

卒業論文

健康増進機能を備えた電動車椅子の座面姿勢制御を
目的とするキネマティクスと逆キネマティクス

高知工科大学 知能機械システム工学科

1010156

隅田 由紀

2001年2月24日

目次

第 1 章	序章	1
1. 1	現在の実状	1
1. 1. 1	電動車椅子とは	1
1. 1. 2	人類の平均寿命の延長	2
1. 2	健康とは	6
1. 3	健康増進とは	8
1. 4	本論文の構成	9
第 2 章	本章	11
2. 1	はじめに	11
2. 2	キネマティクスと逆キネマティクス	12
2. 3	座面の式 $ax + by + cz = d$	14
2. 4	C 言語による座面の式の計算	22
第 3 章	シミュレーションによる検証	26
3. 1	はじめに	26
3. 2	Working Model について	26
3. 3	シミュレーション結果による考察	27

第 4 章	結章	3 5
4 . 1	本研究の結果	3 5
4 . 2	これからの課題	3 6
参考資料		3 7
C 言語のプログラム		4 1
参考文献		4 6
謝辞		4 8

第1章 序章

1. 1 現在の実状

1. 1. 1 電動車椅子について

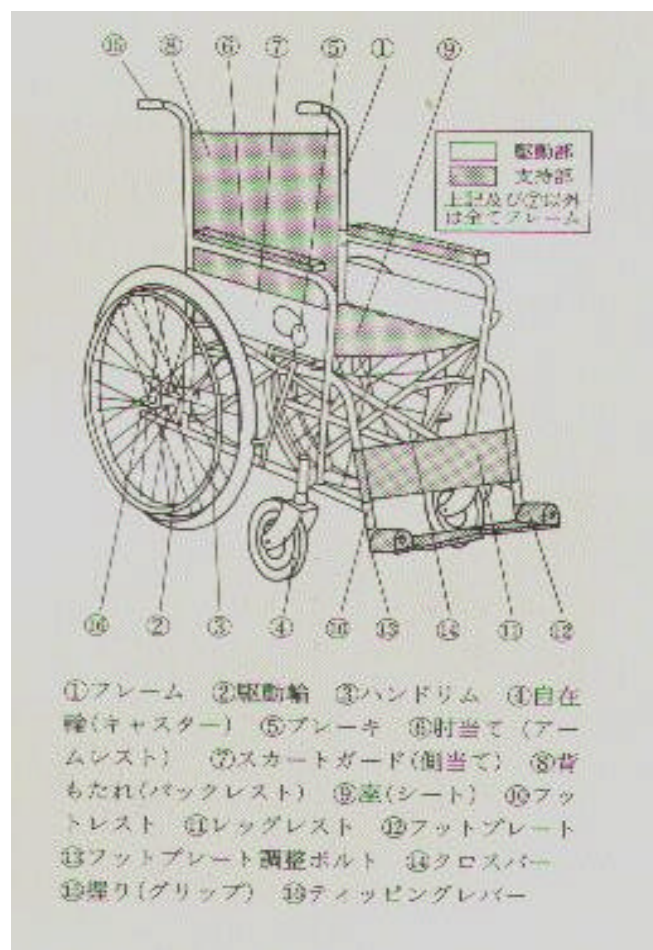


Fig.1.1 車椅子

車椅子は足腰を使わなくても移動ができる器具である。

(Fig.1.1) 車椅子は、ベッドから車椅子に、ベッドからポータブルトイレに、ベッドから食卓に、車椅子に自動車などと行動範囲が移動動作の獲得によって次第に拡大する有効な移動手段である[1]。しかし、電動車椅子には問題点がある。

1つ目は、施設であれば車椅子に対応した環境では問題はないが、一般家庭は狭さや段差、和式の生活構造など車椅子に適した環境とは言いにくいところである。

2つ目は常時使うと、足腰を使わないで移動できるため筋力が衰えるようになる。そうすると、もしリハビリをすれば歩けるような高齢者でも、ベッドから車椅子への移乗やベッドから立ち上がることなどができなくなり寝たきりになる確率が高くなる。そうすると廃用性萎縮や、関節が固くなり、骨がもろくなるなどのさまざまな合併症が起こり問題となる[2]。

1. 1. 2 人類の平均寿命の延長

近年、一般の生活条件の向上、治療医学や予防医学の進歩で人類の平均寿命が延びてきた。

ここで平均寿命とはなにか、なぜ日本人の寿命がのびたのか、我々の寿命は将来何歳までのびることが期待できるのか、と言

うことを少し考えてみる。

平均寿命とは現在ゼロ歳の人の平均寿命である。つまり、平均寿命が75歳とするとゼロ歳の人は平均75歳まで生きることが期待される。一方、平均寿命が75歳であるからといって、現在20歳の人があと55年生きることにはならない。20歳の人があと何年生きることが期待されるかが20歳の人の平均寿命である。ある平均寿命とその年齢の和は平均寿命より長くなるのがふつうである。即ち、現在20歳の人は75歳以上まで生きることが期待される。

各年代の平均余命をあらわしたものを生命表という。わが国では1891年から1985年にわたって生命表がつくられている。これをみると、1891年の男性の平均寿命は42.2歳であるが20歳の男性の平均余命は39.8歳（59.8歳で死亡予定）である。1985年の男性の平均寿命は74.8歳で20歳の男性の平均余命は55.7年（75.7歳で死亡予定）である。この100年間に男性の平均寿命は32年ものびましたが20歳男性の寿命は16年しかのびていない。100年前（医療は全国的に普及しておらず、医療そのものも未発達であった時代）であっても20歳まで生きて成人に達すると平均60歳くらいまで生きることが期待できる。一方ゼロ歳の赤ちゃんは43歳くらいまでしか生きることが期待できな

い。言い換えると100年前は新生児と乳幼児（5歳ころまで）の死亡率が今日に比べて非常に高く，成人に達するのが困難であったことがわかる。また終始一貫して新生児と乳幼児の死亡率が高かったことが1891年から1936年までの45年間に平均寿命が伸び悩んだ最大の理由である。

ここまでの議論から，戦後急速に平均寿命がのびた最大の理由がわかる。それは主として新生児と乳幼児の死亡率の激減によるものである。新生児と乳幼児の死亡率現象の要因は数多く考えられる。経済的，社会的に豊かになって子供たちを取り巻く食・住環境がよくなったこと，病院出産が増えて新生児期の死亡が減少したこと，健康保険の普及で医療をすべての子供が受けられるようになったこと，新生児や乳幼児の疾患に対応する医療技術が進歩したことなどがもっとも重要な要因である。もちろん成人に達した人の死亡率が，結核症治療の発達やさまざまな理由で減少したことが平均寿命ののびに影響しているのは当然である。とくに新生児，乳幼児死亡率が急速にさがった1970年代以後は，成人各年代の死亡率がさがったことが平均寿命ののびに大きく関与している。

平均寿命の長短を左右した最大の理由が新生児と乳幼児の死亡率であって，これが成人に達した人の寿命とあまりにかけ離れているとすれば，成人に達した人が平均寿命の長短だけで

その寿命の推移を云々することはあまり意味がないことになる。寿命ののびを生命表で得られるその年齢層の平均余命ののびで論じることが必要となる。

そこでここからはいちょう20歳の平均余命を取り上げて、我々の寿命の推移を考えてみる。

先ほど1891年に20歳の男性はさらに39.8年生きることが期待されると述べたが、この年代の平均寿命は、その後1936年までほとんどのびていません。この間に20歳の女性の平均余命は40.8年（1891年）から43.2年（1936年）とわずかの伸びを示している。戦前の45年間に成人男女とも平均余命がわずかししか延びていないということは、この間に達成された経済の発展や教育、医療の制度上の設備にもかかわらず、大多数の国民の生活がいかに貧しく、医療や福祉に恵まれず、戦争や災害の被害を被ったかを示している。

戦後20歳男性の平均余命は40.9年（1947年）から46.4年（1952年）と急速なのびを示したあと、5年後に1度の調査ごとに1～2年ののびを示して、1985年には55.7年となりました。女性も44.9年（1947年）から49.6年（1952年）と急速にのび、以後多少の上下はあるものの徐々にのびて1985年で61.2年となる。このように20歳男女の平均余命が戦後着実にのびたことは、経済、

農地改革で富の分配にある程度成功し、経済の発展で豊かになったこと、医療技術が進み、医療や福祉の恩恵が国民の大多数にいちように及んだこと、戦争がなく大きな災害が少なく、その制御対策が進んだことなどを示している[3].

今まで述べたように、電動車椅子に乗り続けることによる健康への問題や人類の平均寿命がのびたことにより、健康増進、リハビリテーション、高齢化社会、介護といった社会情勢の課題が深刻になった。それにより誰もが健康で長生きをしたいと強く願うようになり、電動車椅子を生活の中に取り入れようとする人々が増えてきた。

まず、電動車椅子に乗る人々が健康に長生きするための技術的解決方法を考える前に、健康、健康増進とは何かについて考えてみた。

1. 2 健康とは

健康に対する感じ方には、積極的に健康だと感じとれる身体のリズムがある。また、積極的な健康感は、生体と精神とを分けて感じとっているということではなく、活動して生きている身体（活動している身体）が外部のいろいろな刺激情報に対応して、リズムカルにバランスよく働いている状態の全体的な直

感的な幸福感に非常に近いことが分かる。不健康感は、こうした実感が得られずに不調や違和感のある状態である。病気は、不調や違和感が深刻化し（身体的，精神的，社会的に）全体的な苦悩を持っている状態である。

健康とは、今日の医学水準に照らして生理的に何ら問題のない状態であることを前提として、積極的に健康を自覚し、図2のように人間であるために基本となる活動が順調な状態といえることができる[4]。

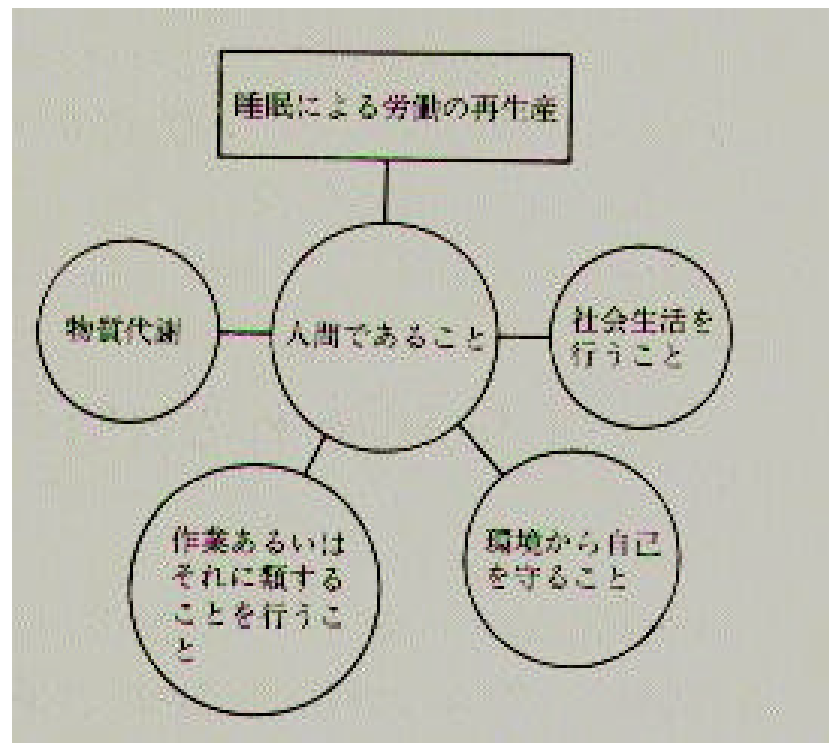


Fig.1.2 健康とは

老人や障害者にとっての健康の概念は、Quality of life とも共通と考えられる。つまり老化や疫病による健康障害を持ちな

がらも，日々をその人なりの機能や役割を生かし，生き生きと過ごし，満足感を得られ，今日も一日生きていてよかったと実感できることが，健康な生活といえよう[5][6].

1. 3 健康増進とは

1. 2でも述べたように世界保健機関 WHO の「保健憲章」にも書かれている「健康とは身体的に精神的に社会的に完全な安寧を保っている状態をいうので単に病気や虚弱でないことを意味するものではない」[7]というように，健康増進には2つの意味があると考えた．

1つは，健康を保つことである．それには，毎日の食事に気を配り，適度な運動を心がけるなどがいえる[8]．もう1つは，健康を増すことである．健康が増すということは，筋力増加や病気にかかりにくい，ストレスがない，食欲がある，回復能力の増加などが挙げられる．

本研究では上記の2つの意味の健康増進を目的とする電動車椅子をキネマティクスと逆キネマティクスを使い開発する事により，電動車椅子に乗る人々が健康に楽しみや生きがいを持って人生を送れるようにすることが目的である．

1. 4 本論文の構成

本節では、本論文の構成と研究内容について具体的に説明する。

第2章では、車椅子に乗っている人々が生きがいを持って生活ができる技術的解決方法を考えた。それには車椅子の座席制御を適応し、座位姿勢をとることにより足腰の筋肉の増加を図り健康増進する方法を提案した。

車椅子の座席の下にある3つのモータに取り付けられた円盤が回転することにより座面を傾かせる。この傾きを調べるためにキネマティクス、逆キネマティクス、平面の方程式を理解し、これらから車椅子の座面の式 $ax + by + cz = d$ を求め、制御の定式化を行った。

次に、キネマティクスより3つの円盤の回転角度 q_1, q_2, q_3 に適当な値を与え、この式を a, b, c, d などをC言語により求めたことをまとめた。

第3章では、まずシミュレーションソフトのワーキングモデルがどのようなものなのかを説明し、 q_1, q_2, q_3 を与え座面の式から求めた a, b, c, d の値の時車椅子の座面がどのような傾きであるのか解析し視覚的にわかるように表示し、そのシミュレーションを添付した。

第4章は、結章とし本研究によって得られた結果や本研究の意義である「健康増進」が本当に達成できるのかとこれからの展開についてまとめた。

第2章 本章

2. 1 はじめに

電動車椅子に乗っている人々を健康増進するためには，足腰が衰えないようにすることが重要と考えられる．足腰を鍛えることにより寝たきりを防ぎ，世界を広げることができる．

電動車椅子に乗っている人に振動を与えると座位姿勢でバランスを取ろうとする．この他動訓練効果により筋力が使われる．従って，車椅子にバランスを強制的にとらせる機構が必要である．振動を与えると，足腰の筋力増加が得られることのエビデンスは王，石田らが報告済みである[9]．

技術的解決方法として座席の姿勢制御を適用する．座席の姿勢制御方法は，固定された3つのモータに円盤を取り付け，それを回転させることによって座席を傾かせるようにする．

モータは Fig.2.1 に示すように円盤の中心から離れた位置に

取り付け，モータを制御することにより動かし座席は傾く．

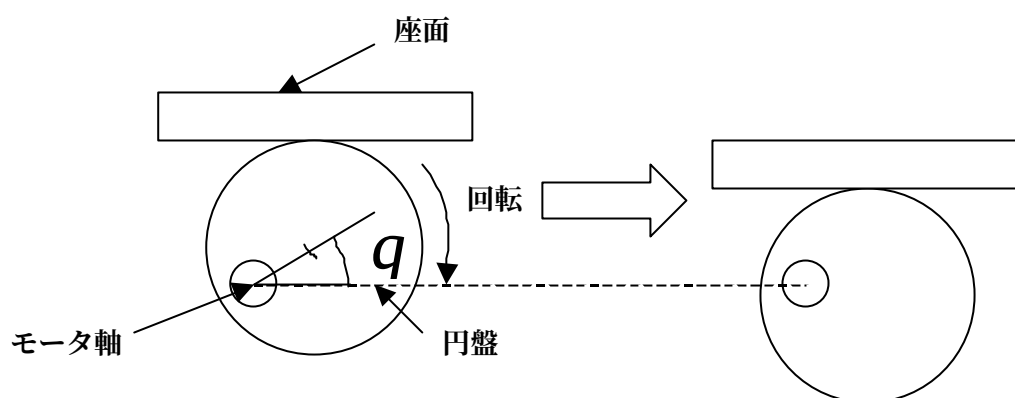


Fig.2.1 動きのメカニズム

そのモータの回転速度 q から座席の傾きを知るためにキネマティクスと逆キネマティクスを使う．

この方法を使い，足腰の筋力を増加させ電動車椅子に乗っていても健康増進ができるようにする．

2. 2 キネマティクスと逆キネマティクス

キネマティクスとは運動を扱う学問であって，それを引き起こしている力については考えない．運動学では，位置，速度，加速度，より高次の位置の変数の微分（時間に関してあるいは他の変数に関して）を扱う．したがって，マニピュレータの運動学は，運動の幾何学的性質，時間的性質を扱うことになる．

[10]

これより Fig.2.2 のようにロボットアームでは，ロボットアームのジョイント（関節）の変位，速度，加速度が与えられた場合に，アーム先端の位置，速度，加速度を求めることをキネマティクスという．逆キネマティクスとは，ロボットアーム先端の位置，速度，加速度が与えられた場合にアームのジョイントの変位，速度，加速度を求めることをいう[11]．

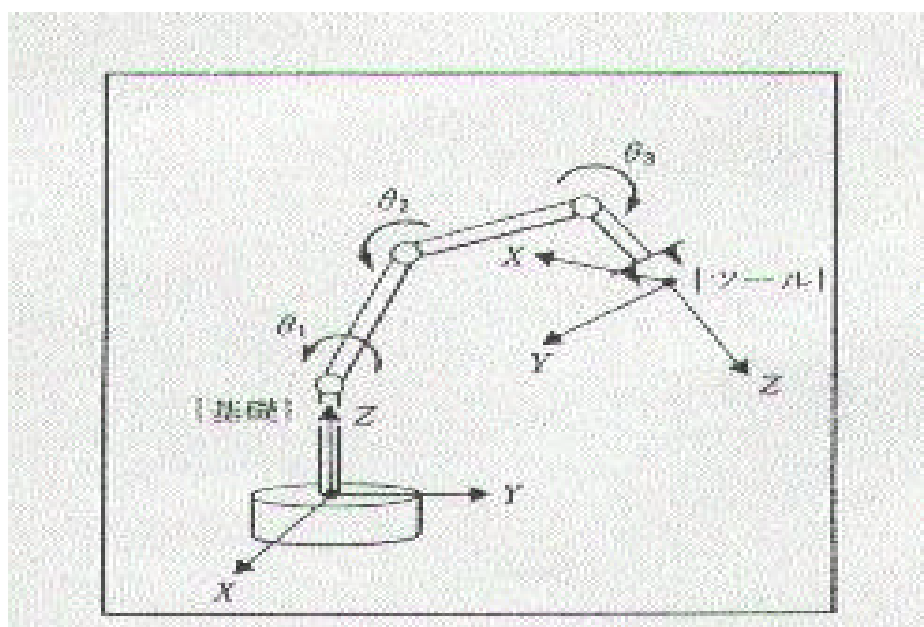


Fig.2.2 ロボットアーム

本論文では，モータの3つの回転角度 q_1 , q_2 , q_3 が与えられた場合の a , b , c , d を求めることをキネマティクス，そして a , b , c , d が与えられた場合の q_1 , q_2 , q_3 を求めることを逆キネマティクスとする．

2. 3 座面の式 $ax + by + cz = d$

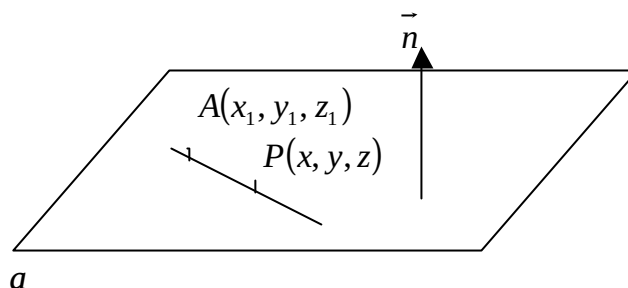


Fig.2.3 平面の図

座席の式を考える前に平面の式について述べる[12].

点 $A(x_1, y_1, z_1)$ を通り, ある一定のベクトル $\vec{n} = (a, b, c)$ に垂直な平面 a の方程式を求める. a 上の任意の点を $P(x, y, z)$ とすると

$$\overrightarrow{AP} = (x - x_1, y - y_1, z - z_1)$$

$\vec{n}$ はこの平面 a に含まれるすべてのベクトルと垂直だから

$$\overrightarrow{AP} \cdot \vec{n} = a(x - x_1) + b(y - y_1) + c(z - z_1) = 0 \quad (2-1)$$

P は a 上の任意の点で, その座標がみたす関係式が (2-1) だから, これが求める平面の方程式である.

一般型は

$$ax + by + cz + d = 0$$

ただし $(a, b, c) \neq (0, 0, 0)$

(2-1) を展開して定数項を d とおいただけの式である. こ

の式を使い，車椅子の座席の式を考える．

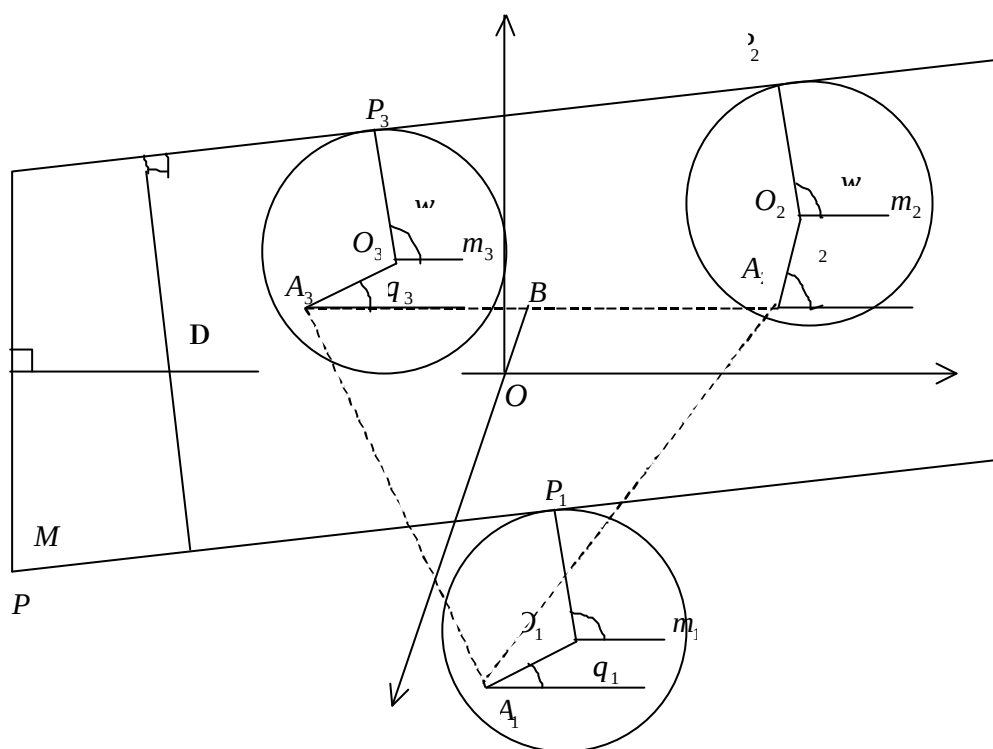


Fig.2.4 電動車椅子の座面

Fig.2.4 は，3つの円盤と座席を示したものである． O_1 ， O_2 ， O_3 は3つの円盤の中心， A_1 ， A_2 ， A_3 はモータの駆動軸と円盤との接点， P_1 ， P_2 ， P_3 は電動車椅子の座席の座面 M と3つの円盤の接点である． O_1 ， O_2 ， O_3 は A_1 ， A_2 ， A_3 が作る平面に対して垂直であり O_2 ， O_3 は同一平面上に存在する．座面 M の下には，方向指示のための溝があるため x 方向へは動かない．それと，車椅子の側当てがあるために y 方向へは動かない． D は M 平面の中心である．

$\Delta A_1 A_2 A_3$ は 2 等辺 3 角形であり, $A_1 A_2 = A_1 A_3$, B は $A_2 A_3$ の中点
 O は $\Delta A_1 A_2 A_3$ の中心, $A_2 A_3 = 2l_1$, $A_1 B = 3l_2$ とおく. O が原点, $A_2 A_3$ は
 y 軸と平行にし, xyz 座標を置く.

q_1, q_2, q_3 は 3 つの円盤の駆動角度である. 線分 $P_2 P_3$ は平面
 $O_2 O_3 P_3$ 内にあり, 点 P_2, P_3 は平面 M と円 O_2, O_3 との接点である
から, 即ち $O_2 P_2$ と $O_3 P_3$ は平行である. 平面 M は円 O_1 と緩衝して
いるため, 線 PP_1 は平面 M に存在するので $O_1 P_1$ と PP_1 は直角であ
る. また. 円盤 O_3 は円盤 O_1 と平行にあるので線分 PP_1 と線分 $P_3 P_2$
は平行である.

以上のことより, 線 $O_1 P_1$ と線 $O_2 P_2$ と線 $O_3 P_3$ は平行であり, $O_1 M_1$
と $O_2 M_2$ と $O_3 M_3$ は y 軸に平行である.

$\angle m O_1 P_1 = \angle m_2 O_2 P_2 = \angle m_3 O_3 P_3 = w$ とおく.

よって各点は以下のように座標を与える. 円盤 $O_1 O_2 O_3$ の半径
を R , $A_1 O_1, A_2 O_2, A_3 O_3$ を r と置く.

モータの : $A_1 (2l_2, 0, 0)$

$$A_2 (-l_2, l_1, 0)$$

$$A_3 (-l_2, -l_1, 0)$$

円盤の中心 : $O_1 (2l_2, r \cos q_1, r \sin q_1)$

$$O_2 (-l_2, l_1 + r \cos q_2, r \sin q_2)$$

$$O_3 (-l_2, -l_1 + r \cos q_3, r \sin q_3)$$

接点：

$$P_1(2l_2, r \cos q_1 + R \cos w, r \sin q_1 + R \sin w)$$

$$P_2(-l_2, l_1 + r \cos q_2 + R \cos w, r \sin q_2 + R \sin w)$$

$$P_3(-l_2, -l_1 + r \cos q_3 + R \cos w, r \sin q_3 + R \sin w)$$

平面 $O_2O_3P_3P_2$ と $O_3P_3 \perp P_2P_3$ より P_2 と P_3 の座標から P_2P_3 の傾き K が得られる.

$$K = -ctg w = \frac{r(\sin q_3 - \sin q_2)}{-2l_1 + r(\cos q_3 - \cos q_2)} \quad (2-2)$$

w を $0 < w < 180$ し q_2, q_3, l_1, r を与えると, w は唯一の解が得られる.

(2-2) 式の分母が0になるときは

$$\cos q_3 - \cos q_2 = \frac{2l_1}{r} \quad (2-3)$$

Fig.2.5 で示したように円盤 O_2, O_3 は緩衝しないように間隔をとっているため,

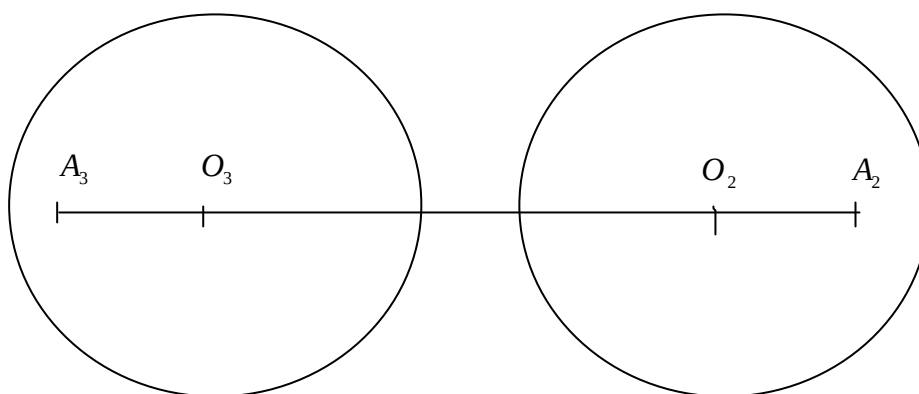


Fig.2.5

$$A_2A_3 = 2l_1 > 2r + 2R$$

$$> 4r$$

すなわち

$$\frac{l_1}{r} > 2 \quad (2-4)$$

ゆえに (2-4) 式がでることにより (2-3) 式は成立しない。したがって (2-2) 式には解が存在することがわかる。

M 平面上に原点は存在しないので平面の方程式を使い、

$$a_1x + b_1y + c_1z = 1 \quad (2-5)$$

とし、 P_1 , P_2 , P_3 を (2-5) 式に代入すると

$$2a_1l_2 + b_1(r \cos q_1 + R \cos w) + c_1(r \sin q_1 + R \sin w) = 1 \quad (2-6)$$

$$-a_1l_2 + b_1(l_1 + r \cos q_2 + R \cos w) + c_1(r \sin q_2 + R \sin w) = 1 \quad (2-7)$$

$$-a_1 l_2 + b_1(-l_1 + r \cos q_3 + R \cos w) + c_1(r \sin q_3 + R \sin w) = 1 \quad (2-8)$$

(2-6)(2-7)(2-8)式に q_1, q_2, q_3 の値を与えると a_1, b_1, c_1 が得られる。

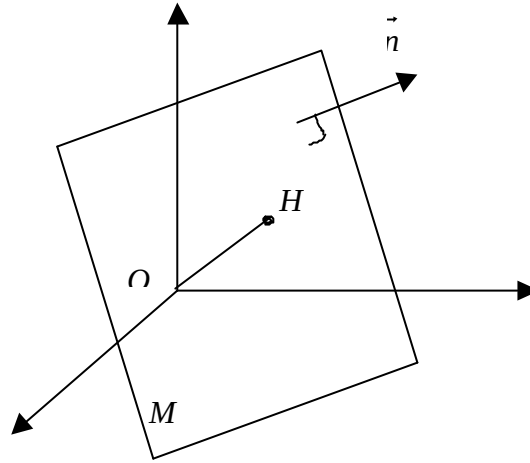


Fig.2.6

平面の方程式で x, y, z の係数を成分とするベクトル $\vec{n} = (a, b, c)$ をその平面の法線ベクトルという。

原点 $(0,0,0)$ から平面 $a_1x + b_1y + c_1z = 1$ に引いた垂線の足を $H(x_1, y_1, z_1)$ とし、点 H は原点 $(0,0,0)$ から平面 M の法線ベクトル

$$\vec{n} = \begin{pmatrix} a_1 \\ b_1 \\ c_1 \end{pmatrix} \text{に平行な直線上にあるとすると} \quad \begin{cases} x_1 = ta_1 \\ y_1 = tb_1 \\ z_1 = tc_1 \end{cases} \text{と表せる}$$

即ち,

$$\overline{OH} = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} = \sqrt{(ta_1)^2 + (tb_1)^2 + (tc_1)^2} = |t| \sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2}$$

$H(x_1, y_1, z_1)$ は平面 M 上の点でもあるから

$$a_1x_1 + b_1y_1 + c_1z_1 = 1 \Leftrightarrow a_1(ta_1) + b_1(tb_1) + c_1(tc_1) = 1$$

$$t = \frac{1}{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2}$$

$$\overline{OH} = \frac{1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2}}$$

$\vec{n}$ は単位ベクトルであるから, $|\vec{n}|=1$ であるから

$$\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2} = 1 \quad \text{すなわち } \overline{OH} = 1 \text{ となる.}$$

これより平面 M の式を

$$ax + by + cz = d \quad (2-9)$$

とおくと,

$$d = \frac{1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2}}$$

がいえ, 原点から M 平面までの距離であることがわかる [13].

接点 P_1, P_2, P_3 を (2-9) 式に代入する.

$$2al_2 + b(r \cos q_1 + R \cos w) + c(r \sin q_1 + R \sin w) = d \quad (2-10)$$

$$-al_2 + b(l_1 + r \cos q_2 + R \cos w) + c(r \sin q_2 + R \sin w) = d \quad (2-11)$$

$$-al_2 + b(-l_1 + r \cos q_3 + R \cos w) + c(r \sin q_3 + R \sin w) = d \quad (2-12)$$

$$(2-12) - (2-11)$$

$$b[-2l_1 + r(\cos q_3 - \cos q_2)] + cr(\sin q_3 - \sin q_2) = 0$$

即ち,

$$-\frac{b}{c} = \frac{r(\sin q_3 - \sin q_2)}{-2l_1 + r(\cos q_3 - \cos q_2)} \quad (2-13)$$

(2-2) と (2-13) より

$$ctg w = \frac{b}{c} \quad (2-14)$$

$0 < w < 180$ から, 1つの w の解が得られることができる.

故に, (2-14) 式から

$$\cos w = \frac{b}{c} \sin w \quad (2-15)$$

(2-15) 式を (2-10), (2-11), (2-12) 式に代入すると

$$b \cos q_1 + c \sin q_1 = \frac{\left[d - 2al_2 - R \left(\frac{b^2 + c^2}{c} \right) \sin w \right]}{r} \quad (2-16)$$

$$b \cos q_2 + c \sin q_2 = \frac{\left[d + al_2 - bl_1 - R \left(\frac{b^2 + c^2}{c} \right) \sin w \right]}{r} \quad (2-17)$$

$$b \cos q_3 + c \sin q_3 = \frac{\left[d + al_2 + bl_1 - R \left(\frac{b^2 + c^2}{c} \right) \sin w \right]}{r} \quad (2-18)$$

(2-16) (2-17) (2-18) 式より $0^\circ < q_i < 360^\circ$ の間で, q_1, q_2, q_3 はそれぞれ 2 つの解が得られる. その場合は前に回転した角度に 1 番遠い値を省く.

(2-10) (2-11) (2-12) 式を計算するのに, C 言語を使用した.

2. 4 C 言語による座面の式の計算

円盤の回転角度 q_1, q_2, q_3 を与えたときの $w, a_1, b_1, c_1, a, b, c, d$ を求めるために C 言語を使用した.

まず $q_1 = 0^\circ, q_2 = 60^\circ, q_3 = 0^\circ$ を初期値とし, q_3 を 60° ずつ加算していき, 300° まで達した後, q_2 を 60° ずつ加算していく. q_2 が 300° まで達した後 q_1 を 60° ずつ加算していき q_1 が 300° まで計算していくようにプログラムを組んだ. それから $\sin q_1, \sin q_2, \sin q_3, \cos q_1, \cos q_2, \cos q_3$ をもとめ, その値から w の値を計算した.

連立方程式 (2-6) (2-7) (2-8) を行列式にして解いた.

$$\begin{bmatrix} 20.6 & 4.0 \cos q_1 + 8.5 \cos w & 4.0 \sin q_1 + 8.5 \sin w \\ -10.3 & 14.5 + 4.0 \cos q_2 + 8.5 \cos w & 4.0 \sin q_2 + 8.5 \sin w \\ -10.3 & -14.5 + 4.0 \cos q_2 + 8.5 \cos w & 4.0 \sin q_3 + 8.5 \sin w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \\ c_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

(2 - 1 9)

(2 - 1 9) 式を

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \\ c_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20.6 & 4.0 \cos q_1 + 8.5 \cos w & 4.0 \sin q_1 + 8.5 \sin w \\ -10.3 & 14.5 + 4.0 \cos q_2 + 8.5 \cos w & 4.0 \sin q_2 + 8.5 \sin w \\ -10.3 & -14.5 + 4.0 \cos q_2 + 8.5 \cos w & 4.0 \sin q_3 + 8.5 \sin w \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

とし, これから a_1 , b_1 , c_1 を求めた. そのためには

$$\begin{bmatrix} 20.6 & 4.0 \cos q_1 + 8.5 \cos w & 4.0 \sin q_1 + 8.5 \sin w \\ -10.3 & 14.5 + 4.0 \cos q_2 + 8.5 \cos w & 4.0 \sin q_2 + 8.5 \sin w \\ -10.3 & -14.5 + 4.0 \cos q_2 + 8.5 \cos w & 4.0 \sin q_3 + 8.5 \sin w \end{bmatrix} \text{ の 逆 行 列 を 求 }$$

めなければならない. 逆行列を求める方法として消去法を用いた.

例題 2.1 次の連立1次方程式を解け。(右側は係数を抜きだした表)

$$\begin{cases} x + y - z = 2 \\ 2x + y - z = 9 \\ 2x + 4y - 3z = 16 \end{cases}$$

1	1	-1	2	①
2	1	-1	9	②
2	4	-3	16	③

[解答]

$$\begin{cases} x + y - z = 2 \\ -y + z = 5 \\ 2y - z = 12 \end{cases}$$

1	1	-1	2	①
0	-1	1	5	④ = ② - ① × 2
0	2	-1	12	⑤ = ③ - ① × 2

$$\begin{cases} x = 7 \\ y - z = -5 \\ z = 22 \end{cases}$$

1	0	0	7	⑥ = ① + ④
0	1	-1	-5	⑦ = ④ × (-1)
0	0	1	22	⑧ = ⑤ + ④ × 2

$$\begin{cases} x = 7 \\ y = 17 \\ z = 22 \end{cases}$$

1	0	0	7	⑥
0	1	0	17	⑨ = ⑦ + ⑧
0	0	1	22	⑧

ゆえに,

$$x = 7, \quad y = 17, \quad z = 22. \quad \diamond$$

Fig.2.7 消去法

この消去法で解くために、ヘッダファイル“Agau.s.c”を作った。(付録参照)

$$\text{その求めた値から } a = \frac{a_1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2}}, \quad b = \frac{b_1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2}},$$

$$c = \frac{c_1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2}} \quad d = \frac{1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2}} \text{ より, } a, b, c, d \text{ を求めた.}$$

その結果から

$$a \text{ は } -0.1114 < a < 0.2188$$

$$b \text{ は } -0.2660 < b < 0.2669$$

$$c \text{ は } 0.9633 < c < 1.0$$

$$d \text{ は } 5.0358 < d < 10,74$$

ということがわかった[14][15].

第3章 シミュレーションによる検証

3. 1 はじめに

前章では，キネマティクスなどを使い座席の動きのメカニズムなどについて述べた．本章では座席がどのようにして動いているのかを視覚的にわかるように Working Model を使いシミュレーションした．

3. 2 Working Model とは

Working Model は CAD エンジニアを対象とした製品であり，3次元データの表示，編集，シミュレーションを行うことができるシミュレーションソフトである．Windows95 Windows 98 Windows NT の環境下で稼働し，高度な機構解析機能と，洗練されかつ使いやすい編集機能，プレゼンテーション機能を合わせ持っている．

Working Model は，あらゆるニーズに応えるために設計されている．プロトタイプ作成用の CAD ファイルの注記を記入することから，運動シミュレーションを実行することまで可能である．

3. 3 シミュレーション結果に対する考察

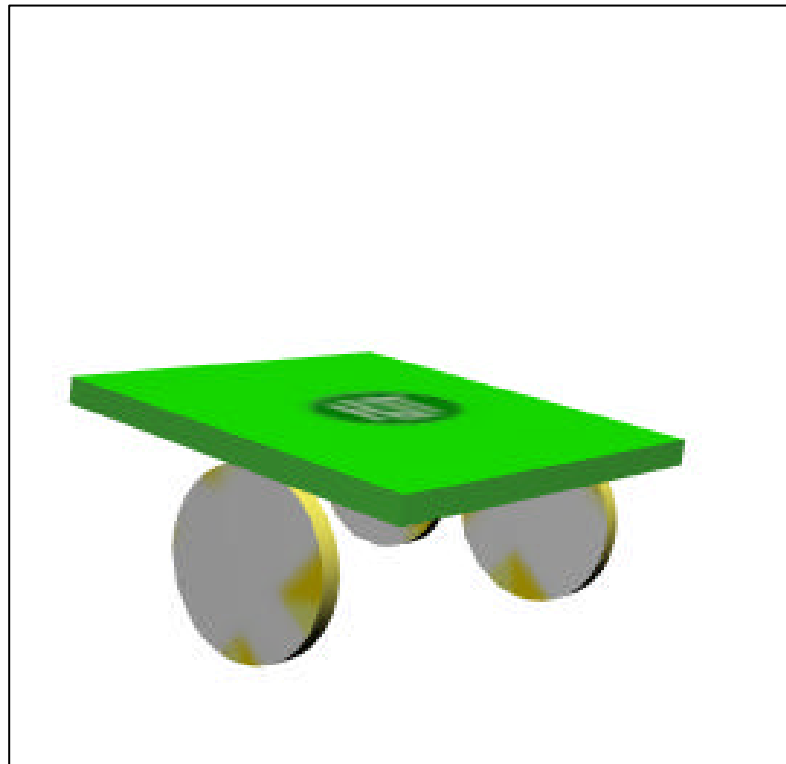


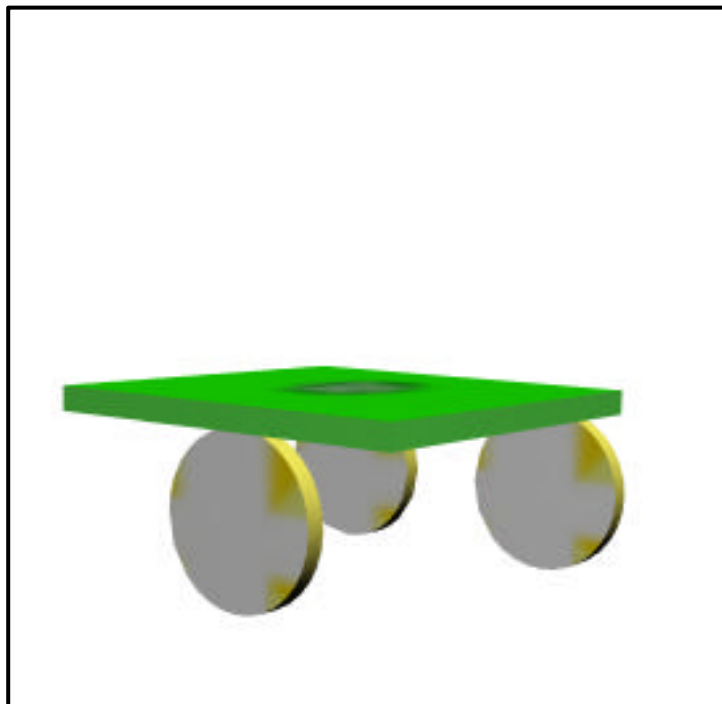
Fig.3.1 座面の傾き

Working Model で Fig.3.1 のようなシミュレーション結果が得られた[16][17]．これにより固定されたモータの作用軸に円盤をつけ回転させることにより円盤の上の座席は

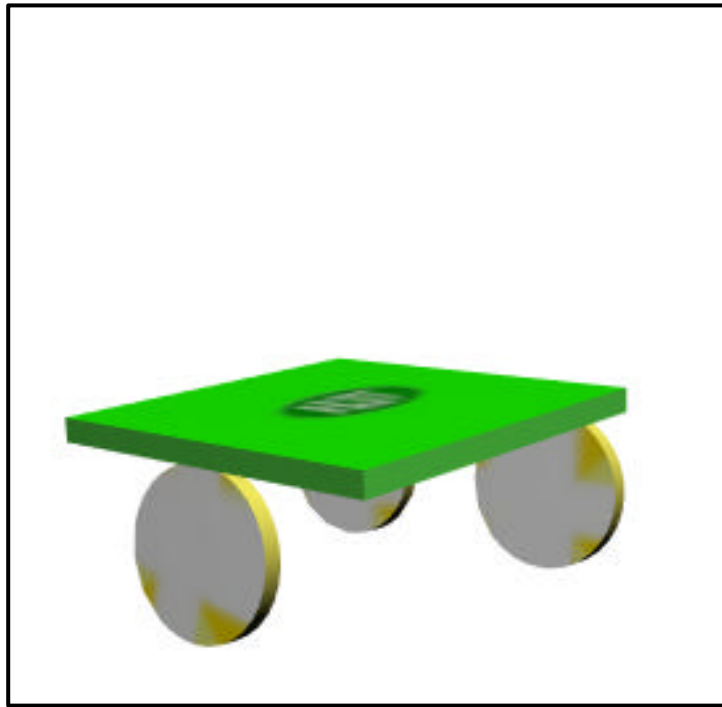
波状に揺れるメカニズムが証明された。

この波状に座席が揺れることにより電動車椅子に乗る人々がバランスをとることにより，脳幹を刺激し筋肉の発達ができるのではないかと予測される。

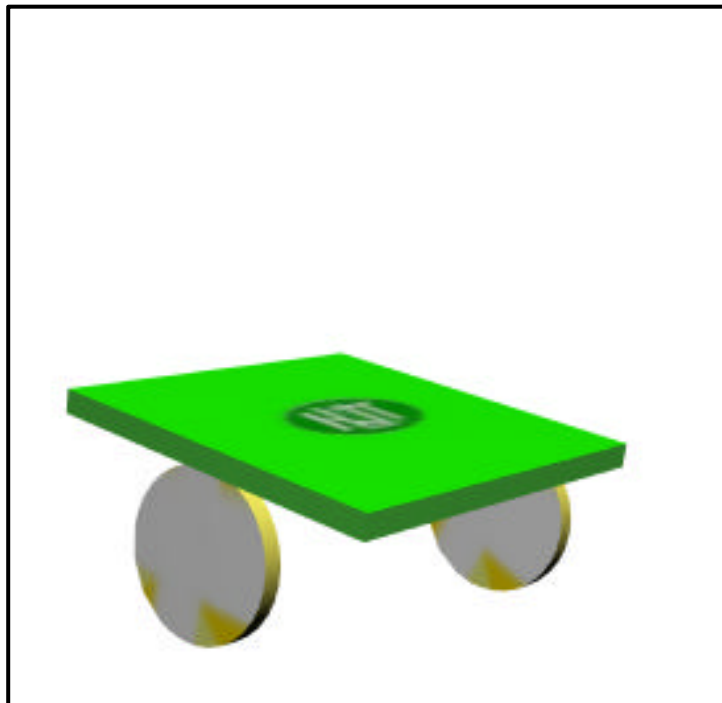
シミュレーション



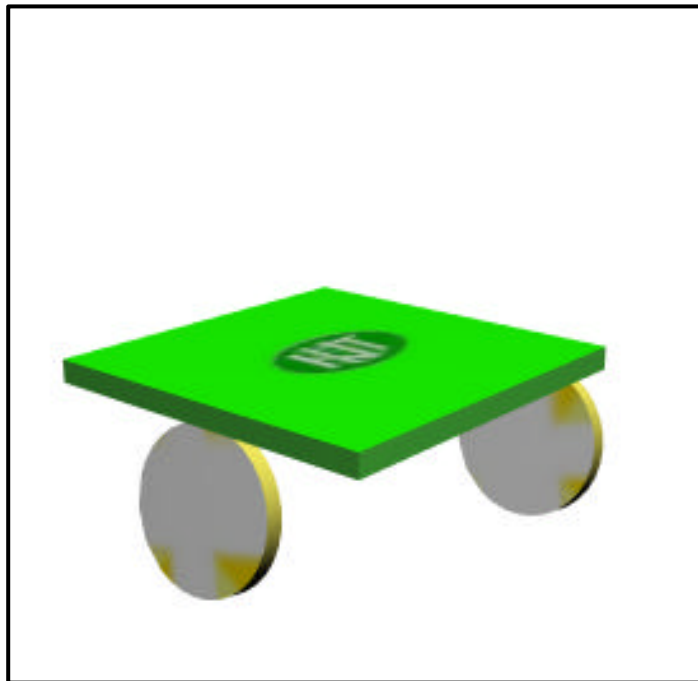
静止時



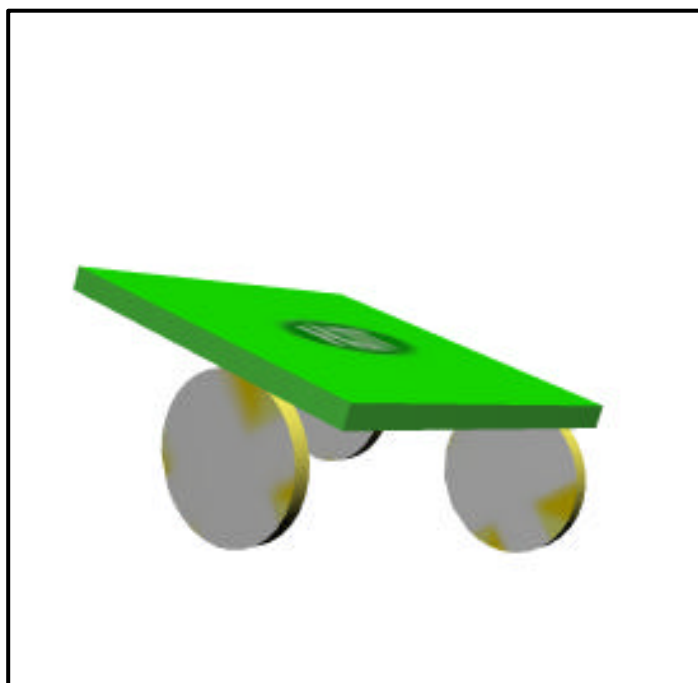
$q_1 = 240^\circ, q_2 = 60^\circ, q_3 = 0^\circ$ のとき



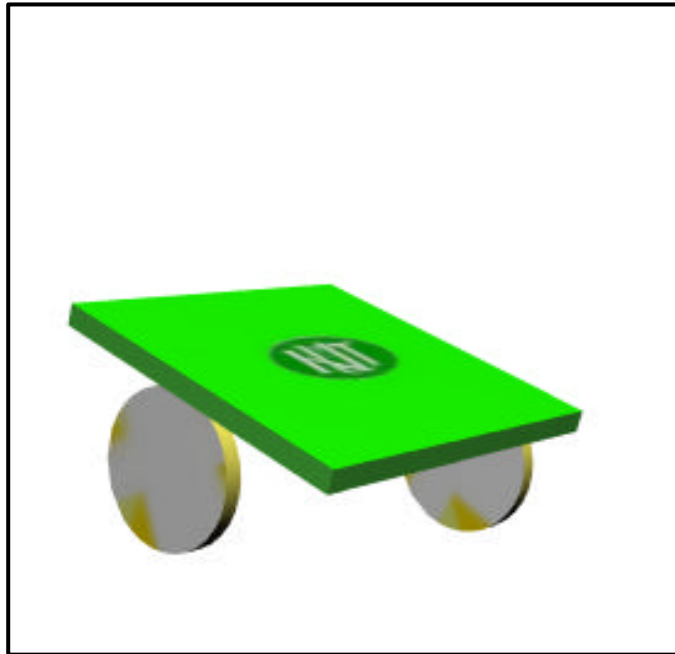
$q_1 = 240^\circ, q_2 = 300^\circ, q_3 = 0^\circ$ のとき



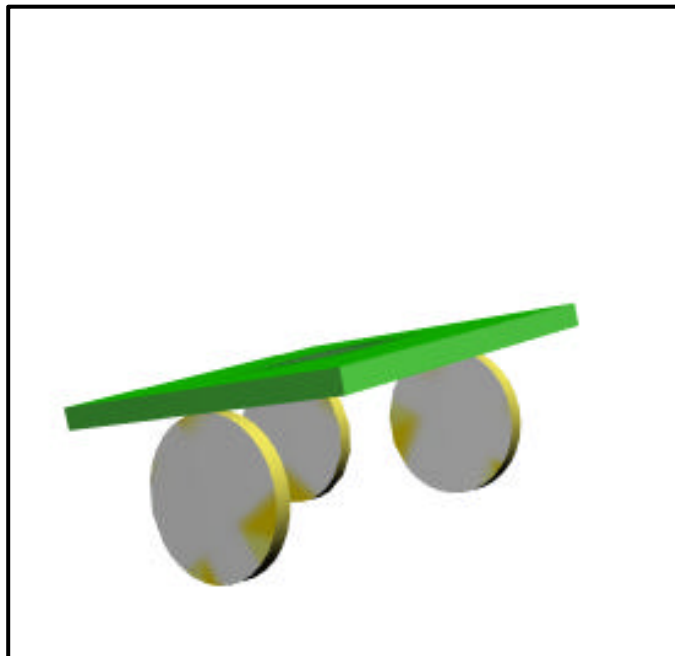
$q_1 = 240^\circ, q_2 = 60^\circ, q_3 = 60^\circ$ のとき



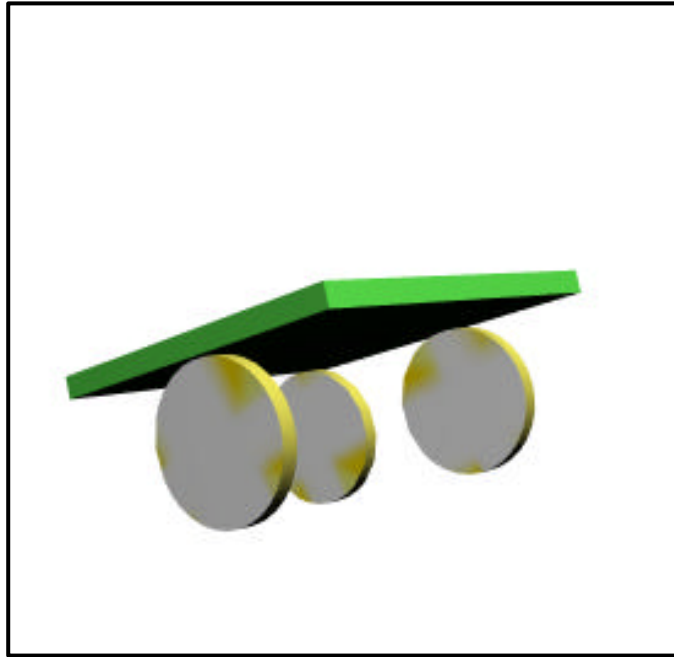
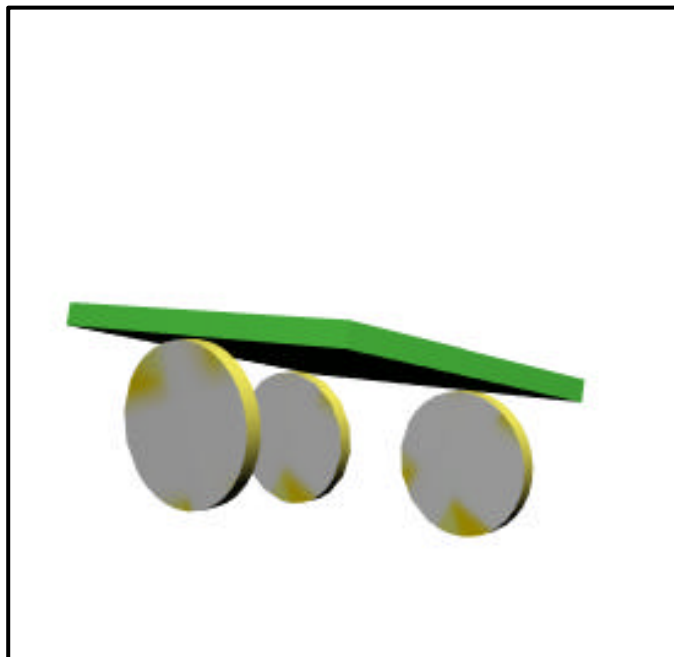
$q_1 = 0^\circ, q_2 = 300^\circ, q_3 = 60^\circ$ のとき

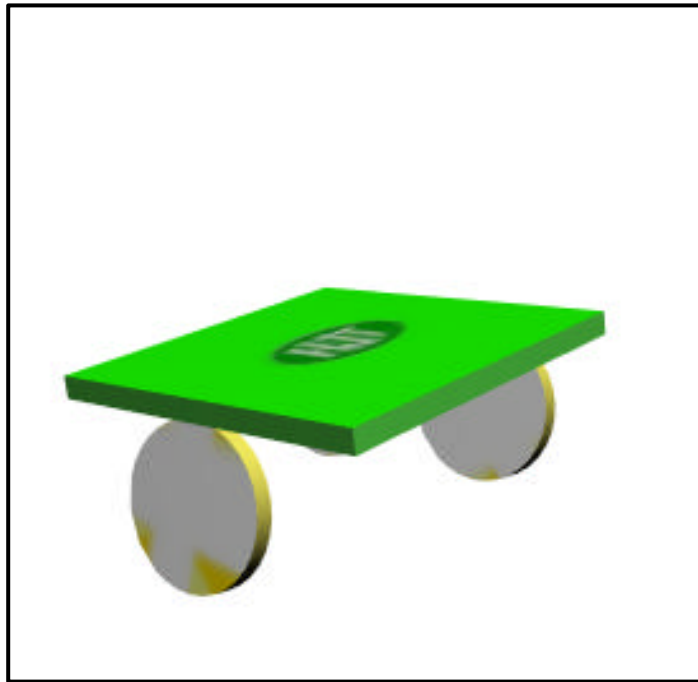


$q_1 = 180^\circ, q_2 = 300^\circ, q_3 = 60^\circ$ のとき



$q_1 = 300^\circ, q_2 = 180^\circ, q_3 = 60^\circ$ のとき

 $q_1 = 0^\circ, q_2 = 120^\circ, q_3 = 300^\circ$ のとき $q_1 = 60^\circ, q_2 = 240^\circ, q_3 = 240^\circ$ のとき



$q_1 = 240^\circ, q_2 = 180^\circ, q_3 = 60^\circ$ のとき

第4章 結章

4. 1 本研究の成果

本研究では「健康を保つ、増す」という2つの意味の健康増進を考え、キネマティクスと逆キネマティクスを使い電動車椅子の座面の傾きと座席の円盤の回転角度の関係を解析し、座面の傾きのシミュレーションを行った。

それにより、キネマティクスと逆キネマティクスで3つの円盤の回転角度の値を与えることにより座面の式のパラメータを求めることができ、反対に座面の式のパラメータがわかれば3つの円盤の回転角度がわかることが証明された。

次にこの座面の動きを確認できたことにより足腰の筋力を衰えさせず、健康増進に役立てることができるのではないかという予測ができた。

4. 2 これからの課題

座面の式をキネマティクスと逆キネマティクスより導出し、座席のシミュレーションにより座面が動くことがわかった。

今後は、このC言語で求められた座面の式のパラメータの解析を行い、目標値の設定、モータ制御などのシステム制御を行う。そしてこの電動車椅子に乗ることにより人体にどのような効果をもたらすのかの実験を行う。

参考資料

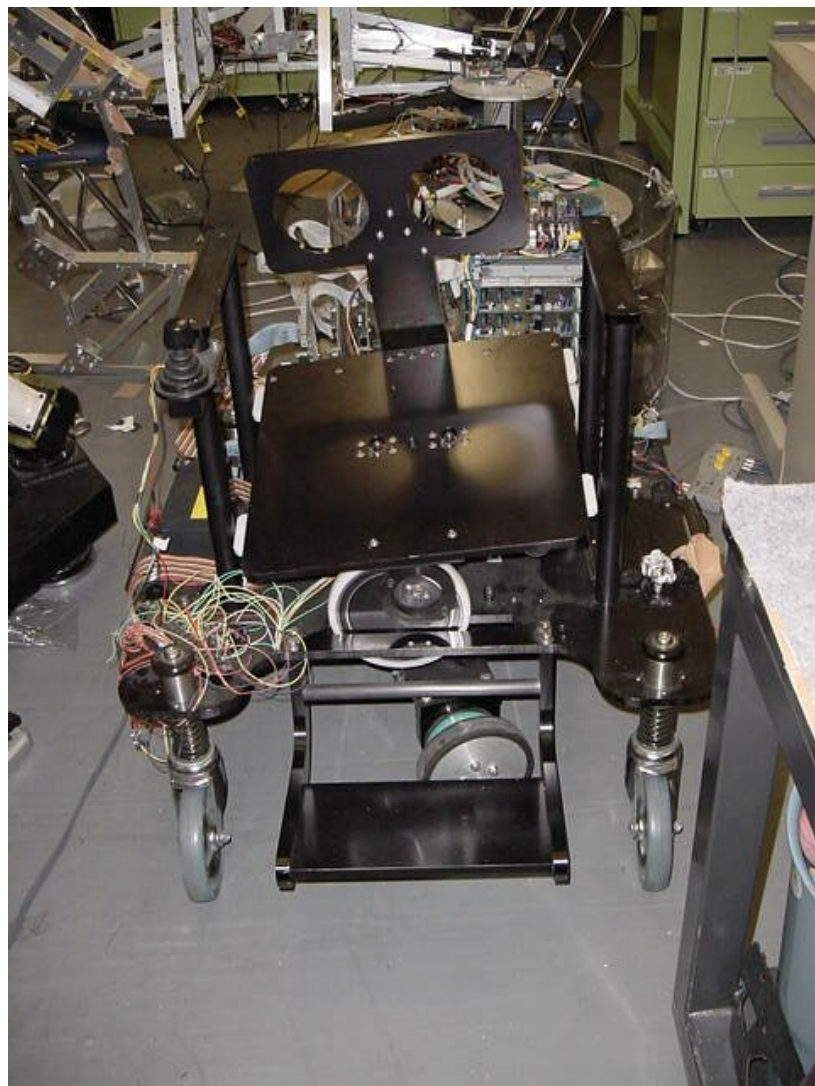


写真 1

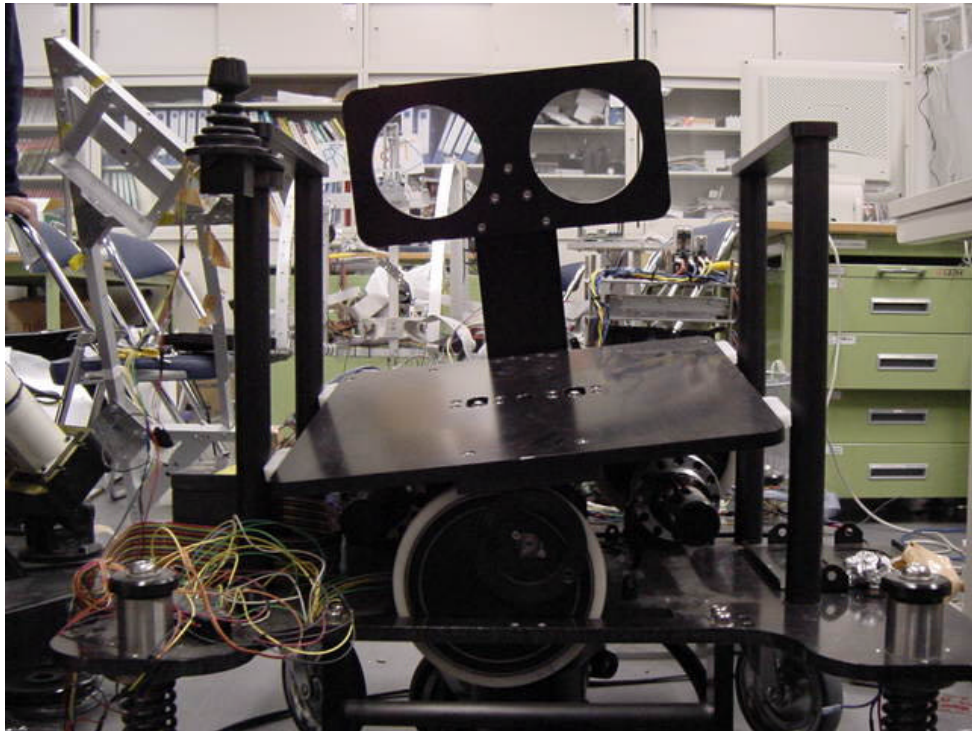


写真 2

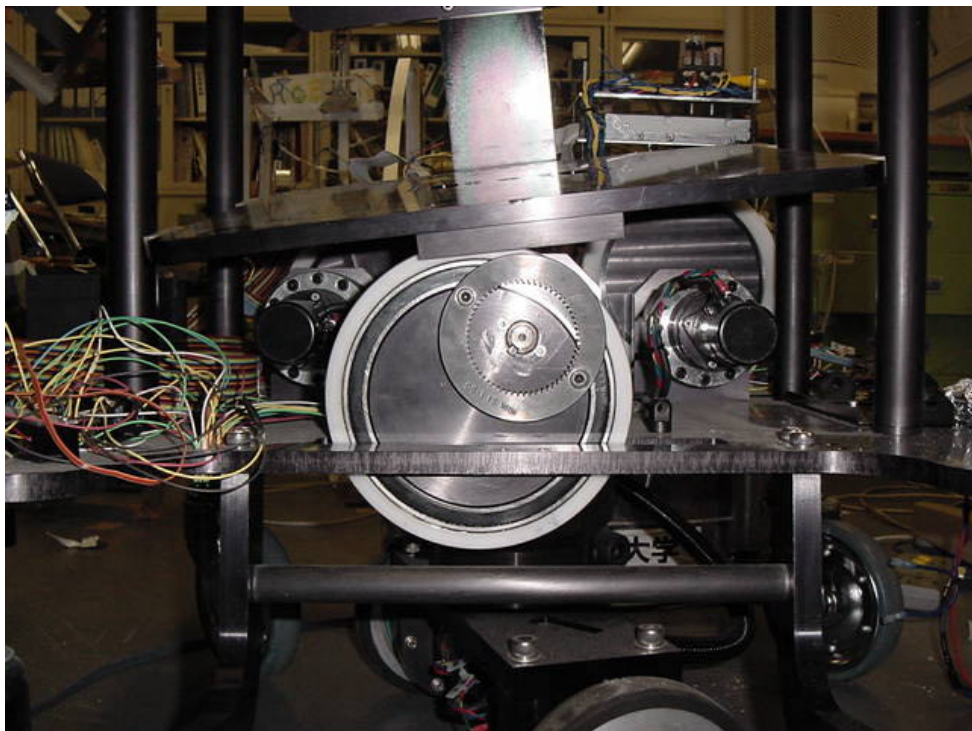


写真 3

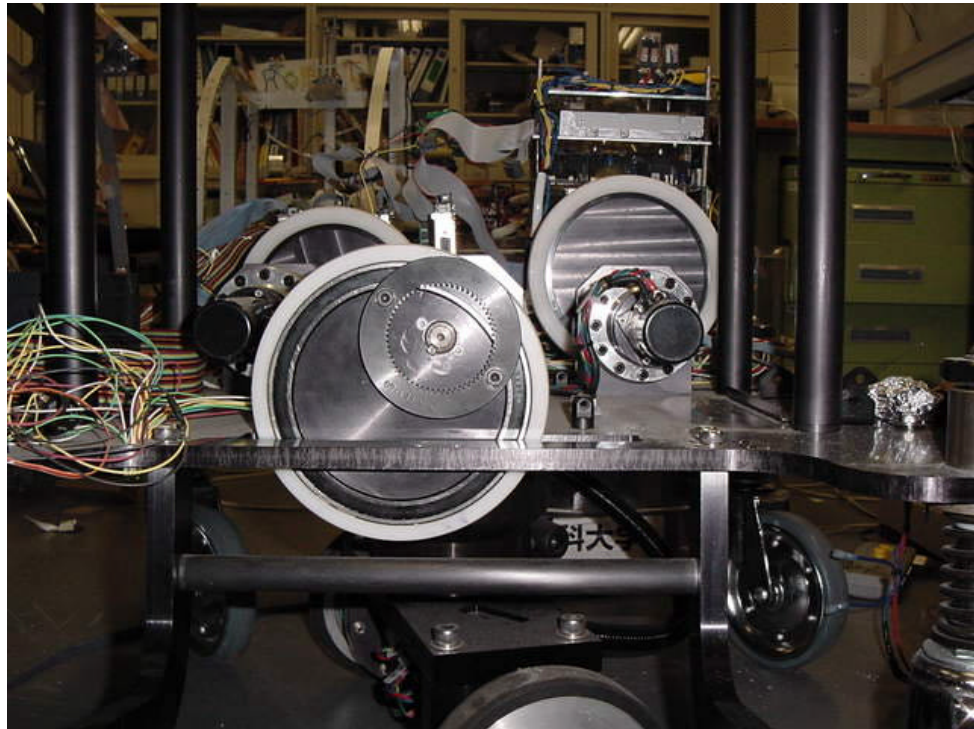


写真 4

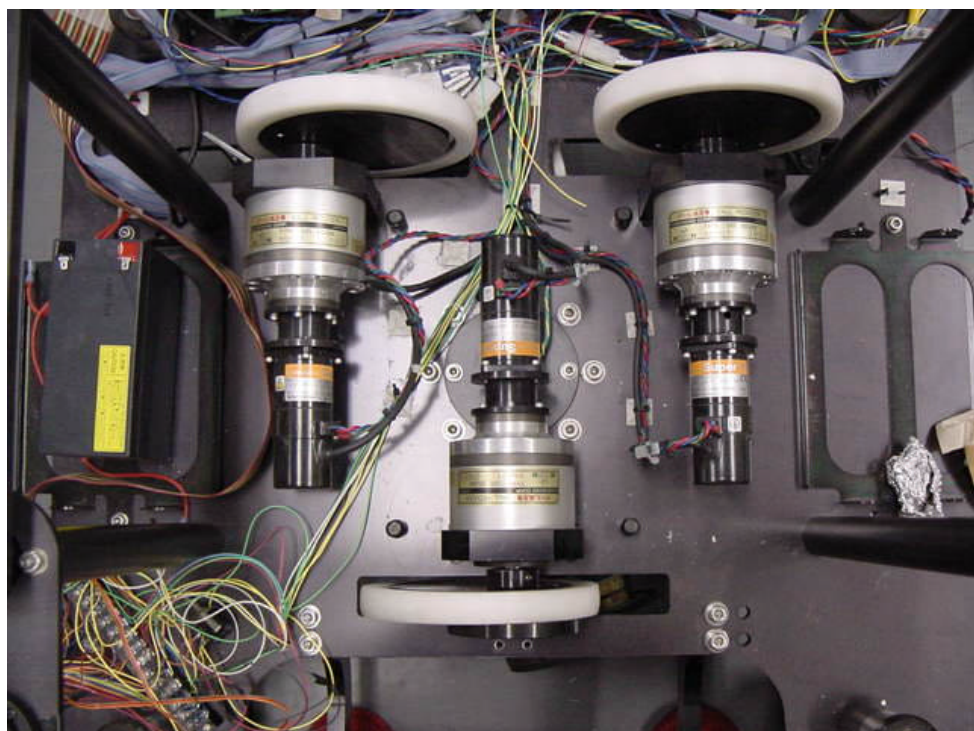


写真 5

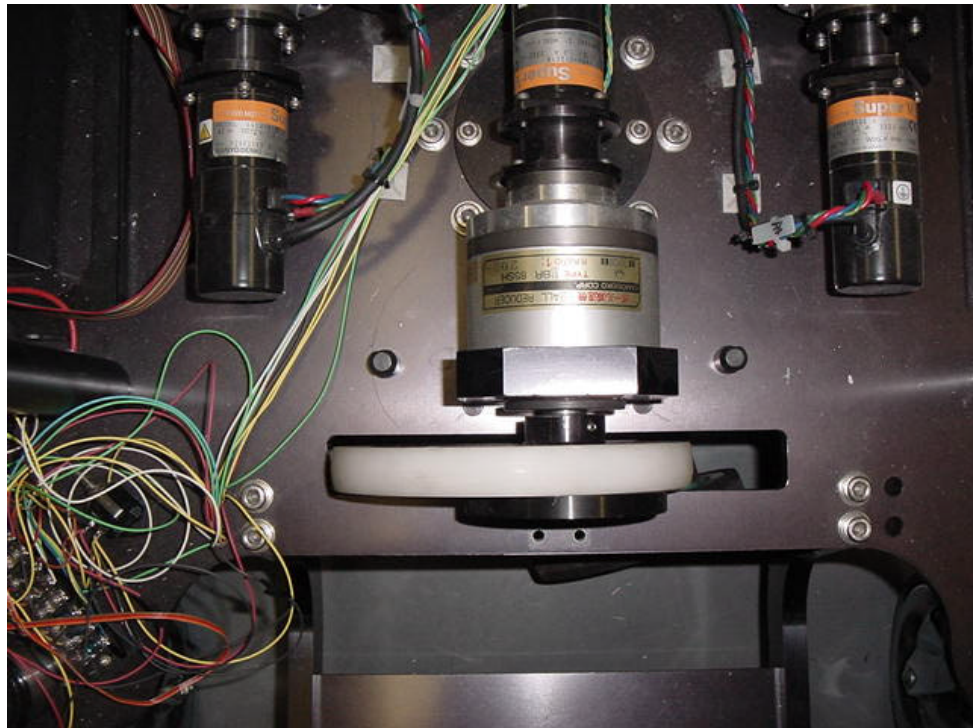


写真 6

C言語

“Agaus.c”

```
#include "stdlib.h"
#include "math.h"
#include "stdio.h"
int agaus(double *a,double *b,int n)
{ int *js,l,k,i,j,is,p,q;
  double d,t;
  js=(int *)malloc(n*sizeof(int));
  l=1;
  for (k=0;k<=n-2;k++)
  { d=0.0;
    for (i=k;i<=n-1;i++)
      for (j=k;j<=n-1;j++)
        { t=fabs(a[i*n+j]);
          if (t>d) { d=t; js[k]=j; is=i;}
        }
    if (d+1.0==1.0) l=0;
    else
    { if (js[k]!=k)
      for (i=0;i<=n-1;i++)
        { p=i*n+k; q=i*n+js[k];
          t=a[p]; a[p]=a[q]; a[q]=t;
        }
      if (is!=k)
      { for (j=k;j<=n-1;j++)
        { p=k*n+j; q=is*n+j;
          t=a[p]; a[p]=a[q]; a[q]=t;
        }
        t=b[k]; b[k]=b[is]; b[is]=t;
      }
    }
  }
}
```

```
    }
    if (l==0)
    { free(js); printf("fail¥n");
      return(0);
    }
    d=a[k*n+k];
    for (j=k+1;j<=n-1;j++)
    { p=k*n+j; a[p]=a[p]/d;}
    b[k]=b[k]/d;
    for (i=k+1;i<=n-1;i++)
    { for (j=k+1;j<=n-1;j++)
      { p=i*n+j;
        a[p]=a[p]-a[i*n+k]*a[k*n+j];
      }
      b[i]=b[i]-a[i*n+k]*b[k];
    }
  }
  d=a[(n-1)*n+n-1];
  if (fabs(d)+1.0==1.0)
  { free(js); printf("fail¥n");
    return(0);
  }
  b[n-1]=b[n-1]/d;
  for (i=n-2;i>=0;i--)
  { t=0.0;
    for (j=i+1;j<=n-1;j++)
      t=t+a[i*n+j]*b[j];
    b[i]=b[i]-t;
  }
  js[n-1]=n-1;
  for (k=n-1;k>=0;k--)
  if (js[k]!=k)
  { t=b[k]; b[k]=b[js[k]]; b[js[k]]=t;}
  free(js);
  return(1);
}
```

ソースプログラム

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>

#include "agaus.c"

void main(void)
{
    double rad1,rad2,rad3,s1,s2,s3,c1,c2,c3;
    double x;
    double deg1,deg2,deg3,a,b,c,d;
    double omega,so,co,A1,B1,C1;
    double P[3][3];
    double s[3],temp;
    int    i,j;

    /*    deg1,2,3 rad1,2,3 s1,2,3 c1,2,3 so co を求める    */

    for(deg1=0; deg1<360; deg1+=60) {
        for(deg2=0; deg2<360; deg2+=60) {
            for(deg3=0; deg3<360; deg3+=60) {
                clrscr();

                printf("\n\ndeg1=%4.1f\ndeg2=%4.1f\ndeg3=%4.1f\n",deg1,deg2,deg3);
                rad1=(3.1415/180.0)*deg1;
                rad2=(3.1415/180.0)*deg2;
                rad3=(3.1415/180.0)*deg3;
                s1=sin(rad1);
                s2=sin(rad2);
```

```
s3=sin(rad3);

c1=cos(rad1);
c2=cos(rad2);
c3=cos(rad3);
if(fabs(rad2-rad3)<0.00001){
    omega=0.5*3.1415;
    getch();
    continue;
}
else{
    x=4.0*(s3-s2)/(-2*14.5+4.0*(c3-c2));
    omega=atan(-1/x);
    if(omega<0)    omega+=3.1415;
}
so=sin(omega);
co=cos(omega);
printf("omega=%6.2f  ¥n",omega*180/3.1415);

/*  p1 p2 p3 を求める  */

P[0][0]=20.6;
P[0][1]=4.0*c1+8.5*co;
P[0][2]=4.0*s1+8.5*so;
P[1][0]=-10.3;
P[1][1]=14.5+4.0*c2+8.5*co;
P[1][2]=4.0*s2+8.5*so;
P[2][0]=-10.3;
P[2][1]=-14.5+4.0*c3+8.5*co;
P[2][2]=4.0*s3+8.5*so;

s[0]=s[1]=s[2]=1;

if(again(&P[0][0],s,3)==0){
    getch();
    continue;
```

```
    }

    A1=s[0];
    B1=s[1];
    C1=s[2];
    printf("A1=%10.4f¥nB1=%10.4f¥nC1=%10.4f¥n¥n",A1,B1,C1);

    temp=sqrt(A1*A1+B1*B1+C1*C1);
    a=A1/temp;
    b=B1/temp;
    c=C1/temp;
    d=1/temp;

    printf("a=%10.4f¥nb=%10.4f¥nc=%10.4f¥nd=%10.4f¥n",a,b,c,d);
    getch();
}
}
}
```


参考文献

- [1][4][6]福祉士養成講座編集委員会, “介護概論”, 中央法規出版 (1992年).
- [2]岡本, “高齢者のリハビリ Q&A”, 講談社 (1999年).
- [3]佐藤, “長生きのはなし”, 技報堂出版, (1990年).
- [5]福祉士養成講座編集委員会, “老人福祉論”, 中央法規出版 (1994年).
- [7]田多井他, “加齢の健康学”, 大修館書店 (1990年).
- [8]三浦, 斉田他, “新しい健康読本”, 裳華房 (1998年).
- [9]王, 石田他, “乗馬療法システム 中枢性神経疾患の介護機器の開発と応用に関する研究開発プログラム”, 平成12年度研究班会議予稿集.
- [10]John. J.Craig, “ロボティクス 機構・力学・制御”, 共立出版株式会社, (1995年).
- [11]下嶋, 佐藤, “ロボット工学”, 森北出版株式会社, (1999年).

- [12]吉原, “モノグラフ 1 1 空間図形” 科学新興社,
(1988年).
- [13]高橋, “モノグラフ 7 ベクトル”, 科学新興社,
(1989年).
- [14]内山他, “学生のためのC”, 東京電機大学出版局,
(1999年).
- [15]日向, “すぐに役立つC/C⁺⁺プログラミング辞典”,
(2000年)
- [16]日本エムエスシー株式会社, “ワーキングモデル チュー
トリアルガイド”.
- [17]日本エムエスシー株式会社, “ワーキングモデル ユーザ
ーマニュアル”.

謝辞

本論文は，筆者が高知工科大学知能機械システム工学科在学中に行った研究をまとめたものである．

本研究にあたり，ご指導下さった高知工科大学知能機械システム工学科王碩玉助教授に対して深く感謝致します．

また本研究において，C言語のプログラムで問題が出たときなど助言を下さった高知工科大学知能機械システム工学科の留学生陳貴林氏，本研究・論文において貴重な助言を下さった松下電工の四宮葉一氏の両氏に深く御礼申し上げます．

そして，研究に行き詰まったときに助けてくれた研究室の学部生の方々に深く感謝致します．

最後に，4年間学生生活に理解を示してくれた両親に深く感謝致します．

2001年2月