T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報 Article / Book Information

論題(和文)	│ │ 日常生活支援のための実用的ロボティックフォロワの研究-第4報:菱 │ 形 4 輪車両用懸架機構の提案と最適化- │
Title	
著者(和文)	
Authors	Gen Endo, Atsushi Tani, SHIGEO HIROSE, EDWARDO FUMIHIKO FUKUSHIMA, Masatsugu Iribe, Toshio Takubo
出典 / Citation	ーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーー
Citation(English)	, , , 1H2-5
発行日 / Pub. date	2011, 9
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本ロボット学会に帰属します。 Copyright (c) 2011 The Robotics Society of Japan.

日常生活支援のための実用的ロボティックフォロワの研究 -第4報:菱形4輪車両用懸架機構の提案と最適化-

遠藤玄 (東工大院) 谷篤 (ソニー(株)) 広瀬茂男 (東工大院) 福島 E. 文彦 (東工大院) 入部正継 (阪電通大) 田窪敏夫 (女子医大)

1. はじめに

本研究は屋外環境で人に追従し荷物を搬送すること のできる実用的な移動体を開発することを目的とする. アプリケーションの一例として外出時に酸素ボンベを 携帯しなければならない在宅酸素療法患者の支援を想 定し,より具体的なユースケースとして「近所のコン ビニエンスストアまで買い物に行く」こと(図1)を考 え,車道-歩道間の段差を踏破できる小型低コストの追 従型搬送移動体の開発を目指し検討してきた.現在ま でに目標仕様の設定やその実現性の確認[1],切り下げ のある場合の歩道段差50[mm]の踏破やテザーを用い た大学構内での長距離追従走行試験を行ってきた[2].

ところで同じ歩道環境の移動を想定したシニアカー や電動車椅子の仕様(例えば[3])を見ると多くの場合 最大踏破段差高さは80[mm]程度となっている.国内 の歩道-車道間の分離に一般的に用いられている縁石は 高さ90[mm],角のRは15[mm]程度であることから 設定された値と思われる.よって80[mm]の段差踏破 ができれば歩道環境走破には十分な性能であると考え られる.

本報告ではシニアカーに比して半分程度の全長と小型である従来試作機を基に,車輪懸架機構を改善しリンク長などを最適化することで,懸架機構の簡素化・高剛性化を行うとともに80[mm]の段差踏破を達成する.

2. 菱形四輪車両の懸架機構

本体の中央左右に二つの能動車輪,前後に受動キャス タを装備した差動2輪駆動型の移動体は簡素な構成で 低コストに製作でき,制御も容易であることから,研究 用移動台車として幅広く用いられている(例えば[4]). しかしながらそれらの段差踏破性は決して高くない.

そこで本研究では高い不整地踏破性の実現を目指し て研究開発が行われている惑星探査車両の車輪懸架機 構に着目した.図2は筆者らの研究グループが開発し た火星探査ローバの試作機"飛燕II号機"である.飛燕 II号機は4つの能動車輪を前1輪・中2輪・後1輪の菱



図1提案する車両の具体的ユースケース

形3列に配置し、6輪駆動同様の高い走破性をより少 ない4輪で実現することができる.また前と左、後と 右をそれぞれ平行リンク機構で構成されるボギーリン クで懸架し、さらにリンク回転角度が前後対称になる ように差動機構により連結されている(図3(a)).こ れにより前後輪が上昇すると中輪は下降し、車体重量 を4輪に常に均等に配分することができる[5].

本研究では簡素化・低コスト化のため左右中輪のみ 能動車輪とし,前後輪は一般的な首振り受動車輪とし ている.また前輪が受動車輪であり駆動力を生成でき ないことから,段差踏破時に前輪が押し上げられるよ うに前報ではボギーリンクに初期オフセット角度を導 入した[2](図3(b)).しかしながらボギーリンクが片 持ち構造であったため構造的に堅牢ではなかった.

そこで図 3(c) に示すように前輪と左右中輪を懸架す る両持ち構造のボギーリンク機構を考える.図3(b)の 場合と各車輪のボディに対する相対運動は全く同一で はないが,ほぼ同様の動きを示し,実際後述する動力 学シミュレータでの検証によってその段差踏破性にほ とんど差がないことを確かめることができた.





図 3 ボギーリンク構造の改良: (a) 飛燕 II 号機, (b) 初 期リンク角度の導入, (c) 両持ち構造の導入, (d) 後 輪のボディへの取り付け(本提案)

RSJ2011AC1H2-5

さらに機構を単純化するために後輪リンク機構およ び連結差動機構について考察する.ボディを絶対空間に 固定しこれを基準として前後輪と中輪の位置関係を考 えると,後輪も前輪と対称に運動することが必要に思 える.しかしながら前後輪と中輪の相対運動のみに着 目すれば,後輪はボディと直接連結されていてボディと ともに傾斜した場合とほとんど変わらない.厳密には ボギーリンクの運動やボディの傾斜によって重心位置 が変動するが,これらはボギーリンクの支点位置や初 期オフセット角度を適切に設計することで対応できる. よって本報告では堅牢性も増し連結差動機構を省いて さらに簡潔にできる図 3(d)の構造を提案し採用する.

3. ボギーリンク機構の静力学解析

本節では前輪(または中輪)の段差踏破時に必要な 中輪の駆動力 F が,ボギーリンクの長さや支点位置, 初期オフセット角度に応じてどのように変化するか2 次元平面問題として静力学解析を行った.

記号を図4のように定める.中輪は常に前後輪のホ イールベースWの半分の位置にあるとし,車輪径は同 ーとする. α, ζ はホイールベースや車輪径,段差高さ によって幾何学的に定まる角度である.前輪踏破時に 段差から受ける反力はもっとも厳しい条件である水平 方向と仮定する.

各リンクごとに力とモーメントの釣り合いの式を立 て,それらを解くことで前輪踏破の条件式(1),中輪踏 破の条件式(2)を得る.

$$F > \frac{G_1 + \frac{L_4}{L_3 + L_4}(G_2 + G_4)}{\tan \phi_1}$$
(1)
$$F > G_3 \cos \alpha + \frac{(G_2 + G_4)L_3}{L_3 + L_4} \frac{\cos(\phi_1 + \zeta)}{\cos(\phi_1 + \alpha + \zeta)}$$
(2)

式 (1)(2)より L_3/L_4 , ϕ_1 が大きければ前輪踏破時に必要な駆動力 F が小さくなるがその一方で,中輪踏破時 に必要な駆動力 F が大きくなる.よってリンクパラメー タの調整による前輪と中輪の踏破性向上はトレードオ フの関係にあることが示唆される.



図4静力学解析:前輪踏破(上段),中輪踏破(下段)

4. 動力学シミュレータによるリンクパラ メータの最適化

本節では動力学シミュレータ "Open Dynamics Engine (ODE)"[6] を用いてリンクパラメータ $L_3/L_4 \ge \phi_1$ を数値的に最適化する.最適化のための評価基準は (1) 各車輪が段差踏破する際の必要中輪推進力 F の最 大値の均一化,(2) 踏破可能段差高さの最大化(車輪半 径の 80%以上)である.図5はシミュレーションに用 いた車両モデルである.大きさや質量などは従来の試 作と 3DCAD モデルに基づき現実的な値を設定している.なお本体総質量 M はペイロードである酸素ボンベ やその付属品質量も含んでいる.

車輪と走行面の摩擦係数を 0.7 と設定し,中輪を速 度制御することによって 0.8[m/s]の速さで高さ 0.5r の 段差に進入する際の必要中輪推進力 F の最大値を計測 した. $(0.2 \le L_3/L_4 \le 1.6)$, $(10 \le \phi_1 \le 50)[deg]$ の範 囲で網羅的にシミュレーションを行った.一例として 図 6 左にシミュレーションの様子を,右に ϕ_1 =40[deg] のときの正規化推進力 F/Mg (ただし g は重力加速度) と L_3/L_4 の関係を示す.静力学解析の結果式 (1)(2) で 予想された通り, L_3/L_4 が大きくなると前輪踏破は容 易になるが反対に中輪踏破が困難になる様子が分かる.

踏破可能な段差を最大化し,かつ各車輪が乗り越え る際の F の最大値の変動が 20%以内に収まるリンクパ ラメータを求めた結果, $L_3/L_4 = 0.8$, $\phi_1 = 40[deg]$ の 値を得た.この時,踏破可能な最大段差高さは 0.9r で あった.実際に構成したボギーリンク機構を図 7 に示 す.前後輪のホイールベースが 500[mm] であることか ら,設計上の踏破可能最大段差高さは 90[mm] である.



図5車両の幾何モデルと質量分布



図 6 ODE による段差踏破シミュレーション例(左図) と必要中輪駆動力(右図)



図 7 試作したボギーリンク機構(リンク機構を示すた め中輪は装備していない)

RSJ2011AC1H2-5

第四次試作機の構成 5.

第四次試作機の概観を図8に示す.今までの解析で はすべての車輪径を同じとしてリンク機構を検討して きたが,実機では酸素ボンベと付属機器のための積載 スペースを確保するため,前後輪はより小さな車輪径 とした.この場合であっても踏破可能な最大段差高さ にはほとんど影響を与えない.なぜなら,駆動力は中 輪のみで生成され、また前後輪の踏破は主にボギーリ ンク機構の効果によって達成されているからである.

中輪は先に提案した低コスト大径偏平能動車輪 [7] を 用いており, TITech Robot Driver Ver.2 によって速度 制御されている.テザーの向きや長さはポテンショメー タによって計測し,アナログ電圧をマイコン(HiBot Corp: TITech SH2 Tiny Controller)によって読み取 り,モータドライバへの指令値を生成している.

6. 実験

試作した実験機の段差踏破性能を確かめるため実験を 行った.車両の推進速度を0.8[m/s]とし,5[mm]ずつ 段差を高くすることで踏破可能な最大段差高さ80[mm] を得た(図9).この値は動力学シミュレーションの予 |測値より10[mm]低い値であるが,通常,歩道-車道間 の高さ 90[mm] の縁石には角に R があることから問題 ないものと考えられる.実際,屋外の縁石上で踏破実 験を行ったところ踏破が可能であることが確かめられ た(図10).

最大段差高さと車輪半径の比を求めると前後輪では 0.94, 中輪では 0.64 であった. 従来の差動 2 輪駆動型 ロボット [4] ではその値はおよそ 0.3 程度であり,本報 で提案した懸架機構が段差踏破性を大きく向上してい ることが分かる.

図 11 は 60[mm] の段差踏破時に必要な中輪トルクに ついて動力学シミュレーションで得られる値と実験値 を比較している、シミュレーション値は試作機に合わ せてモデルを変更した上で計測した.実験値はアクチュ



図8第四次試作機の概観

表.1 試作機の諸元

寸法 [WxDxH]	460 x 670 x 420 [mm]
質量	8.8 [kg] (with tank & batteries)
車輪直径	170 [mm], 250[mm]
最大速度	1.0 [m/s]
重酒	鉛蓄電池:12V-2.0Ahx2
电你	(NP2-12, GS Yuasa)
アクチュエータ	20[W] x 2 : Tamiya 380K20
減速比	204
テザー角度センサ	Potentiometer
テザー長センサ	
制御計算機	SH7047F CLK/44.2MHz (Hitachi)
モータードライバ	TITech Robot Driver Ver.2

エータ電流計測値にトルク定数2.75[mNm/A],減速比 204 を乗じることで算出した.実験値は電流値からの 推定であるので減速機の効率など誤差を含んでいるが、 各輪が段差踏破する際のピーク値がおおよそ同じ値を 取っていることが分かる.よって設計したボギーリン ク機構が各車輪に適切に車体重量を分散させて段差踏 破を実現していることが示唆される.

7. まとめ

本報では差動2輪駆動型の車両の段差踏破性を高め るため両持ち構造で堅牢な新たなボギーリンク機構を 提案しそれを最適化することで歩道-車道間の縁石を踏 破できる移動体を実現した.今後は想定されるユーザ からフィードバックを得てより実用的な機体へと深化 させてゆく.

参考文献

- [1] M. Iribe et al.: "Study on a Practical Robotic Follower to Support Daily Life -Mobile Robot Development for Home Oxygen Therapy Patients with the Hyper Tether-", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.23, No.2, pp.316-323 (2011)
- [2] 遠藤玄他:"日常生活支援のための実用的ロボティックフォ ロワの研究-第3報:ハイパー・テザーを用いた菱形4輪車 両による屋外追従実験-"SICE SI 部門講演会 (SI2009), 2E2-1 (2009)
- 電動車いす)-仕様・諸元", [3] "Patrafour(4WD http://www.kanto-aw.co.jp/jp/products/wheel chair/spec.html
- $\operatorname{mobilerobots}$ P3-DX", [4] "adept Pioneer http://www.mobilerobots.com/researchrobots/ researchrobots/pioneerp3dx.aspx
- [5] 広瀬, 古橋, 大司: "4 輪惑星探査ローバー飛燕 II 号機 の開発",第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.251-252 (1996)
- Open Dynamics Engine" http://www.ode.org/
- 遠藤,谷,広瀬: "低コスト大径偏平能動車輪の提案",ロ [7]ボティクスメカトロニクス講演会予稿集,1P1-J11 (2011)



図 9 段差踏破実験: 80[mm]



図 10 段差踏破実験: 90[mm] 縁石

