重心移動を利用した新移動機構 "Giga-Bowl",傾けるけれども"回転しない"

講演番号：1A1-D26

セッション名：特殊移動ロボット

コアタイム：11:00～12:00

発表者：楠本　拓也(鈴鹿高専)
Takuya KUMOTO (Suzuka N.C.T.)

半球形状移動ロボットGiga-Bowlの開発

Development of Hemisphere-shaped Mobile Robot Giga-Bowl

○楠本　拓也(鈴鹿高専)，白井　達也　鈴鹿高専)，冨岡 巧(鈴鹿高専)
Takuya KUSUMOTO (Suzuka N. C. T.), Tatsuya SHIRAI (Suzuka N. C. T.),Takumi TOMIOKA (Suzuka N.C.T.)

Abstract: Not power transmission mechanism such as tires, I suggest the movement system which used posture displacement by center of gravity movement of a movement vehicle. The movement system which used center of gravity movement is already suggested. The most have an external form of globe shape or column shape, and it is mechanism to move while I move an internal center of gravity position, and turning endlessly. This movement mechanism is not suitable for the staff and the transportation of freight so that the main body turns. I suggest the movement system which used a hemisphere for a body structure in this study and name Giga-Bowl.

[A] 研究の目的

既存の超大型輸送機構とは異なる移動機構を開発する

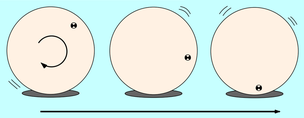
地球上を自由に移動可能
重量物の輸送には適さない

少ないエネルギーで大量輸送可能
海上しか移動できない

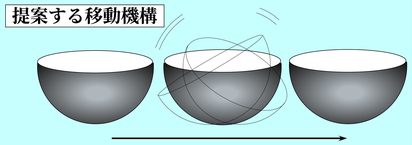
陸上ならば自由に移動可能
大きさに限界がある

陸上を移動するにはタイヤやクローラなどの機構が必要
陸上用超大型輸送機構を実現するは、新しい移動機構が必要である

既存の重心移動式の移動機構



提案する移動機構

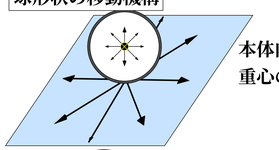


限られた傾斜角度 → 回転しない

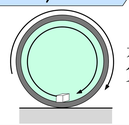
[B] Giga-Bowlの動作原理

なぜ半球形状なのか？

球形状の移動機構

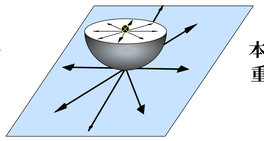


本体内部に重心を移動させる機構を持つ
重心の移動は三次元空間内

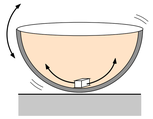


本体の回転によって内部空間も大きく回転する
貨物を運ぶには内部空間を
本体から独立させる必要がある

半球形状の移動機構



本体の外に重心移動機構を持つ
重心の移動は二次元平面内

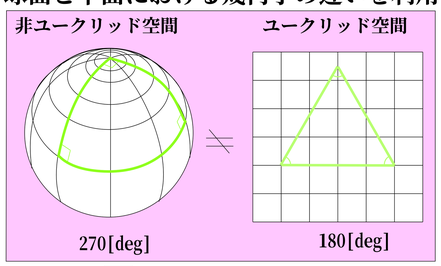


本体内部を全て積載空間として利用できる
本体の回転が有限でなので
内部空間の回転も小さい

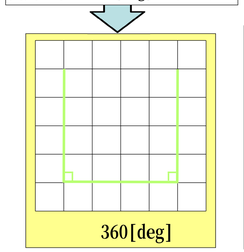
どのような原理で移動するのか？

球面と平面における幾何学の違いを利用する

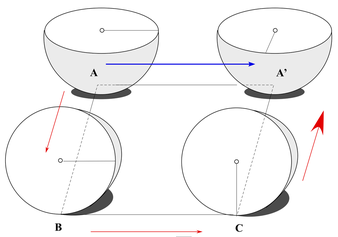
非ユークリッド空間　ユークリッド空間



球面に描いた三角形は
内角の和が180[deg]にならない



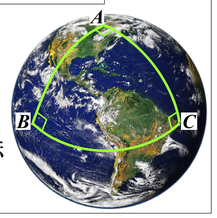
地面との接触点が正三角形を描くように球体を転がすと



A点からA'点まで移動し
姿勢も90[deg]回転している

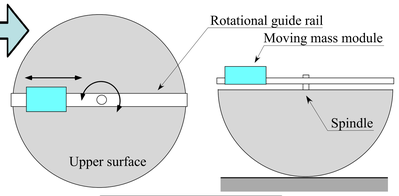
これを繰り返し
目的の地点まで移動する[1]

地球の測地線に沿って移動すると？



①A点から1万キロ南下
②赤道上のB点に到着
③進路を左に90度回転
④赤道上を1万キロ直進
⑤C点に到着
⑦進路を左に９０度回転
⑧１万キロ北上
⑨A点に戻る

この動作を構造物の重心移動によって行う

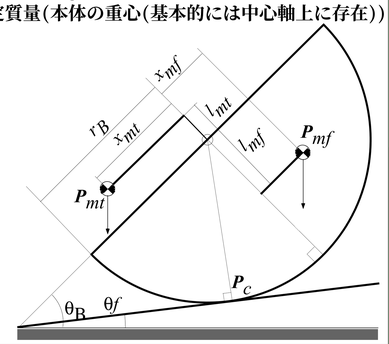


Giga-Bowlのモデル図

[C] 挙動の解析

Giga-Bowlの二次元モデル

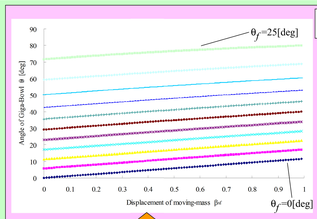
P_{mt}:移動質量(Giga-Bowlの姿勢を傾けるのに利用)
P_{mf}:固定質量(本体の重心(基本的には中心軸上に存在))



$$\alpha_m = \frac{m_t}{m_f}$$
$$x_{mt} = \beta_{xt} r_B$$
$$x_{mf} = \beta_{xf} r_B$$
$$l_{mt} = \beta_{lt} r_B$$
$$l_{mf} = \beta_{lf} r_B$$

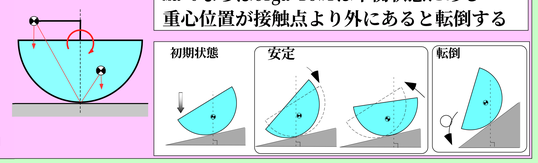
$$m_t g \mathbf{R}_B \mathbf{e}_g \times \left({}^B\mathbf{P}_{mt} - {}^B\mathbf{P}_c\right) + m_f g \mathbf{R}_B \mathbf{e}_g \times \left({}^B\mathbf{P}_{mf} - {}^B\mathbf{P}_c\right) = 0$$

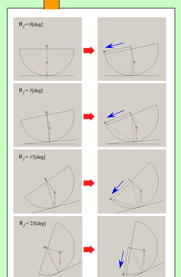
$$\theta_B = \sin^{-1}\left\{\frac{\alpha_m + 1}{\sqrt{\left(\alpha_m\beta_{lt} - \beta_{lf}\right)^2 + \left(\alpha_m\beta_{xt} - \beta_{xf}\right)^2}}\sin\theta_f\right\} - \tan^{-1}\frac{\alpha_m\beta_{xt} - \beta_{xf}}{\alpha_m\beta_{lt} - \beta_{lf}} + \pi$$



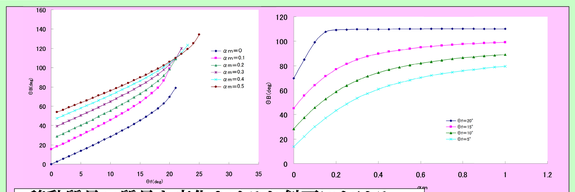
静止状態のGiga-Bowlのバランスを強制的に崩すとどうなるか？

Ma=0ならばGiga-Bowlは平衡状態にある
重心位置が接触点より外にあると転倒する



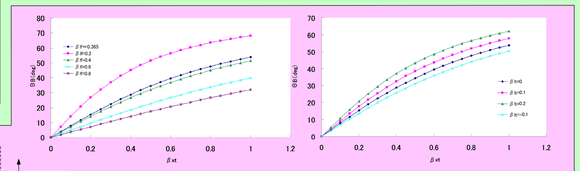


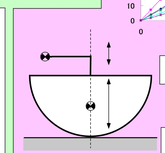
β_{xt} = 0～1　β_{lt} = 0.1
β_{xf} = 0　β_{lf} = 0.5



移動質量の質量を変化させると斜面における
Ggia-Bowlの傾きにどのような影響を与えるか？

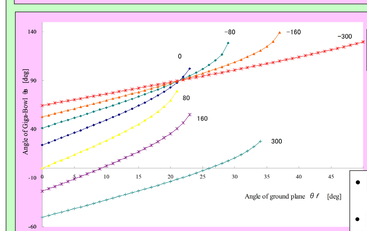
固定質量に対する移動質量の質量比を大きくすると傾き易くなる



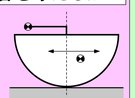


重心の高さとGiga-Bowlの傾きにどのような関係があるか？

Giga-Bowlの重心が低くなるほど傾きは小さくなる



固定質量が中心軸から偏心すると
傾きにどのような影響を与えるか？



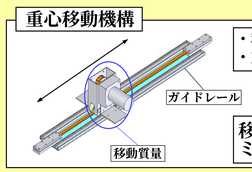
- 固定質量と移動質量が
  同方向にあると転倒しやすい
- 固定質量が中心軸に近い程傾きにくい

[D] ミニチュアGiga-Bowl

ミニチュアGiga-Bowlとは？

- Giga-Bowlの実際の挙動を解析するために、製作した小型模型
- 本体にφ800mmのアクリル半球を使用し、バッテリ等を内蔵する
- 本体上部平面上に搭載した重心移動機構により本体の重心位置を変化させる
- 二つのギアードモータで重心移動機構の回転と移動質量の移動を行う

重心移動機構



- 移動質量はガイドレール上を直線的に移動する
- 重心移動機構は本体上部平面上を回転する

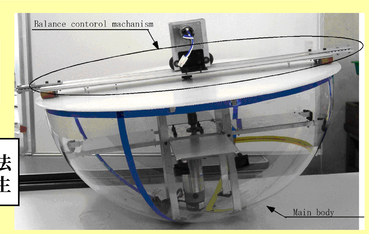
移動質量は本体平面上を移動し
ミニチュアGiga-Bowlの重心位置を変化させる

モデルでは

(1) 動作は準静的
(2) 接触点まわりの回転は生じないと仮定

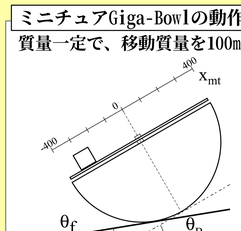
実際には

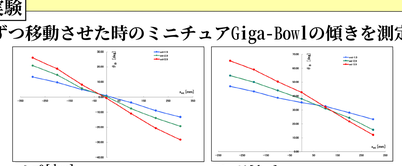
(1) ダイナミクスを利用した移動方法
(2) 接触点まわりの回転，滑りの発生



ミニチュアGiga-Bowlの動作実験

質量一定で、移動質量を100mmずつ移動させた時のミニチュアGiga-Bowlの傾きを測定





移動質量が重くなるほど傾きも大きくなる

解析プログラムの結果と傾向が一致

[E] まとめと今後の課題

まとめ

- 新しい移動機構であるGiga-Bowlを提案した
- 二次元モデルの定式化(静的な条件下)を行った
- 条件式の正当性を検証するために小型模型を製作した

今後の課題

- 釣り合い条件式を三次元に拡張し解析を行う
- ミニチュアGiga-Bowlの制御プログラムを作成する
- 解析結果と実験結果を比較する

動的な要素を積極的に利用する移動アルゴリズムの開発

[1] 原田研介，川嶋大雅，金子　真："重力平衡する対象物の転がりによる操り"，日本ロボット学会誌，Vol.20，No.2，pp.164-172，2002.