

Interactive System  
インタラクティブシス  
テム特論(9)

Hiroyuki Kajimoto  
kajimoto@hc.uec.ac.jp

Twitter ID kajimoto

Hash tag #itsys

# Schedule

- 4/10 講義(lecture)1
- 4/17講義(lecture)2
- 4/24出張のため休講
- 5/1講義(lecture)3
- 5/8講義(lecture)4
- 5/15講義(lecture)5
- 5/22出張のため休講
- 5/29講義(lecture)6: 東3-306 (301は学会で使用)
- 6/5講義(lecture)7
- 6/12講義(lecture)8
- 6/19講義(lecture)9: 論文候補提示
- 6/26 出張のため休講
- 7/3 出張のため休講
- 7/10プレゼンテーション(presentation)1
- 7/17プレゼンテーション(presentation)2
- 7/24出張のため休講
- 7/31プレゼンテーション(presentation)3

# 【重要】 論文紹介について

本日16:20に論文候補リストを講義のページにアップ  
します。

(トップページ⇒メンバー⇒梶本⇒インタラクティブシ  
ステム特論

この論文から第三希望までを指定されたフォームに  
入力してください。

論文はすべてACM Digital Libraryで見れますし(学  
内フリー), 多くの論文は自主的に公開されています。

早い者勝ちで決めていきますが第三希望まで書か  
れていないものは受け付けません。来週月曜まで  
にお願いします。火曜までに発表日も含め通知しま  
す。

# 【重要】論文紹介について

● 発表時間:4分、質疑応答:2分、入替:1分

- ✓ **発表時間厳守**。聞く人も遅刻しないように(この回に限り出席簿は最初に回します。最初の発表者は5分前には来てください)。
- ✓ 研究の要点を、**何が面白いのか**分かるように話すことに集中してください。数式等の説明は不要。関連するweb上のコンテンツ(ムービー等)を探してくることを強く推奨します
- ✓ **発表の評価は出席している学生全員で行います。**
- ✓ **自分のノートは使えません。USBメモリで持参してください。** pptのバージョンは2007です。
- ✓ ppt作成の際は**ムービーを必ず同じフォルダに入れて持ってきてください(埋め込みは上手く動かないことがあります)**

理解度(10)	資料(10)	発表(10)	質疑(10)	印象(10)	合計(50)

# Outline of the lecture

1. 人間計測手法／Measuring Human
2. 視覚／Human Vision System
3. 視覚センシング／Visual Sensing
4. 視覚ディスプレイ／Visual Display
5. 聴覚、聴覚インタフェース／Auditory Interface
6. 触覚、触覚インタフェース／Tactile Interface
7. 力覚、力覚インタフェース／Haptic Interface
8. 移動感覚インタフェース／Locomotion Interface



# TODAY'S TOPIC

1. Locomotive perception mechanism
2. How to present “Walking” sensation?
3. How to present “Riding” sensation?
4. Why are they so HUGE?



# 運動感覚：最後 & 最大の難問

Locomotion: The last & the most difficult



視覚・聴覚・触覚...これまで学んだことで理想的なVR世界が作れるか⇒「飛んだり跳ねたり」が出来ない！

We can not make the “matrix” world by simple visual, auditory and tactile display. Something is missing.

# 運動感覚？／Locomotion?

## 複合感覚／Combined sensation

- 歩行／Walking

- 触覚／Tactile sensation
- 力覚／Force sensation
- 加速度／Acceleration  
(前庭器官／vestibular)
- 速度／Velocity  
(視覚的オプティカルフロー／Visual stimuli, or “optical flow”)

- 運転／Riding

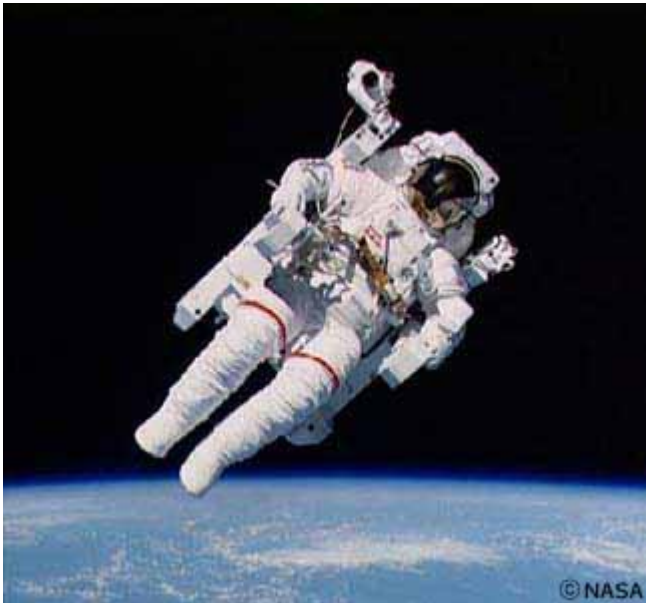
- 加速度／Acceleration
- 速度／Velocity





# 速度は体内器官だけでは検出できない

## Velocity cannot be measured by internal sense



一定速度の状況は，速度0の状況と，物理的に区別がつかない。  
よって，視覚的手がかり(オプティカルフロー)が大きな手がかり。  
Constant speed situation is physically equivalent to speed=0 situation.  
Therefore, Optical flow is the only cue.

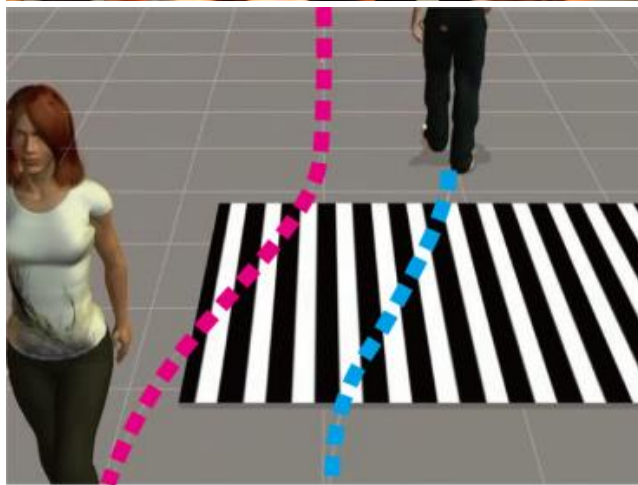
# 視覚性自己運動知覚 (Vection)



- 運動しているような視覚的手がかり(オプティカルフロー)  
⇒ 観察者自身が運動しているように知覚。
- Ex) ホームで電車の動きを見る ⇒ 自分が動いたように知覚
- Ex) Star Wars のワープ場面で自分が前に動いたように知覚

(参考:再)

## レンチキュラレンズを用いた歩行誘導



SIGGRAPH2011  
Emerging Technologies

"Vection Field"

for Pedestrian Route Guidance

[http://www.youtube.com/watch?v=VSBRG1\\_5s2E](http://www.youtube.com/watch?v=VSBRG1_5s2E)

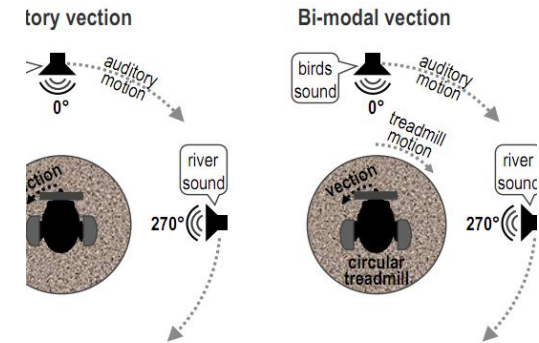
Hiroyuki Yoshikawa  
Yaku Hachisu  
Shogo Fukushima  
Masahiro Furukawa  
Hiroyuki Kajimoto

The University of Electro-Communications

- 場が歩行者を誘導する**ベクション場**の形成.
- レンチキュラレンズ**を用い, 視覚刺激を床面へ広範囲呈示.
- 受動素子⇒**歩行者の動きに同期した刺激**を**完全無電源**で実現.



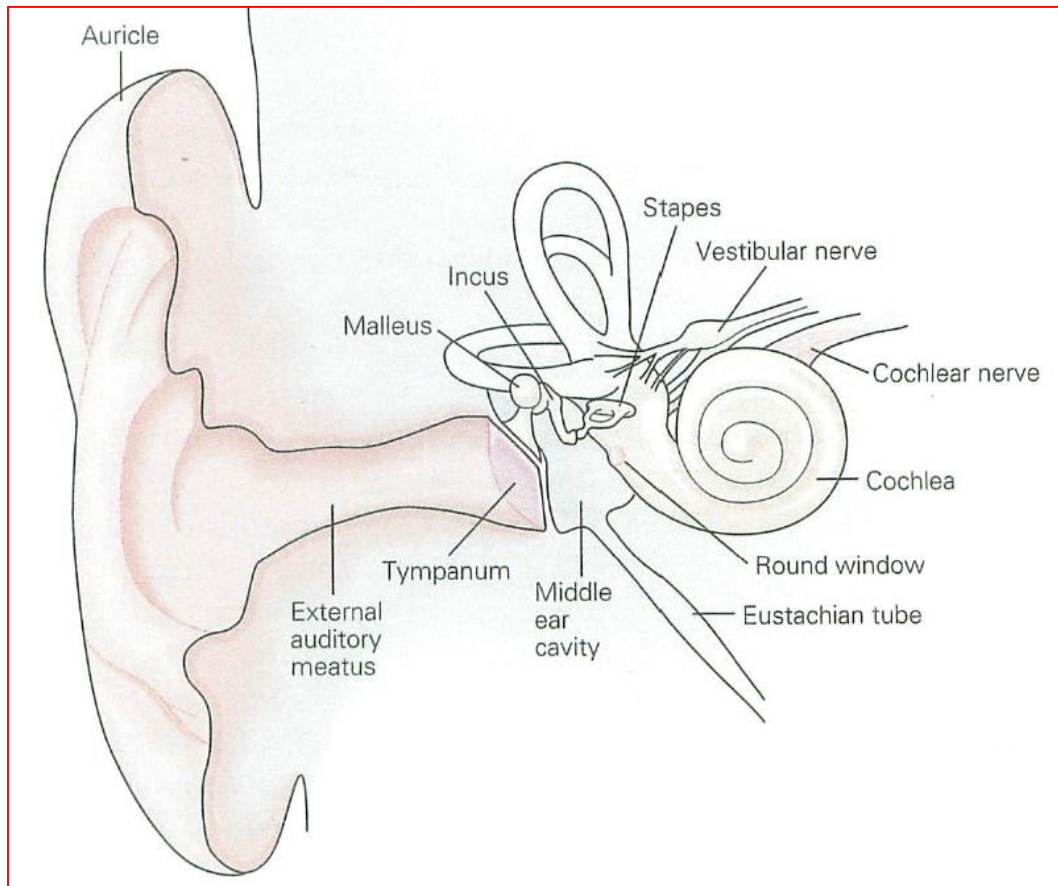
# 聴覚によるベクシオン



- ベクシオンは音源の回転でも生じる

特に回転する床を用意し、被験者が足で能動的に回転させると強い効果

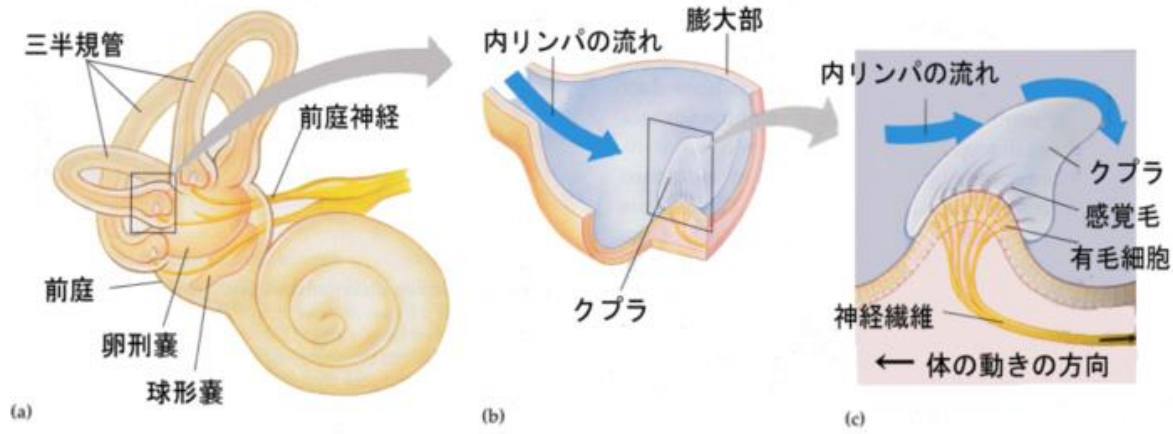
# 前庭規管／Vestibular System



- 2種類のセンサ
  - 角加速度
  - 加速度
- Two types of sensor.
  - Angular Acceleration.
  - Acceleration.

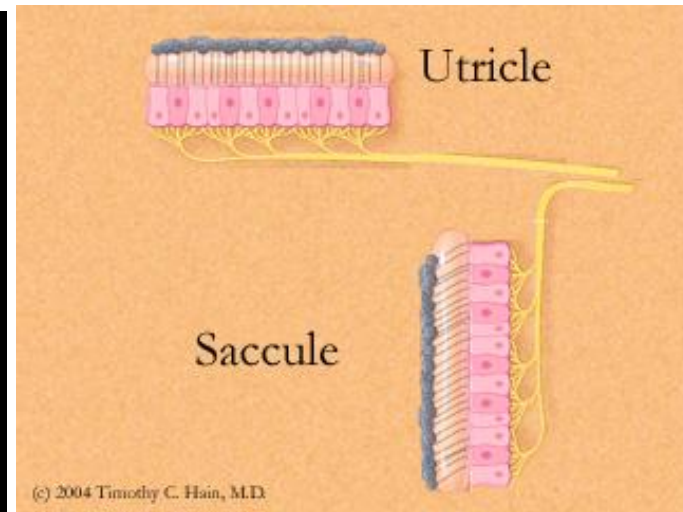
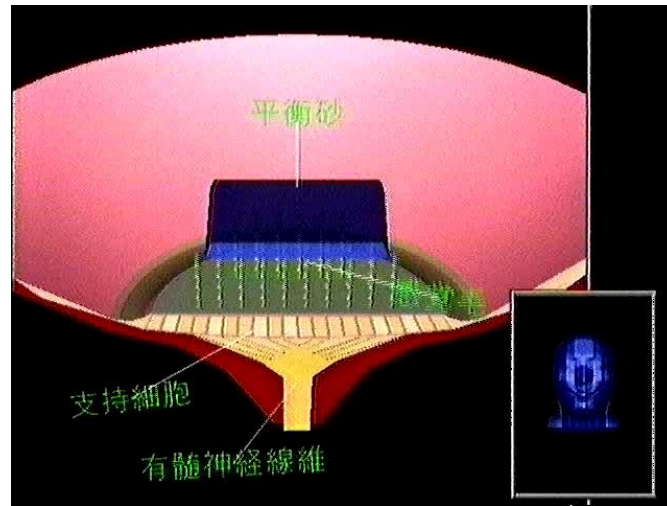
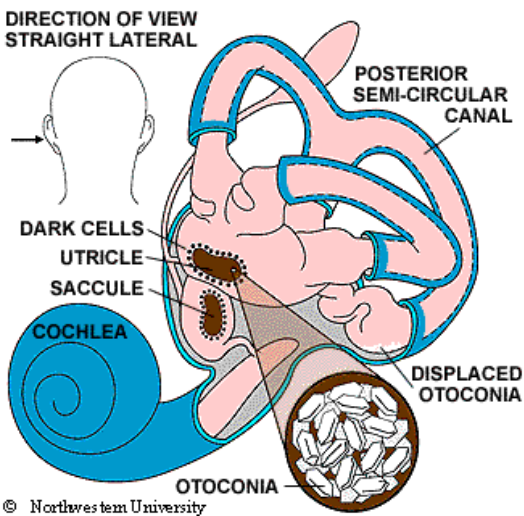


# 半規管／Semicircular Canal



- 3本のリンパ液に満たされた円周状パイプ。  
Three round “pipe”, filled with liquid.
- 角加速度が生じたとき，パイプ内の液体が移動し，有毛細胞が活動  
When **angular acceleration** is applied, liquid moves, and hair cell is activated.

# 耳石器 otolith (球形囊(ノウ)と卵形囊 Saccule & Utricle)



- リンパ液の満たされたドーム / Dome filled with liquid.
- 有毛細胞の上の砂(オモリ)が加速度により動き, 有毛細胞が活動  
Acceleration is applied, weight on hair cells shift, activate hair cell.
- 並進加速度(重力)センサ / Acceleration, or “Gravity” sensor.
- 球形囊: 垂直加速度, 卵形囊: 水平加速度  
Saccule: Vertical Accel. Utricle: Horizontal Accel.

# TODAY'S TOPIC

1. Locomotive perception mechanism
2. How to present “Walking” sensation?
3. How to present “Riding” sensation?
4. Why are they so HUGE?

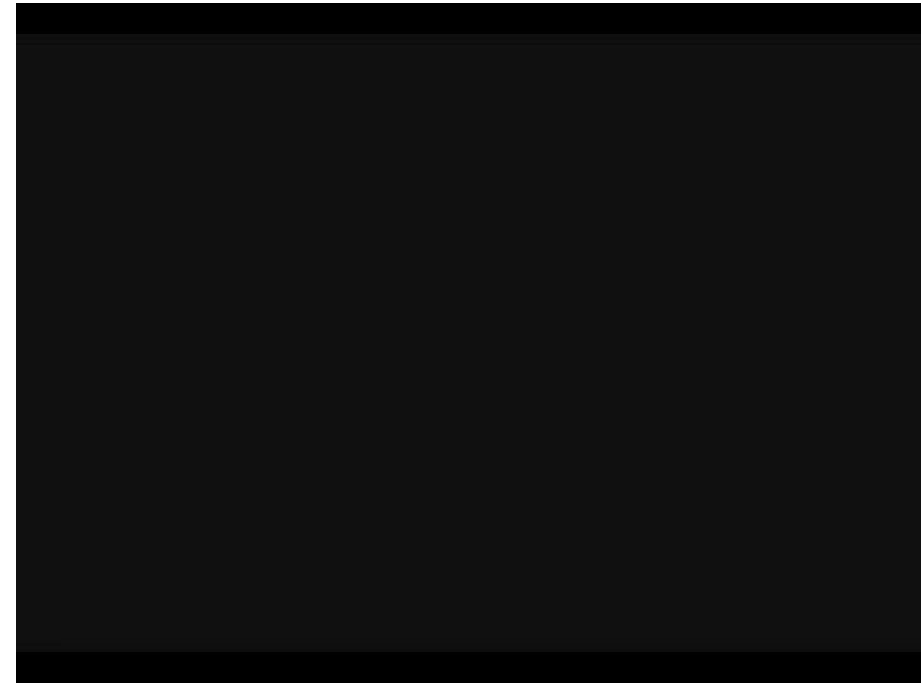
# 歩行感覚の再現

## How to present “Walking” Sensation?

- 足踏み／Just footstep
- トレッドミル／Treadmill Type
- フットパッド／Foot-Pad Type
- その他：床面のテクスチャ提示
- 応用例：スキーシミュレーション



# 足踏み / Just Footstep

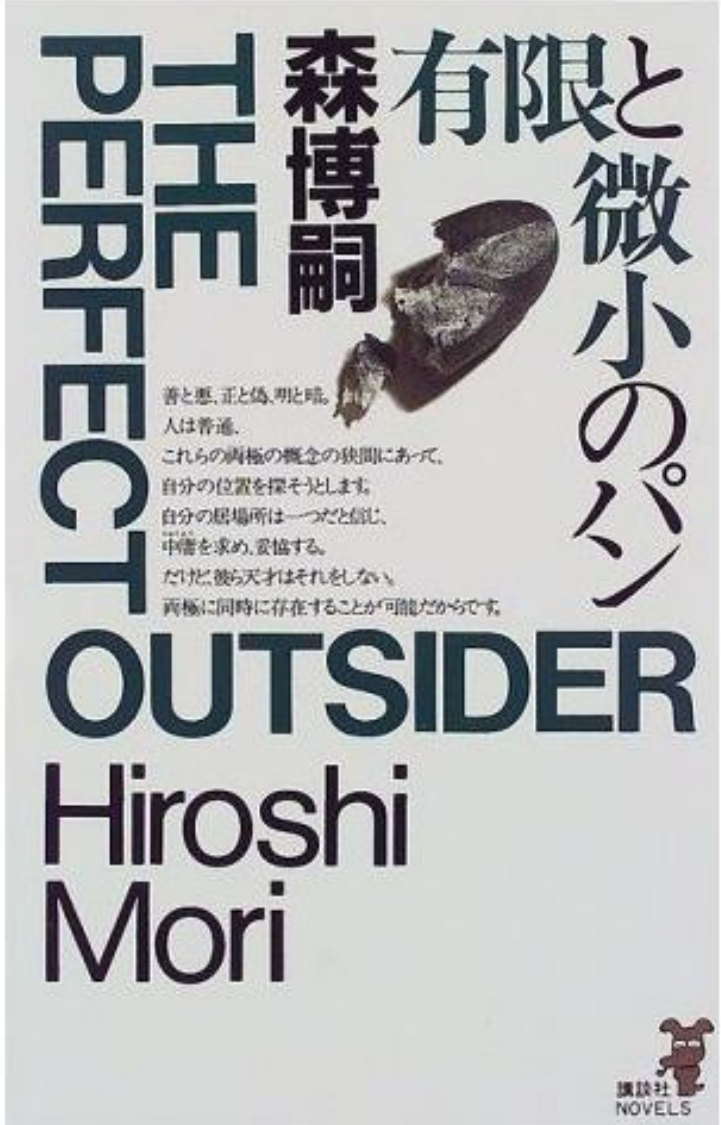


- The user make footstep on the turn table.
- The table slowly rotates, so that the user's direction is returned.

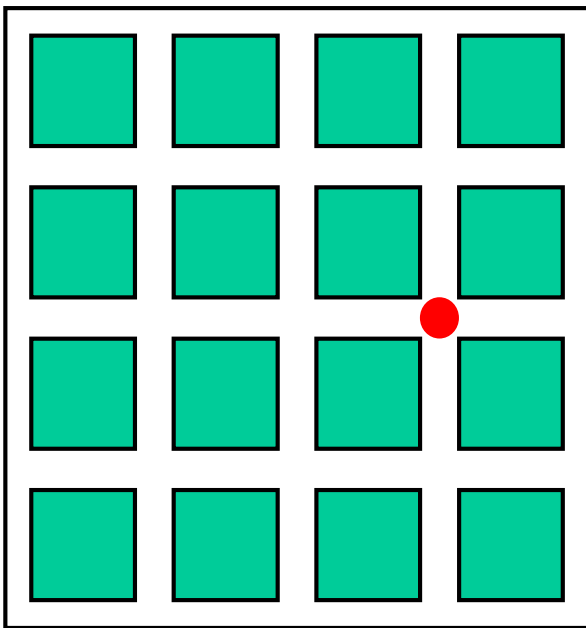
Not so bad. Practical Solution.



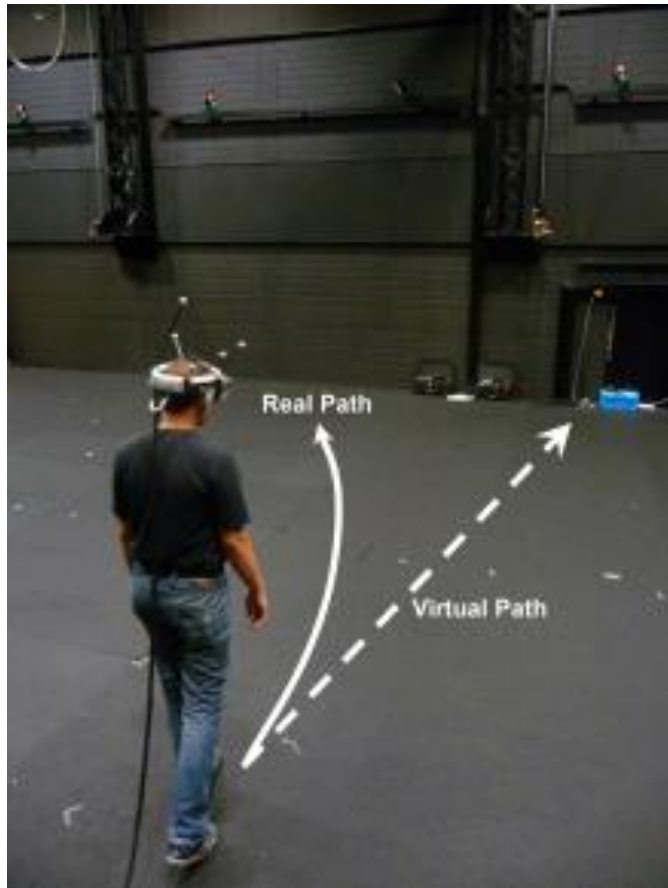
# がんばらない方法(迷路)



- 沢山の十字路で構成された部屋
- HMDを装着して移動
- 十字に立つたびに世界が回転



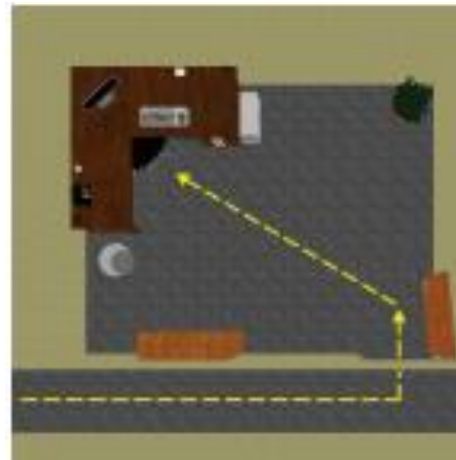
# がんばらない方法(視覚の利用)



(a) Before Scene Change



(b) After Scene Change



- Neth.: Velocity-Dependent Dynamic Curvature Gain for Redirected Walking, IEEE-VR2011
- Suma: Leveraging Change Blindness for Redirection in Virtual Environments, IEEE-VR2011
- HMD画面をこっそり動かして限られた空間を無限歩行空間にする.

# がんばらない方法（視覚の利用）

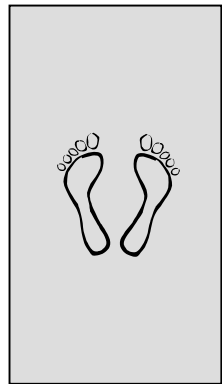


•Subliminal Reorientation and Repositioning in Immersive Virtual Environments using Saccadic Suppression IEEEVR2015

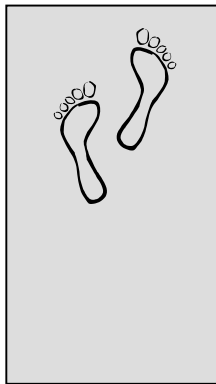
•サッケード中だけ視点を回転させることで気付かれないようにする

# トレッドミル／Treadmill Type

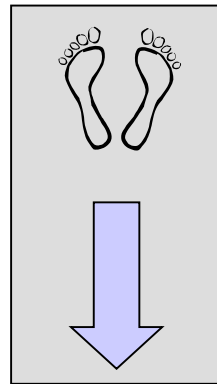
- The belt is controlled so that user's position is kept (almost) constant.



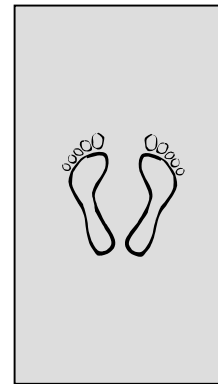
Initial



Walk



Belt Moves

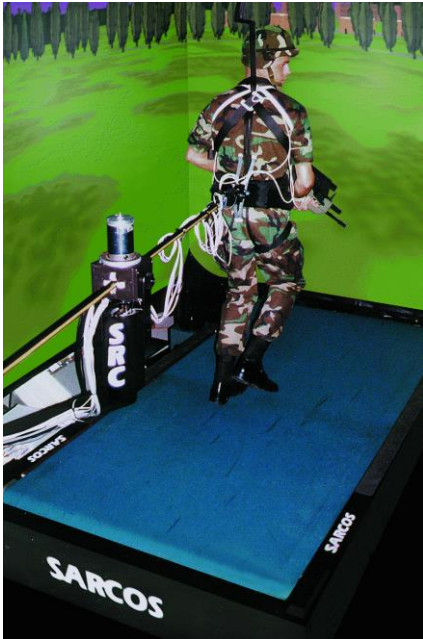


Back to Initial

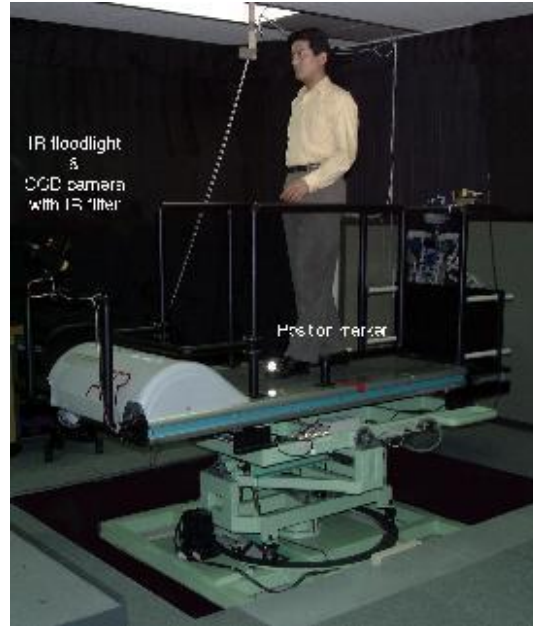




# 1次元トレッドミル／Linear Treadmill Devices



**Sarcos Treadport**



**ATR ATLAS**



**ATR GSS**  
(ground surface simulator)



# 2次元の動きを実現する: Torus Treadmill

トーラス構造のトレッドミル群  
Treadmills with torus structure.

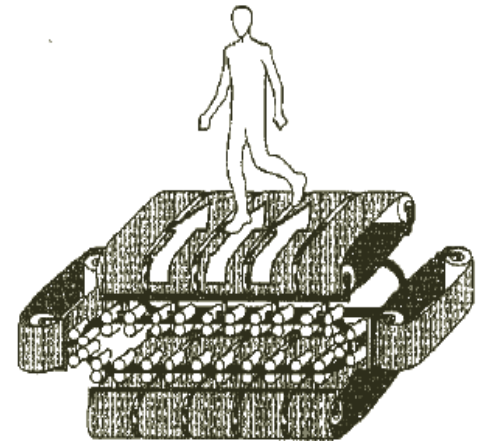


Figure 4. Torus Treadmill (X motion)

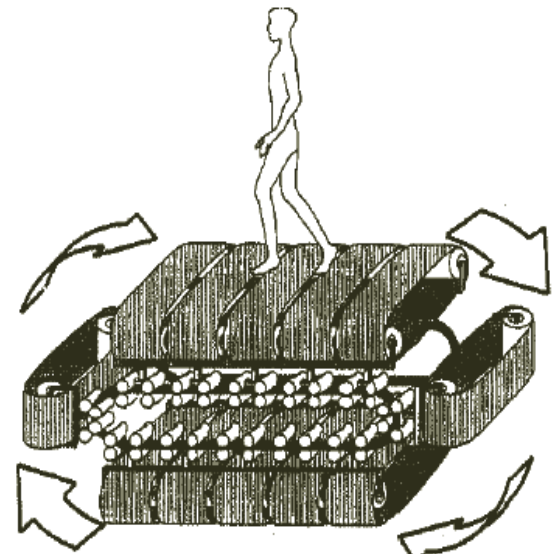


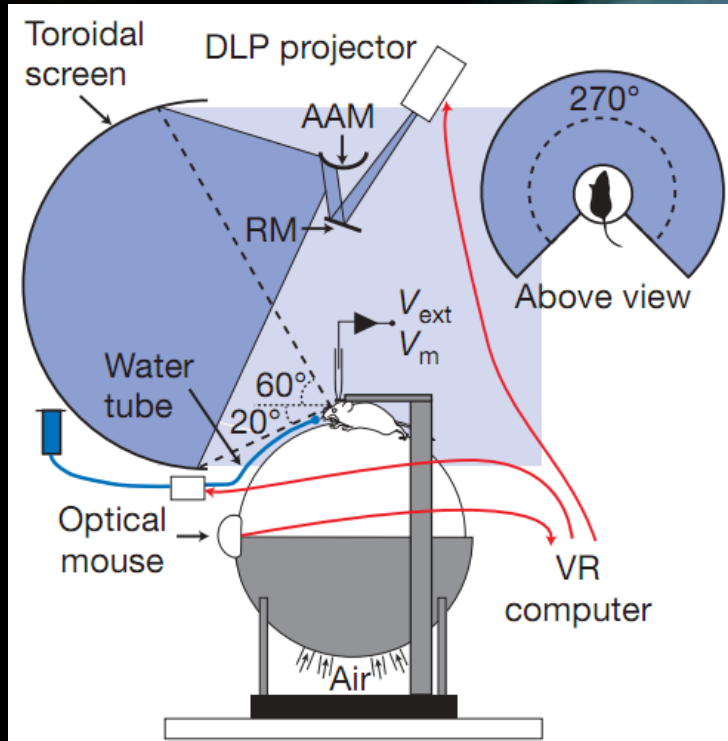
Figure 5. Torus Treadmill (Y motion)

# Cyber Carpet



Virtual Space Devices Inc., <http://www.vsd.bz>

# 参考：マウス迷路課題実験のためのVR環境 VR environment for mouse maze task



<http://www.youtube.com/watch?v=1DJOTEDBA2c>

Intracellular dynamics of hippocampal place cells during virtual navigation  
Harvey, Collman, Dombeck, Tank, Nature 2009.



# 滑れば良い？ Virtuix Omni (2013)

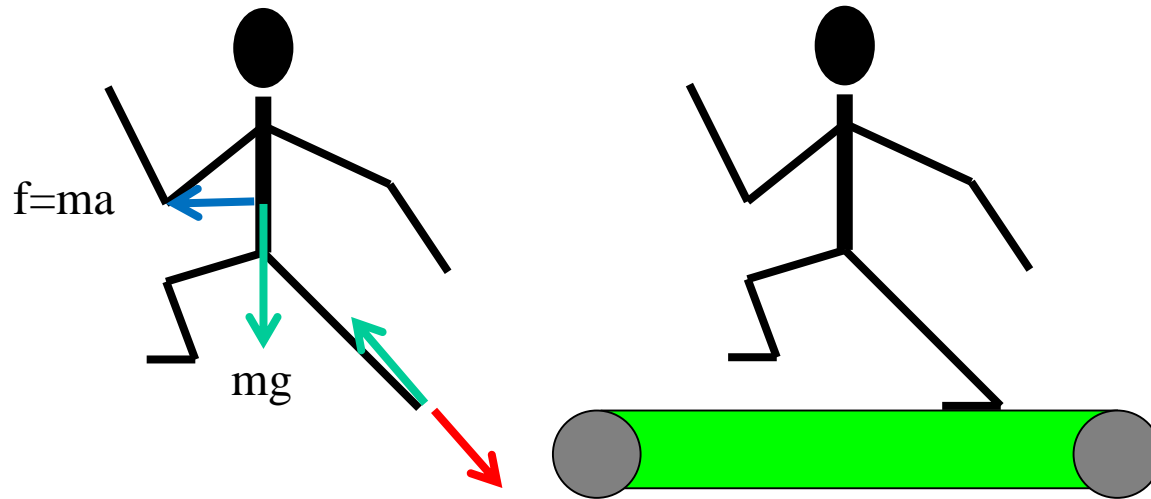


<http://www.youtube.com/watch?v=5QpLUKGDFVM>

- 中央が凹んだ床 + 滑る靴
- 腰を固定
- HMDと併用, ゲーム向けに有望視

# 通常の床と「滑る床」の違い

## Difference between normal floor and treadmill



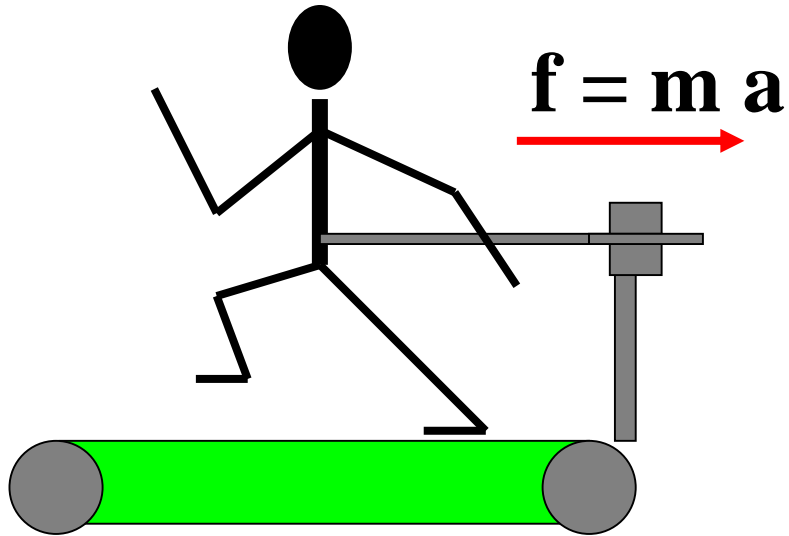
- 通常: キック力の反作用 + 重力  $\Rightarrow$  推進力.  
Driving force = Repulsive Force of Kick + Gravity Force
- トレッドミル: 推進力による仕事になされない.  
Treadmil: No work by driving force.
- 通常の解決: なるべく大きな treddmil を使い, 加速を抑える.  
Ordinary solution: Use large treadmill and keep acceleration small.



氷上と似た環境



# TreadPort (Hollobach et al. Univ. of Utah)

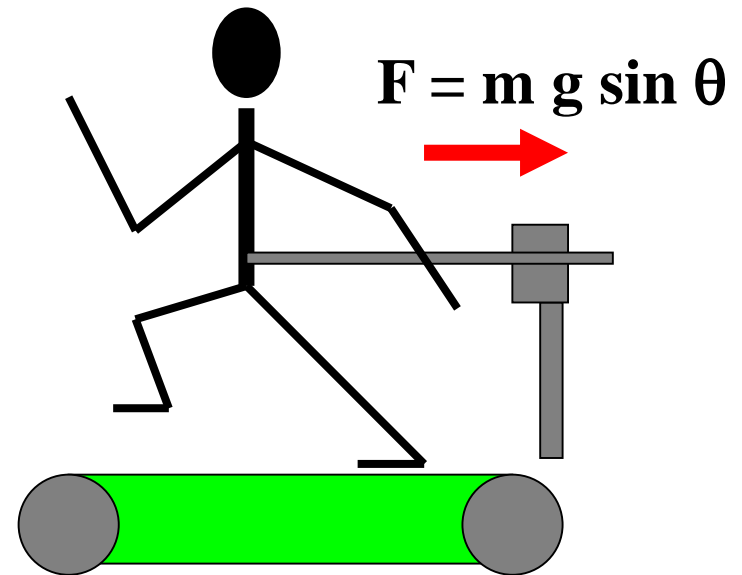


牽引力により適切な仕事をさせ、トレッドミルの違和感を解決

Pulling force generates appropriate work, solving strangeness of treadmill.

Vijayakar, A., and Hollerbach, J.M., "Effect of turning strategy on maneuvering ability using the Treadport locomotion interface," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 11 no. 3, 2002, pp. 247-258.

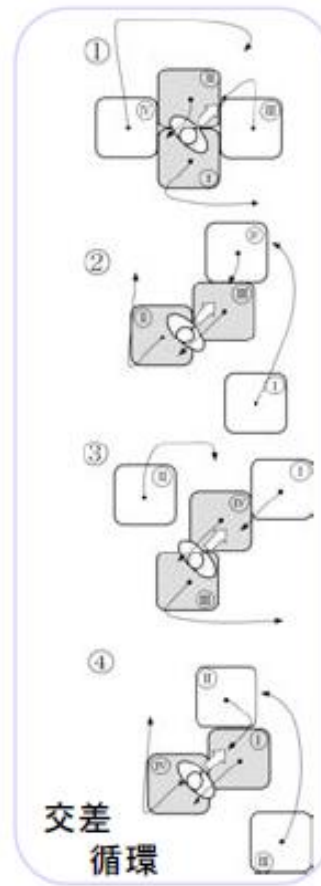
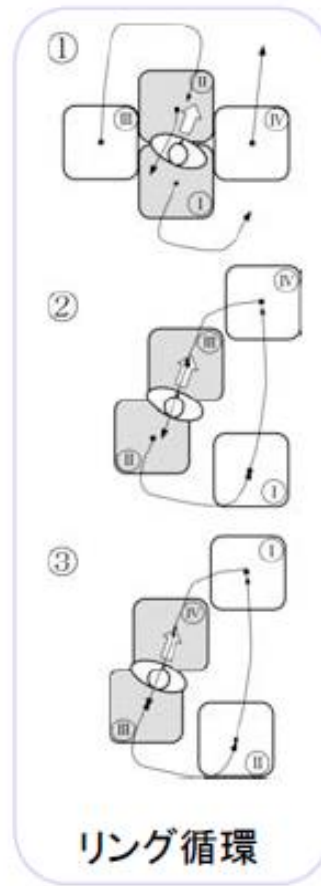
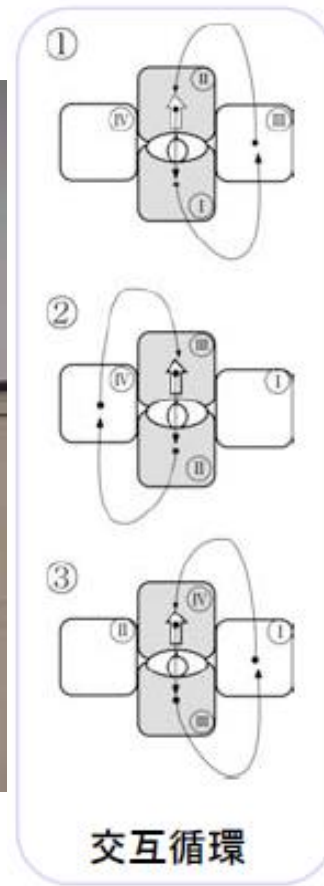
# TreadPort: 傾きの表現 / Expressing Tilt



実際に傾けることで傾斜表現。ただし遅いので、瞬間的な提示はやはり牽引をつかって行う。

Tilt is presented by real tilt, but rather slow. So, pulling mechanism is also used to transient tilt.

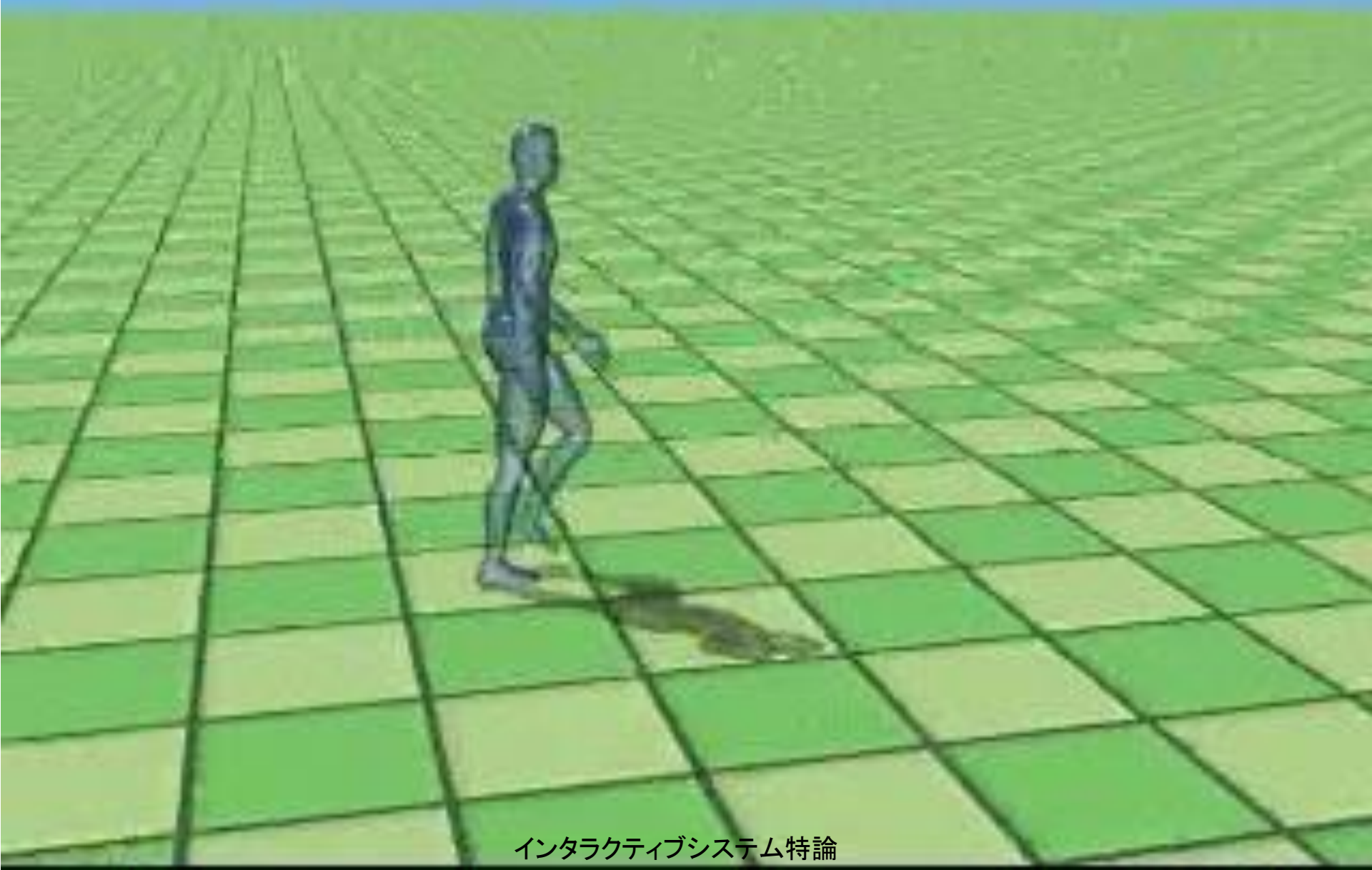
# CirculaFloor (Iwata et al.2004)



群ロボットを用いて無限歩行空間を実現

Locomotion Interface using Group Robot technology

# CirculaFloor





# フットパッド／Foot-Pad type



Iwata: Gait Master

Sarcos: Biport



- 各足が平行リンク機構の上に乗る

Each foot is mounted on parallel link platform.

Iwata et al., "Gait Master: A Versatile Locomotion Interface for Uneven Virtual Terrain" IEEE-VR2001.



# (その他)床面のテクスチャと触覚ディスプレイ Floor “Texture” and Tactile Display



床タイルに振動子(大型スピーカ)と、四隅に圧力センサを敷設.  
足を付いた瞬間の触覚(雪, 氷, 砂, etc)を再現.

Large vibrator and four pressure sensors are under each floor tile.

Tactile sensation at the instance of foot-floor contact is reproduced.

Y. Visell, A. Law, J. Cooperstock, Touch is Everywhere: Floor Surfaces as Ambient Haptic Interfaces.  
IEEE Transactions on Haptics, 2 (3), July-September, 2009.

# 床面のテクスチャと触覚ディスプレイ Floor “Texture” and Tactile Display

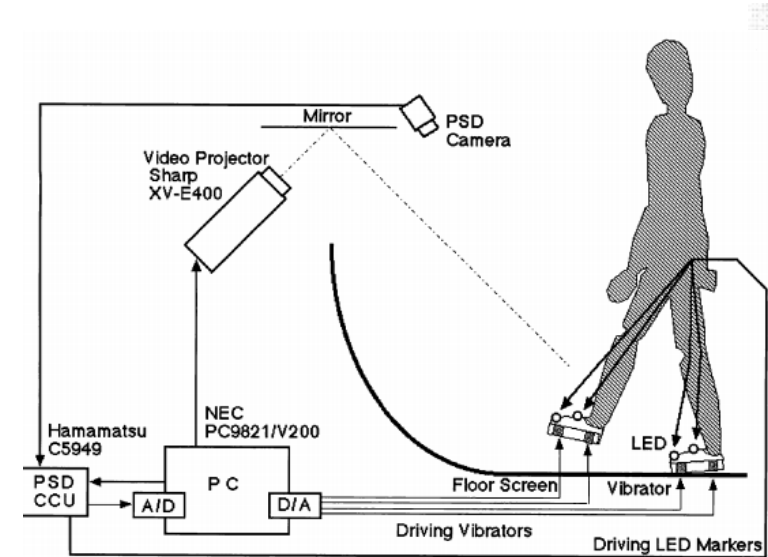


Example 1:  
Frozen Pond.

<http://www.youtube.com/watch?v=AsKBigMD7fg>

# 靴に仕込む(1) 振動

## Put something in the shoes (1) Vibration



靴底の振動子で触覚再現. 靴底で「ゴキブリ」を抑えこむ感触をファン  
トムセンセーションで再現

Tactile presentation by vibrators on sole. Virtual “cochroach” is  
presented by phantom sensation.

白井暁彦、佐藤勝、草原真知子、久米祐一郎: 足インターフェイスによる複合現実感アミューズメントシステム: ファン  
タスティックファントムスリッパ、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、4巻、4号、pp.691-697, 1999.

# 靴に仕込む(2) 傾き

Put something in the shoes (2) Tilt



靴底の傾きを制御し、自然な歩行ナビゲーションを実現

Natural Walking navigation by controlling tilt of shoe sole.

Martin Frey, "CabBoots" 2005 Ars Electronica <http://www.freymartin.de/en/projects/cabboots>



# CabBoots



<http://www.youtube.com/watch?v=zzRw0nA0mho>

# スキーシミュレータ／Ski Simulator



- ある特定の用途に限定すると移動感覚インタフェースの設計が明確となる好例.  
Good example of locomotion interface for particular situation.
- スキーは市場も大きい⇒シミュレータは既に商品化  
Market is large, so simulator is already commercialized.
- 移動感覚インタフェースの大体の方式が試されている。  
Most types of locomotion interface was utilized.

# パッシブ+振動

## Passive input & Vibration



SKIGYM



[http://www.proidee.de/concept-store/nach-kategorien-freizeit/fitness/skigym?H=AFFILIATE%00affiliate&SID=SID\\_gRiy4XfsmDF6FyqcLf6BjPTGhxgM](http://www.proidee.de/concept-store/nach-kategorien-freizeit/fitness/skigym?H=AFFILIATE%00affiliate&SID=SID_gRiy4XfsmDF6FyqcLf6BjPTGhxgM)



# Ski-simulator: スキー用筋トレ装置



- バネの力による復元力／Spring force of restitution
- 簡素な構造. 円弧形状による適正な負荷／Simple semi-circular structure enables skiing form.
- 電気を使わず知恵を使う好例／No electricity



# Endlesslope



- 傾いたトレッドミルによるスキートレーナー
- Ski Trainer with sloped treadmill

# Endlesslope



<http://www.youtube.com/watch?v=QUQgtRD7tk8&NR=1>

# SkyTec Interactive Simulator



- 上下回転以外の傾きを両足それぞれ再現
- 正確な物理シミュレーションによる板の挙動再現
- All tilts except pan is represented to each foot.
- Accurate physical simulation



# SkyTec Ski Simulator



[www.4seasonsskiing.com](http://www.4seasonsskiing.com)

[http://www.youtube.com/watch?v=G9OFhuEH3\\_g](http://www.youtube.com/watch?v=G9OFhuEH3_g)



# TODAY'S TOPIC

1. Locomotive perception mechanism
2. How to present “Walking” sensation?
3. How to present “Riding” sensation?
4. Why are they so HUGE?

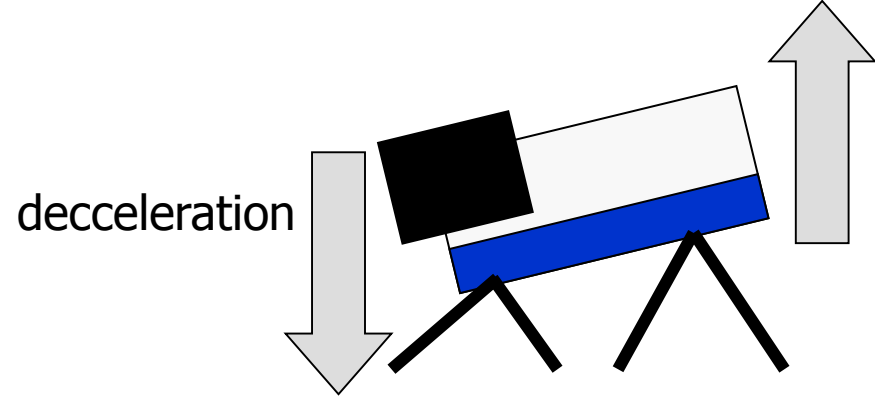
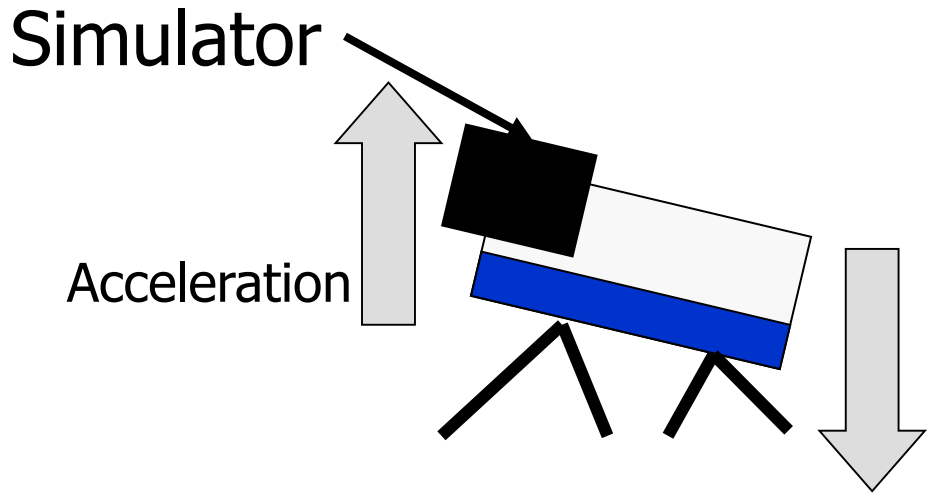
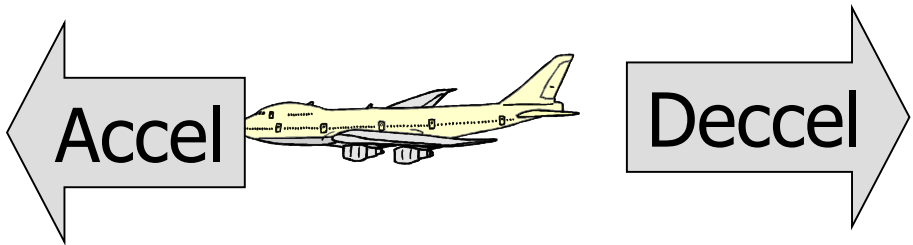
# 乗り物用移動感覚インタフェース

## Locomotion Interface for riding situation



- 足の触覚はもはや不要. Foot sensation is no longer necessary.
- 速度: 視覚的に提示. Velocity is presented by optical flow.
- 加速度をいかに提示するかが鍵  
Presentation of “acceleration” is the key point.

# 重力を利用する / Utilize Gravity



- Incline the simulator, so that part of gravity can be felt as acceleration.

# Sheet only



Force Dynamics製

3本の直動アクチュエータによるパラレルリンク



# ロボットアームの先端に座席を付ける Sheet at the tip of serial link robot arm



<http://www.youtube.com/watch?v=CoA-m5iHG9s&feature=related>

# RoboCoaster (<http://www.robocoaster.com/content/>)

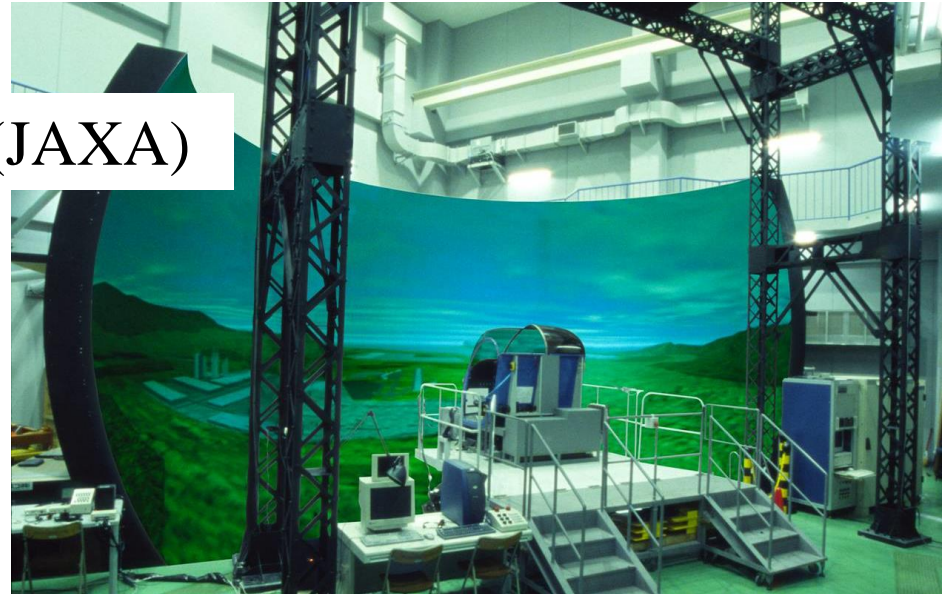


<http://www.youtube.com/watch?v=gY6T6iSLO30>

# 本格的な訓練用シミュレータ Simulator for training



FSCAT(JAXA)



電動6軸(1.5t)

油圧6軸(10t)



操縦系も含めて駆動するため、大型化。  
平行リンクを用いる。

To drive cockpit, huge power is required.  
Parallel link actuators are used.



# (参考) シリアルリンク・パラレルリンク Serial Link & Parallel Link

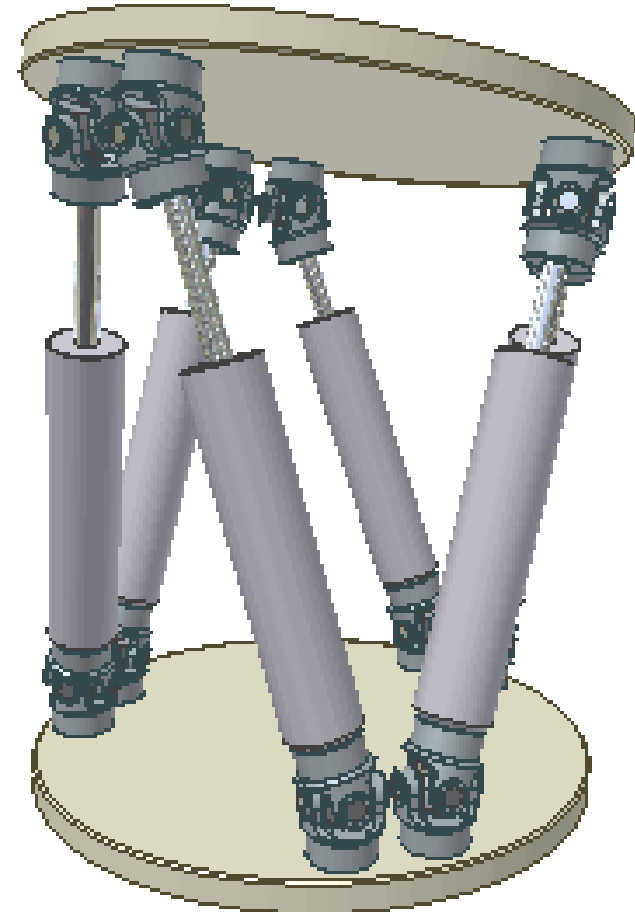


- シリアルリンクは大きな動きを出すのに向く
- パラレルリンクは大きな力(剛性)を出すのに向く
- Serial link is good for large workspace.
- Parallel link is good for large force.



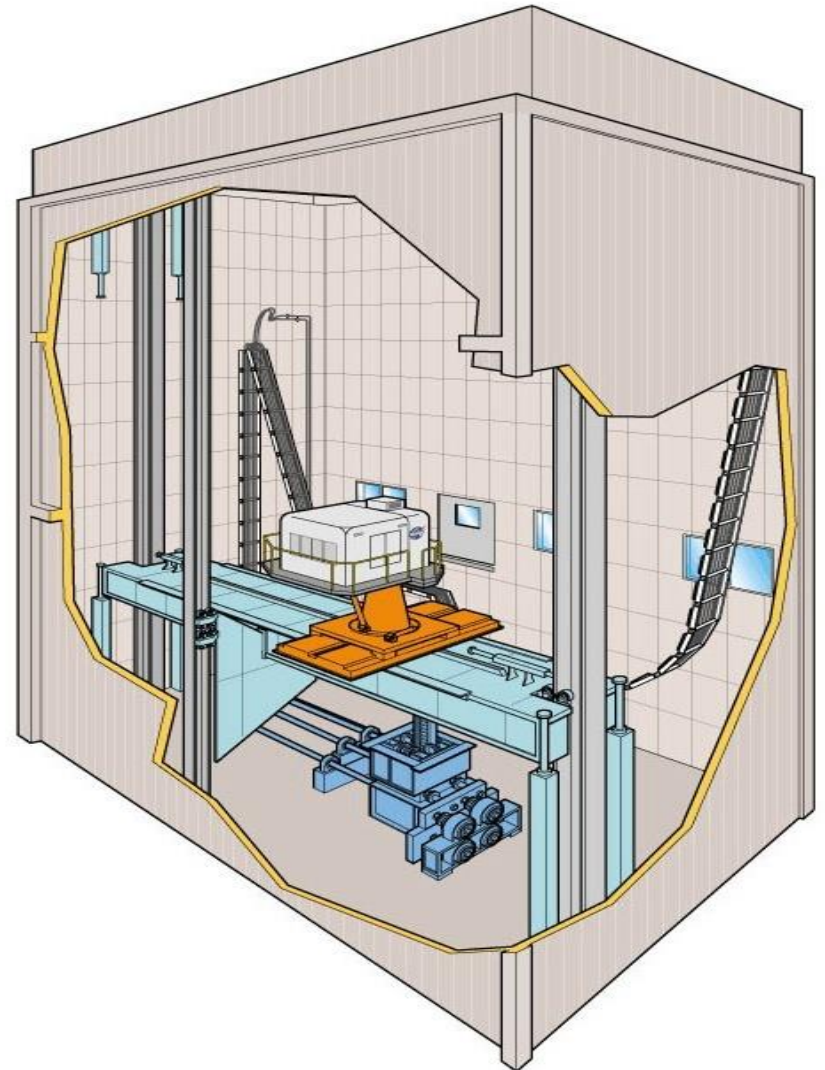
# (参考) Stewart platform

- 6 parallel linear actuators enables 6DOF motion (3 translation & 3 rotation)
- Most frequently used in driving simulation



# VMS (NASA)

- 20x21m
- $1G \pm 0.75G$



インタラクティブシス



# VMS



# 自動車シミュレータ／Car driving simulator



自動車を傾けることで走行時の加減速感を再現  
ドイツの警察に訓練用に導入された物

Real car is on stewart platform, enabling acceleration of the car.



# トヨタ

[http://www2.toyota.co.jp/jp/tech/safety/concept/driving\\_simu.html](http://www2.toyota.co.jp/jp/tech/safety/concept/driving_simu.html)



直径7.1mのドーム内に実写を設置

ドーム内に360度球面スクリーン

ドームは縦35m・横20mの範囲を移動

走行時の速度感、加減速感、乗り心地を忠実に模擬

トヨタ

*Active Safety*

*Research* **Laboratory**

[www.youtube.com/watch?v=Bi\\_GkDqON\\_s](http://www.youtube.com/watch?v=Bi_GkDqON_s)

# バイクシミュレータ / Bike simulator



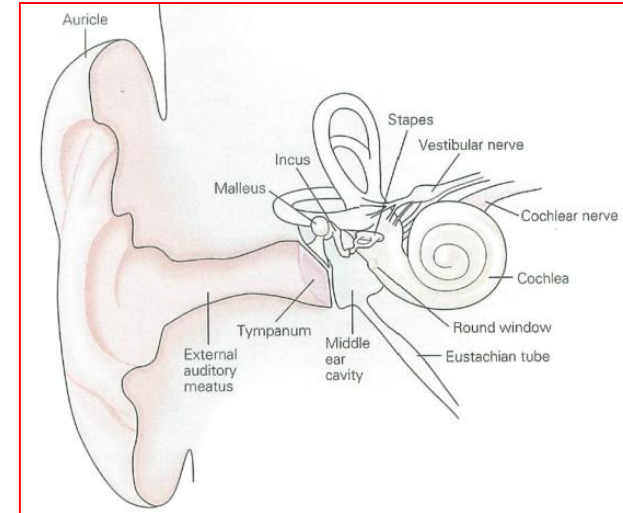
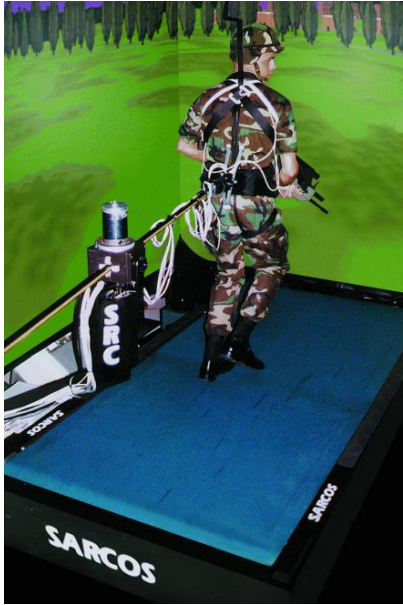
[http://www.youtube.com/watch?v=SRz7W\\_E0HOI](http://www.youtube.com/watch?v=SRz7W_E0HOI)

# TODAY'S TOPIC

1. Locomotive perception mechanism
2. How to present “Walking” sensation?
3. How to present “Riding” sensation?
4. Why are they so HUGE?



# Why are they so huge??



- 前庭器官は視覚・聴覚・触覚と異なり，感覚器が露出していない⇒エッセンスだけを取り出して「だます」ことが難しい。
- Vestibular system is not exposed to environment⇒We can not display “essence”, but rather, we must reproduce environment.

# 前庭を外部から刺激する

## Stimulate Vestibular Stimulation from around



- 温度刺激: 水／温水を流しこむことによる神経活動. 温度眼振検査(カロリックテスト)に応用  
Temperature change by water produce vestibular activity.
- 電気刺激: 直流を流すことによる神経活動  
Electrical Direct Current from Around Ear Produce Vestibular Activity

# 温度眼振検査 Caloric Test



<http://www.youtube.com/watch?v=ZjbW-JniOa8>

<http://www.youtube.com/watch?v=H4iQkFUgG6k&feature=related>

*Nystagmus-Ger@t-online.de*

# 前庭電気刺激

## Galvanic Vestibular Stimulation



<http://www.youtube.com/watch?v=OlXYqfQHNuA>

<http://www.youtube.com/watch?v=guaiDZdsDjI>

<http://www.youtube.com/watch?v=pmoUU4M4xkc&feature=related>

Maeda et al., “Virtual Acceleration with Galvanic Vestibular Stimulation in Virtual Reality Environment”, IEEE VR 2005



# Gravity Jockey

比較的高周波でのGVSは、自己の揺れではなく世界の揺れと知覚される

Relatively high-freq. GVS produces sensation of “world shake”, rather than self motion.

Nagaya et al., Gravity jockey: a novel music experience with galvanic vestibular stimulation, ACE2006.

# Summary

移動感覚インタフェースはVR世界構築のための最後かつ最大の課題である。

Locomotion interface is the last and the most difficult.

特に歩行感覚に関しては、問題の半分はハプティック。

For walking, half part is haptics.

残る大問題は、前庭感覚を外部から刺激しにくいこと。このためエッセンスを提示するというよりは、実際に提示する巨大システムとなりがち。

Problem occurs since vestibular system cannot easily stimulated from around. System becomes so huge.

ほとんどの実応用はWii Balance Boardで良いのかもしれない。しかしそれではMATRIXで夢見た世界はつくることが出来ない。

Most practical application may not require accurate vestibular stimulation. Wii Balance Board maybe enough. But we cannot realize the MATRIX world that we dreamed.



# 小テスト／Mini Test 次回開始まで

以下の全てに100字以内程度で解答せよ／Answer all questions within 50 words

1. ベクションについて説明せよ Explain vection.
2. 半規管の役割について説明せよ Explain role of semicircular canals.
3. 耳石器の役割について説明せよ Explain role of otolith.
4. 通常の床とトレッドミルの違いについて説明せよ Explain difference between normal floor and treadmill.
5. シリアルリンクの利点について説明せよ Explain merit of serial link manipulator
6. パラレルリンクの利点について説明せよ Explain merit of parallel link manipulator
7. 温度眼振検査について説明せよ Explain caloric test.
8. 前庭電気刺激について説明せよ Explain galvanic vestibular stimulation

# 【重要】論文紹介について

本日16:20に論文候補リストを講義のページにアップ  
します。

(トップページ⇒メンバー⇒梶本⇒インタラクティブシ  
ステム特論

この論文から第三希望までを指定されたフォームに  
入力してください。

論文はすべてACM Digital Libraryで見れますし(学  
内フリー), 多くの論文は自主的に公開されています。

早い者勝ちで決めていきますが第三希望まで書か  
れていないものは受け付けません。来週月曜まで  
にお願いします。火曜までに発表日も含め通知しま  
す。