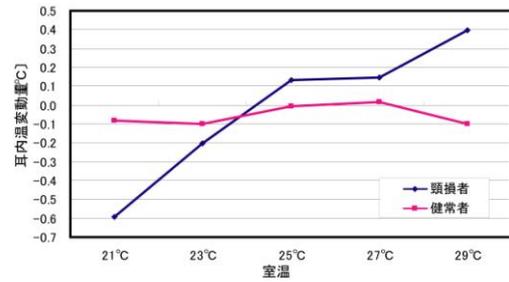


図1 設定室温滞在90分後の耳内温の変動量

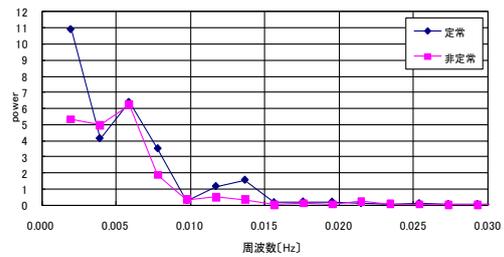


図2 健常者手指先の揺らぎFFT解析結果

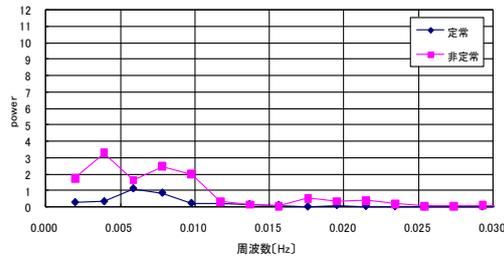


図3 頸損者手指先の揺らぎFFT解析結果

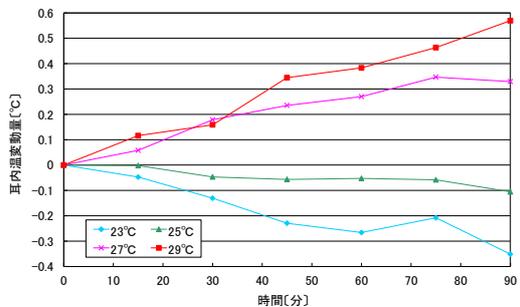


図4 頸損者の耳内温の経時変動

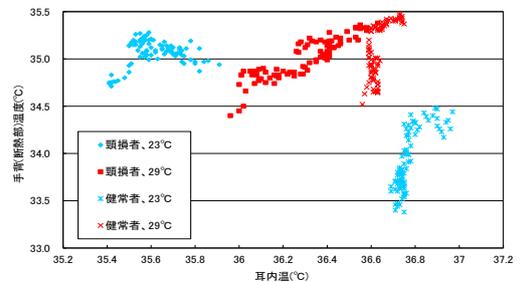


図5 頸損者・健常者の耳内温と手背(断熱)の相関

行う必要があると考えられる(図2・図3)。
③人間一車いす一空間連携制御システムの

ための人体モニター部位の検討実験

連携システム開発に必要な深部温度を代替する皮膚温を特定とその可能性を検討するために、前腕部、手背、下腿前、車いす座面接触部および車いす背面接触部の温度と耳内温度との相関性について実験的に検討した。頸損者1名を対象に、室温23℃、25℃、27℃および29℃の条件で行った。

図4に頸損者(1名)の耳内温(深部温)の時間変動を示す。室温25℃では深部温度はほぼ一定に保たれたが、23℃では下降、27℃および29℃では上昇し続けていることが判る。図5に耳内温と手背(断熱条件)との相関を示す。健常者は耳内温が一定で関係性は認められないが、頸損者は耳内温に従って手背温度が変動しており関係性がうかがえる。

同様に、図6に頸損者の耳内温と前腕(断熱条件)との関係、図7に下腿(断熱条件)、図8に座面接触部(褥瘡防止クッションによる断熱条件)との関係を示す。どの図においても室温25℃条件では耳内温の変動が小さく被験者となった頸損者の体温が保持されている室温と推察できる。それ以外の室温では耳内温の変動に伴い断熱された皮膚温も比例するように変動している。したがって、皮膚を断熱することによって深部温変動との相関が期待され、それらの部位を連携制御システムにおける脊損者深部体温のモニター部位としての有効性が期待できるものと考えられる。特に実用上負担の少ないと考えられるのは、下腿および臀部(車いすの褥瘡用クッションとの接触部)である。

(3) 脊損者の体温調節シミュレーションモデル構築のための人体並びに車いすの熱物性値の実測

①人体表面の皮膚分節面積の実測

脊損者の障害の度合いによる体温調節の能力の程度を皮膚面積(皮膚分節/デルマトーム)の割合で表現し、健常度としてシミュレーションに適用する。そのため標準的な体型の青年男子(健常者)1名を対象に粘着テープによる面積採取を行った。皮膚分節および人体部位の区分を図9に示す。

②車いす乗車人体の対流熱伝達率および放射熱伝達率の測定

車いす乗車人体と環境との熱交換量の算定に必要な対流熱伝達率および放射熱伝達率を風洞実験室内に車いす乗車人体を対象に実測した。風速条件は、無風(0m/s)および0.5m/s、1.0m/sおよび2.0m/sである(風速はいずれも目標値)。対流熱伝達の結果を図10に示す。車いす乗車状態と椅座状態との伝達率の違いを検討した結果、車いす乗車状態は車いすの形状の影響によって比較的小さい値になることが明らかとなった。

③車いす乗車人体の日射投影面積の実測

車いす乗車人体に対する日射熱量を算定

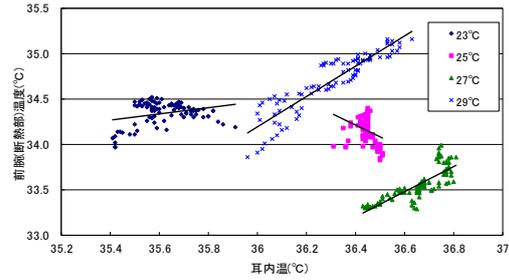


図6 頸損者の耳内温と前腕(断熱)の相関

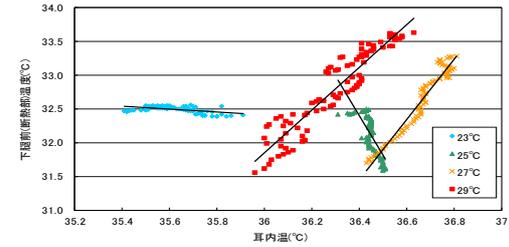


図7 頸損者の耳内温と下腿(断熱)の相関

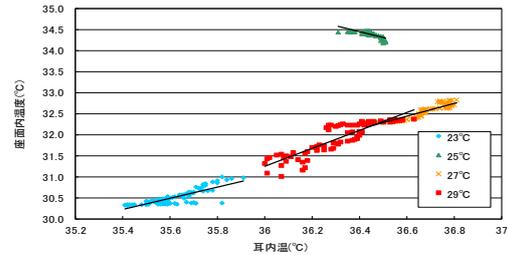


図8 頸損者の耳内温と座面温度との相関

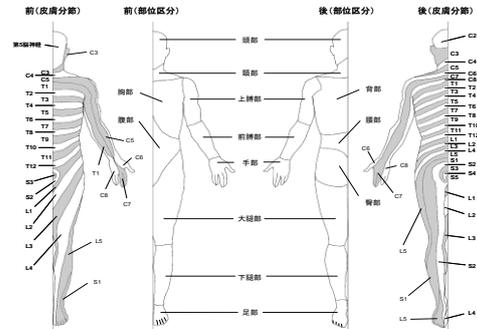


図9 皮膚分節と人体部位分割

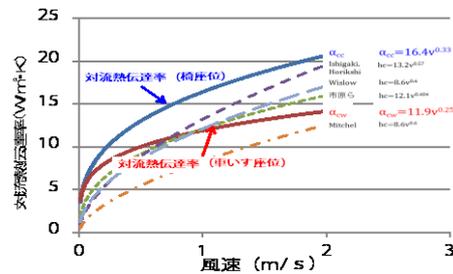


図10 車いす乗車人体の対流熱伝達率

するために必要な日射受熱面積を被験者および人体を直方体で構成した立体モデルを対象に写真撮影法によって実測を行った。図1-1に示すように太陽位置を模擬した座標系を設定し、その角度・方位から撮影し、得られた写像を画像処理することで面積を算定した。図1-2に実測によって得られた車いす乗車人体と直方体モデルの写像例を示す。

④車いすの照り返し吸収率の測定

車いすの座面および背面シートの地面からの熱放射の吸収量を数値化するために、照り返し吸収率を定義し、日射暴露による実測方法を開発した。車いすのシートの色（紺、赤、黄、および紺色にアルミ箔を貼り付け）による日射吸収率の測定結果を図1-2に示す。日射吸収率はシートの色による顕著な違いは認められなかった。座面裏にアルミ箔をシート表面に貼ることにより、吸収率（遮蔽効果）を30%程度減少させることができることが明らかになった。背面ではアルミ箔による遮蔽効果は低い（図1-3）。

(4) 脊損者の体温調節シミュレーションモデルの構築と分析

①脊損障害の度合いによる深部温・皮膚温のシミュレーション

連携制御システムを構築するために、既存の体温調節モデル（Stolwijkモデル）を改良して、脊髄損傷者のための体温調節シミュレーションモデルを開発した。さらにモデルに組み込むために、求心性健常度により健常部、麻痺部を区分し、健常部の遠心性健常度、麻痺部の遠心性健常度を推定した。

健常者、第5頸損者(C5)、第5胸損者(T5)、第5腰損者(L5)の環境温度に対する90分暴露後の体温予測結果を図1-4に示す。脊損者は健常者と比較すると、体温調節障害により低温環境下での低体温、高温環境下でのうつ熱の傾向がうかがえる。損傷部位が上位になるほど、体温調節障害が重度になるため、第5頸損者(C5)は、体温調節障害の影響が顕著になっている。

②被験者実験実測値とシミュレーション予測値との比較

脊損者の体温調節モデルによるシミュレーション結果と頸損者を被験者とした実測結果との比較を図1-5に示す。その結果、比較的良い対応を示しており、体温調節モデルの有効性が期待できた。しかしながら、被験者数は1名であるので、今後さらに被験者を増やして実測を行い、モデルの有効性について詳細に検討する必要がある。

③シミュレーションによる防暑対策・防寒対策の効果の検討

制御連携システムでは、体温予測のみならず、防暑・防寒対策を当事者ならびに介助者に教示し、その効果を予測することも検討している。そのため、このような対処方法の効

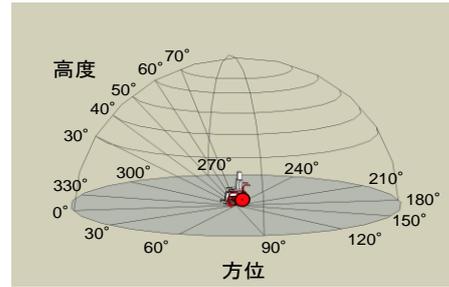


図1-1 人体の日射受熱面積測定角度



図1-2 日射受熱面積測定で得られた写像例 (左：車いす乗車人体 右：人体直方体モデル)

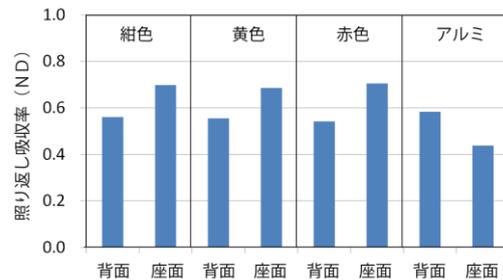
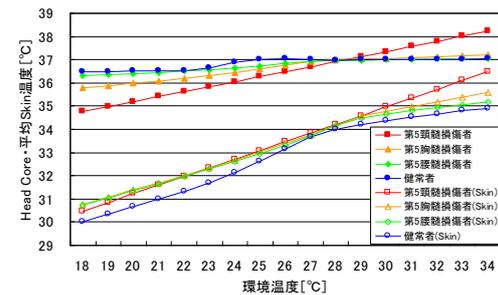


図1-3 車いすのシートの色別照り返し吸収率



果について検討した。暑熱環境における頭部への冷却の効果について図1-6に示す。この条件では頭部深部温度が37°C付近で保たれた冷却量は30W程度となった。このように環境変動に対する対処方法の効果の予測が可能となることで、脊損者の外出時のバリアの低減につながるものと期待できる。

以上の成果は、体温調節が困難な障害者およびその介助者を支援するための人体一車

いすー空間連携による温熱環境制御システム開発に対して顕著に貢献するものである。今後は、具体的な装置システムの製作と実用性を検討する。

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 25 件)

- ①永田太陽, 土川忠浩, 堀慎輔, 藏澄美仁, 大和義昭, 堀越哲美, 松原斎樹: 車いす乗車人体に対する屋外温熱環境の影響に関する研究-その 5 無風状態における車いす乗車人体の放射・対流熱伝達率の測定-日本建築学会近畿支部研究報告集(環境系), 査読無, 第 51 号, 2011, 261-264
- ②永田太陽, 土川忠浩, 相馬史宏, 藏澄美仁, 大和義昭, 松原斎樹, 堀越哲美: 車いす乗車人体に対する屋外温熱環境の影響に関する研究-その 2 照り返し影響評価のための簡易測定装置の開発-日本建築学会近畿支部研究報告集, 査読無, 50, 環境系, 2010, 333-336
- ③相馬真子, 土川忠浩, 相馬史宏, 永田太陽, 藏澄美仁, 大和義昭, 松原斎樹, 堀越哲美: 車いす乗車人体と環境との熱交換に関する研究-その 13 頸髄損傷者の生理・心理に及ぼす温熱環境の影響-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸) D2, 査読無, 2010, 520-521
- ④永田太陽, 土川忠浩, 相馬史宏, 藏澄美仁, 大和義昭, 松原斎樹, 堀越哲美: 車いす乗車人体に対する屋外温熱環境に関する研究-その 2 車いすの照り返し吸収率の特性分析-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸) D2, 査読無, 2010, 595-596
- ⑤相馬史宏, 土川忠浩, 永田太陽, 藏澄美仁, 大和義昭, 松原斎樹, 堀越哲美: 車いす乗車人体と環境との熱交換に関する研究-その 14 接触面積および放射・対流熱伝達率の違いが体温予測に及ぼす影響について-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸) D2, 査読無, 2010, 597-598
- ⑥相馬史宏, 土川忠浩, 永田太陽, 藏澄美仁, 大和義昭, 松原斎樹, 堀越哲美: 車いす乗車人体と環境との熱交換に関する研究-その 15 頸髄損傷者の体温の被験者実測値とモデル計算値との比較-, 日本生気象学会誌, 査読無, 47, 2010, S81
- ⑦相馬史宏, 土川忠浩, 藏澄美仁, 大和義昭, 松原斎樹, 堀越哲美, 車いす乗車人体と環境との熱交換に関する研究-その 16 高温環境における局所冷却効果の体温調節モデルによる検討-第 34 回人間-生活環境系シンポジウム報告集, 査読無, 2010, 197-196
- ⑧相馬史宏, 土川忠浩, 藏澄美仁, 大和義昭, 松原斎樹, 堀越哲美: 車いす乗車人体と環境との熱交換に関する研究-その 8

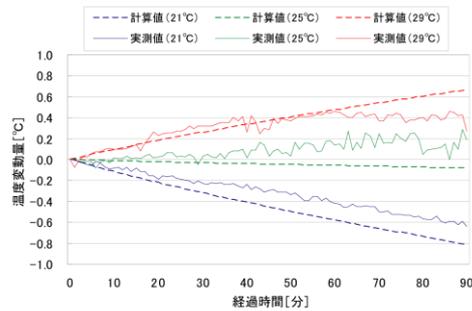


図 15 頸損者の体温予測の計算値と実測値との比較

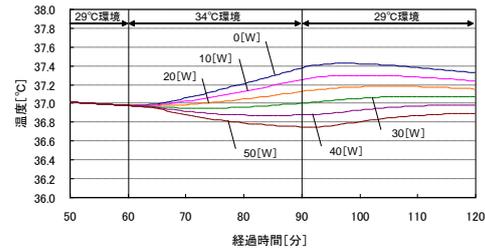


図 16 頸損者の頭部の除去熱量による深部温変動

Stolwijk モデルによる脊髄損傷者の体温調節モデル-, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 査読無, 49, 環境系, 2009, 285-288

[学会発表] (計 25 件)

- ①堀慎輔, 土川忠浩, 永田太陽: 建築・都市空間設計用の体温調節モデルにおける脊損者の呼吸に伴う熱移動の検討, 日本福祉のまちづくり学会第 14 回全国大会, 2011 年 8 月 27 日, 国際障害者交流センター, (大阪府)
- ②永田太陽, 土川忠浩, 堀慎輔: 車いす乗車人体および各部位の放射・対流熱伝達率の測定, 日本福祉のまちづくり学会第 14 回全国大会, 2011 年 8 月 27 日, 国際障害者交流センター (大阪府)
- ③堀慎輔, 土川忠浩, 永田太陽, 藏澄美仁, 大和義昭, 松原斎樹, 堀越哲美: 建築・都市空間における脊髄損傷者の体温調節予測モデルに関する研究, 日本建築学会第 34 回情報・システム・利用・技術シンポジウム, 2011 年 12 月 16 日, 建築会館 (東京都)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土川 忠浩 (TSUCHIKAWA TADAIRO)
兵庫県立大学・環境人間学部・教授
研究者番号: 50180005

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: