

課題番号 06-018

平成21年度シーズ発掘試験（発掘型）研究報告書


報告日：平成22年4月27日

技術分野	0802
------	------


課題名：自律型移動ロボットのためのステアリング性の高い変形型車輪の開発

研究期間：平成21年7月16日～平成22年3月31日

1. 担当コーディネータ

氏名（役職）	瀬在 啓明（テクノコーディネータ）		
所属機関名	財団法人長野県テクノ財団 浅間テクノポリス地域センター		
連絡先	所在地	〒386-8567 長野県上田市常田3-15-1（信州大学繊維学部内）	
	TEL/FAX	0268-23-6788 / 0268-23-6673	
	E-mail	sezai@asatech.or.jp	

2. 代表研究者（代表研究者のみ記入してください。）

氏名（役職）	飯塚 浩二郎（助教）		
所属機関名	信州大学ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点		
連絡先	所在地	〒386-8567 長野県上田市常田3-15-1	
	TEL/FAX	0268-21-5883/0268-21-5884	
	E-mail	iizuka@shinshu-u.ac.jp	

3. 共同研究者（JSTと委託研究契約を締結した共同研究機関の場合のみ記入してください。）

氏名（役職）			
所属機関名			
連絡先	所在地		
	TEL/FAX		
	E-mail		

4. 試験研究の結果報告

(1) 試験内容

[試験目的]

ねじれ剛性の強い変形型車輪を開発するためには、用いる材料に変形量を維持させながらねじれを抑制する機能を持たせなければならない。そこで、十分に変形量を維持させることができる材質を決めることが重要となる。そのために、FRPの材質や測定結果をデータベース化して走行に有効な変形量を創出する組み合わせを導出する必要がある。

[試験項目]

- [1] FRP試験片の強度試験(たわみ量測定)→FRP車輪のたわみ量測定に変更(有効な方法に転換)
- [2] FRP車輪のひずみ量測定(ステアリング)
- [3] FRP車輪の走破性；走行試験(斜度10degのときスリップ率測定)
- [4] ステアリング時の負荷(電流)計測

[試験内容]

変形特性を持つ車輪の製作(厚み、FRPの調合をパラメータとした車輪を10個)を行う。また、製作した車輪の走行試験を行い、前進方向のたわみ(車輪径の60%以上が維持を確認)を把握する。十分なたわみを得られたことを確認したら、ステアリング性として、車輪内部にひずみゲージを搭載し、ひずみ量を車輪の回転位置(0-90度を5度間隔)ごとに測定していく。評価基準として、前進方向への走破性(斜度10degのときスリップ率が0.4以下)が維持されていること、ステアリング時におけるモータの負荷(電流計測)が初期負荷と比べて増加しないこと(目標値:50%以内)であること、ひずみ度合いが、初期ひずみに比べて増加しない(目標値:10%以内)ことを把握する(ステアリング性の確認)。これらの計測データにより機能の改善、材料やスケール調整により最適な材料と寸法を用いたステアリング抑制変形型車輪を開発する。総合的な結果として、材質、寸法、変形量、ステアリング特性についてデータベース化する。

☆比較車輪として

本研究にて開発したFRP車輪は、ベリリウム銅車輪と比較する。ベリリウム銅車輪は高い弾性変形効果を持ち、軟弱地盤移動用として高い斜面踏破性を示している。しかしながら、車輪のヨ一軸を回転した場合、ひずむ現象が確認されている。これは、自律ロボットとしては致命的である。ひずむことで車輪は、本来望んでいた方向に対して大きな誤差を持ってしまう。また、残留ひずみとなり、材料そのものに影響を与えてしまう。本研究では、このベリリウム銅車輪以上のステアリング特性(ひずみが小さい)のものを実験を通して模索する。

[試験実施状況]

- [1] FRP試験片の強度試験(たわみ量測定)→FRP車輪のたわみ量測定に変更(有効な方法に転換)

当初は試験片によりたわみ量の測定を行う予定であったが、車輪として導入を考えると円形状のものを直接評価するほうが有効であると言える。そこで、FRPを利用し、直接そのたわみ量測定を行った。その結果は、金属系の材料(ベリリウム銅合金)と同等レベルのものを製作することができ、十分に実験を行える水準に持って行けたと言える。

- [2] FRP車輪のひずみ量測定(ステアリング)

FRPの繊維方向や充填厚さをパラメータとして、14個製作し、その中で有効なたわみ量を創出

できる 6 車輪についてステアリング操作を行い、そのときのひずみ量測定を行った。実施にあたり、車輪には 2, 3.5, 5.0kg の荷重を与え、また、回転速度を 1, 5, 10deg/s として測定を行った。

[3] FRP 車輪の走破性 (斜度 10deg のときスリップ率測定)

[1], [2] の実験において、ベリリウム銅車輪のデータを閾値とした有効な車輪を用いて、軟弱地盤走行における走破性について試験を行った。試験内容は、軟弱地盤には豊浦砂を用い、環境として 10deg, 速度 10mm/s として測定を行う。

[4] ステアリング時の負荷 (電流) 計測

[2] の測定時に負荷測定として電流値の測定を行う。ひずみのデータによる電流値の推移を観察する。

◆高額設備の使用について

本研究では、50 万円以上の設備としてセンサーインターフェース (図 1) を購入した。これは、車輪表面に取り付けたひずみセンサの生データを取り入れて、そのデータを変換する機能も持つ。また、数チャンネルのデータの取り扱いにも有効である。このセンサーインターフェースを用いて、本研で取り扱っている車輪のひずみデータを取得した。

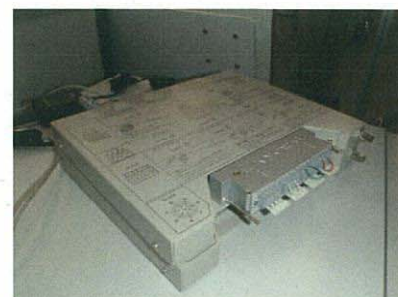


図 1 センサーインターフェース

(2) 得られた成果

本研究で試作した FRP 車輪について図 2 に示す。製作した FRP 車輪は繊維方法を円周方向、幅方向、クロスを持ち、そして材料をガラスとカーボン材を使用している。



(a) カーボンクロス



(b) ガラス、カーボンで製作した車輪

図 2 カーボンとガラス繊維で開発した FRP 変形車輪

表1 本研究で開発した変形特性を持つ車輪のリスト

ガラス

繊維方向	車輪名	仕様		変形力	採用/ 不採用
		材料	枚数		
①円周方向	FRP1	スタレマット#150	1枚	1.2Kg	○
		ガラスクロス#230	1枚		
②円周方向	FRP2	ガラスクロス#580(横糸を抜いたもの)	1枚	3.5Kg	○
		ガラスマット#450	1枚		
③幅方向	FRP3	スタレマット#150	2枚	1Kg	○
		ガラスクロス#230	1枚		
④幅方向	FRP4	ガラスクロス#580(縦糸を抜いたもの)	1枚	1.9Kg	○
		ガラスマット#450	1枚		
⑤クロス	FRP5	ガラスクロス#230	3枚	4Kg	×
⑥クロス	FRP6	ガラスクロス#230	4枚	5.5Kg	×
⑦斜め	FRP7	ガラスクロス#230	3枚	5Kg	×

カーボン

繊維方向	車輪名	仕様		変形力	採用/ 不採用
		材料	枚数		
⑧円周方向	FRP8	カーボンクロス(横糸を抜いたもの)	3枚	9Kg	×
		ガラスマット#300	1枚		
⑨幅方向	FRP9	カーボンクロス(縦糸を抜いたもの)	3枚	8Kg	×
		ガラスマット#300	1枚		
⑩クロス	FRP10	カーボンクロス	2枚	1.8Kg	○
⑪クロス	FRP11	カーボンクロス	3枚	6Kg	×
⑫クロス	FRP12	カーボンクロス	4枚	10Kg以上	×
⑬斜め	FRP13	カーボンクロス	2枚	2Kg	○
⑭斜め	FRP14	カーボンクロス	3枚	5.3Kg	×

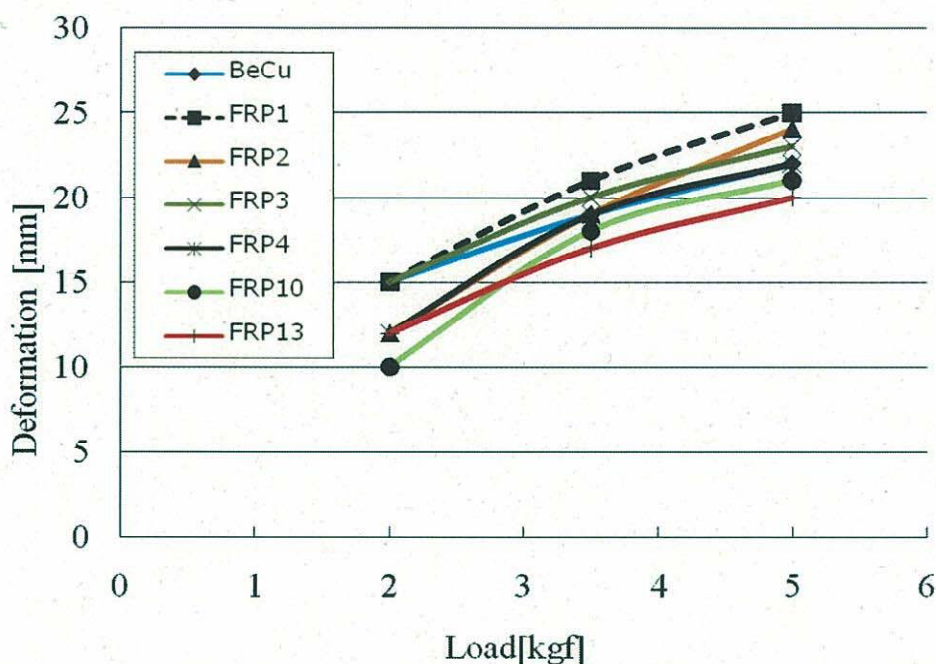


図 3 変形特性を持つ車輪のたわみ量

本研究で得られた成果について下記に記す。

[1] 車輪のたわみ量

図 3 に各車輪におけるたわみ量を示す。横軸は車輪に与えた荷重を示す。この結果より、FRP を用いても変形が可能であることを再確認し、FRP1, FRP2, FRP3, FRP4, FRP10, FRP13 の車輪についてひずみ量測定用車輪として採用した。

[2] 車輪のひずみ量測定

図 4 (a) - (c) に各車輪におけるひずみ量を示す。図は、2.0, 3.5, 5.0kg の荷重させた時の測定結果を示す。また、赤く太い線で示されたデータは、本研究の課題となったベリリウム銅で製作された車輪を示す。実際にベリリウム銅のステアリング時におけるひずみを定量的に取得できた。この値と試作した FRP 変形車輪の比較を行う。各荷重ごとにみると荷重が大きくなればなるほど、ひずみ量が大きくなることがわかる。これは、荷重が大きくなってくると車輪のたわみ量も大きくなり、車輪表面と砂面との摩擦が増大するために抵抗が大きくなりひずみ量が大きくなると言える。また、各荷重時における結果考察を以下に示す。

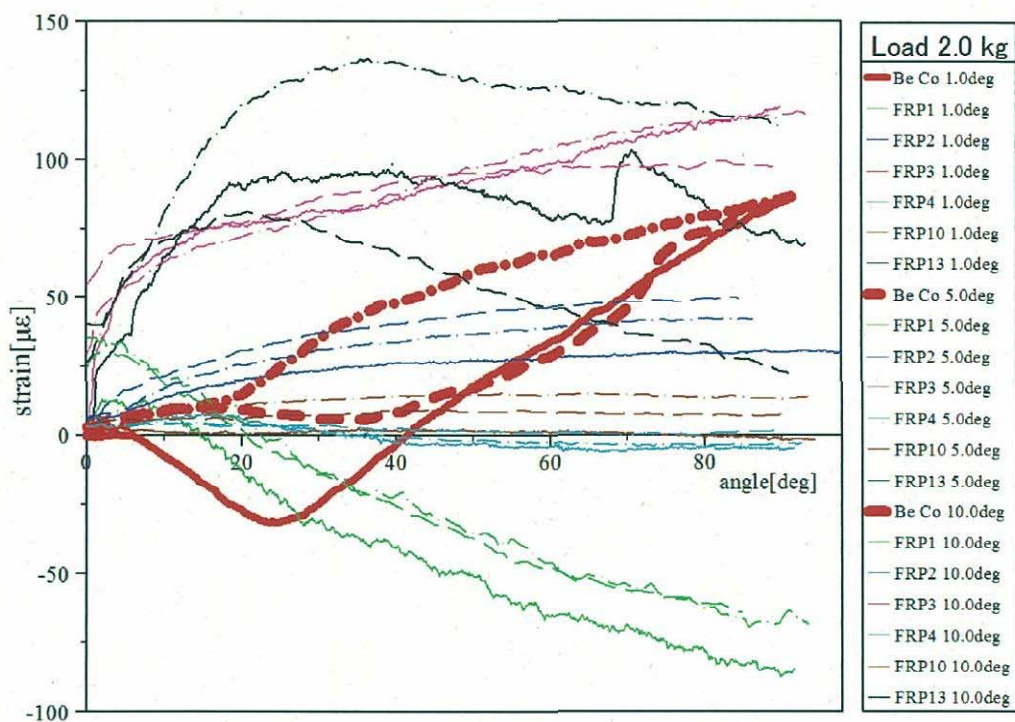
2.0kg の荷重をかけたとき、FRP2, FRP4, FRP10 の車輪については、ベリリウム銅よりも小さいひずみとなっている。特に FRP4 と FRP10 に関しては、大きなひずみの変化もない。この結果から FRP の繊維方向は横方向、またはクロスが良いということがわかった。FRP4 はクロスから縦糸を抜いたものだが、ガラスマットと組み合わせ製作している。ガラスマットは繊維がランダムにセットされている材質である。FRP10 のクロス車輪が良いという結果から、FRP4 にもクロスが存在する効果があると考えられる。一方、横方向、スタレマット、斜め繊維のものは大きなひずみ量となってしまった。

荷重 3.5kg 時 (図 4-(b)) では、FRP1, FRP2, FRP4, FRP10 がベリリウム銅よりもステアリング時の

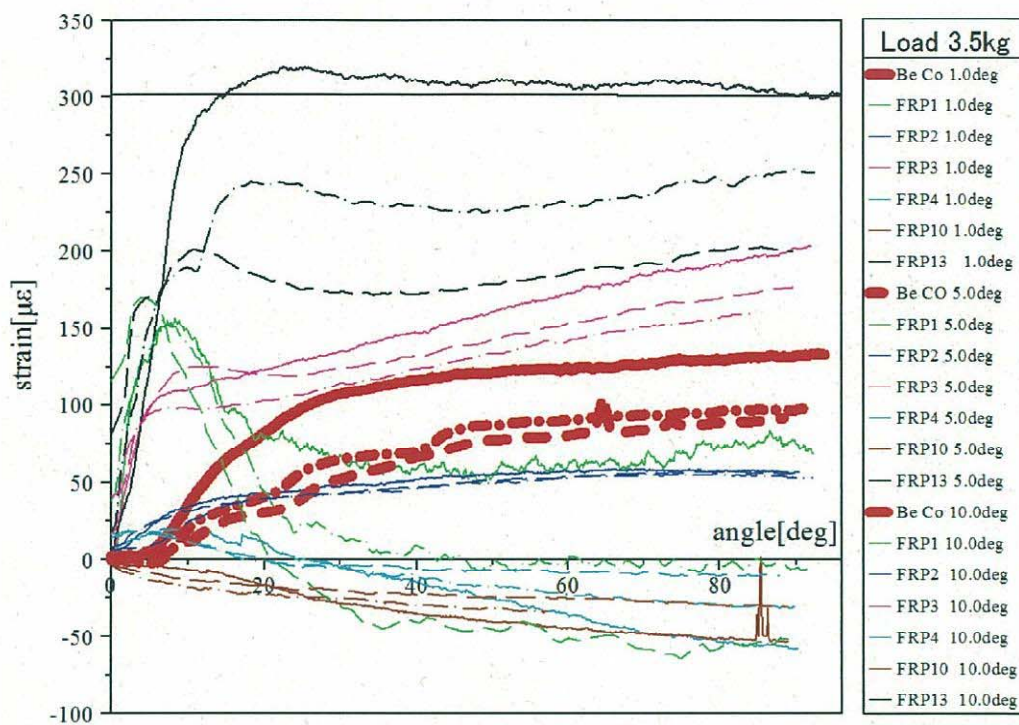
ひずみが小さい。しかしながら、FRP1に関しては20deg付近までの回転時に大きくひずんでいる。ステアリングを90deg付近まで行っとときには、ベリリウム銅よりも小さな値となっているが、大きなひずみを経験してしまうことは大きな問題があると考えられる。なぜならば、使用回数により劣化の影響が起きる可能性がある。FRP2に関しては、横糸抜いたクロス繊維とガラスマットの組み合わせで作られている。したがって、FRP4と同様にクロスする繊維質を持っている。

荷重 5.0kg 時 (図 4-(c)) では、FRP2, FRP4, FRP10 がベリリウム銅と比べて小さなひずみ量となっている。

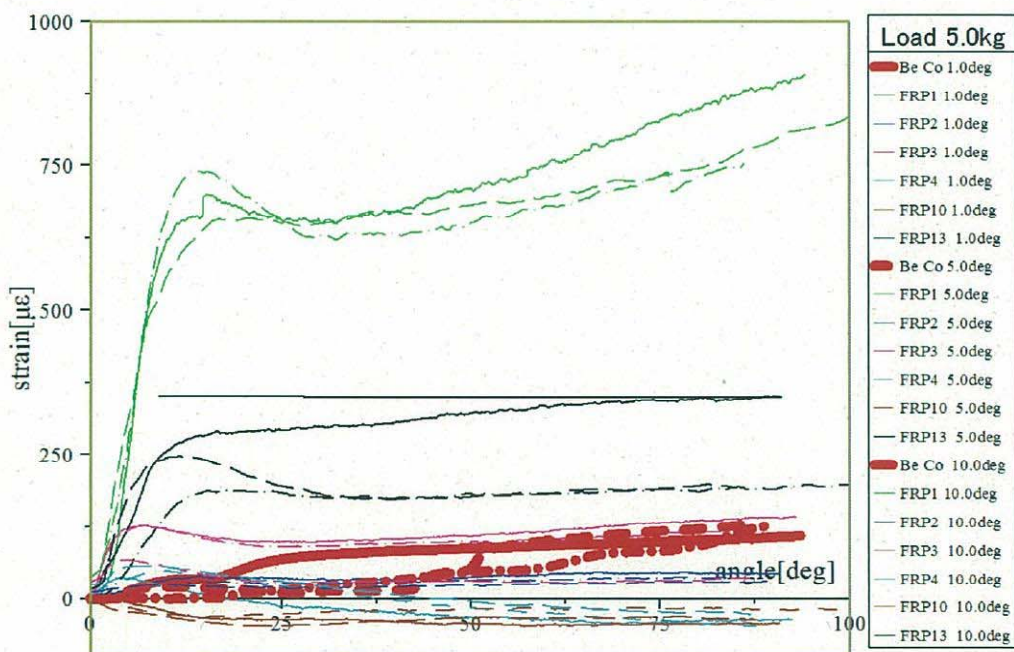
この結果からどの繊維方向を持つ車輪が有効であるかを示されている。繊維が円周方向やクロス方向を持つ車輪のほうが幅方向、斜め方向のものよりもひずみが小さい。また、上述したように、今回製作したFRP変形車輪には繊維方向に加えて、ランダム繊維であるガラスマットを重ね合わせている。したがって、クロスの要素を持つ車輪が有効であると考えられる。



(a) 荷重 2.0 kg



(b) 荷重 3.5 kg



(c) 荷重 5.0 kg

図 4 各荷重におけるひみず量

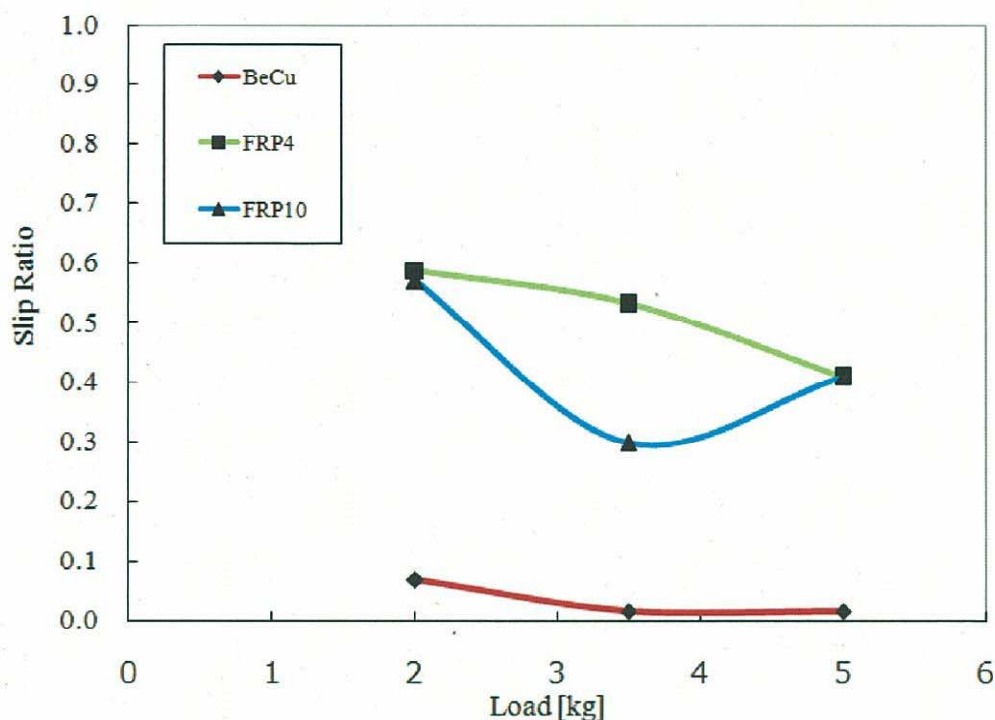


図5 変形特性を持つ車輪のスリップ率 (斜度 10 deg, 10 mm/s)

[3] 走行試験

図5に[2]で有効であった車輪 (FRP4, FRP10) を利用した走行試験の結果を示す。本研究で開発したFRP車輪は比較対象であるベリリウム銅車輪に比べて、大きい値となった。この原因として、車輪表面に搭載しているラグの影響やFRPの表面状態が鏡面となっているためにグリップ力の低下であると考えられる。たわみ量が同等レベルであったため、表面状態を揃えることにより、この問題は解決できると思われるが、今回の研究ではステアリング時のひずみ減少効果を主としているために、次回の課題とする。

[4] 負荷(電流)測定

図6にステアリング時の各車輪における電流値を示す。また、図は荷重2.0, 3.5, 5.0kgを加えた時の結果を示す。荷重が増加すると電流値が大きくなるということがわかる。これは、車輪の回転時における負荷が増加したためにこのような増加が起きる。結果より、ベリリウム銅と比べて、大きな負荷減少効果は見られなかった。つまり、回転時にモータが受ける抵抗は、FRP車輪を利用しても減少しないことを示している。しかりながら、FRP2, FRP10車輪のひずみ量の結果とこの電流値の結果からわかるようにひずみが小さくてもその抵抗をため込んでいるわけではなく、材料そのものが柔軟に対応していると予測する。

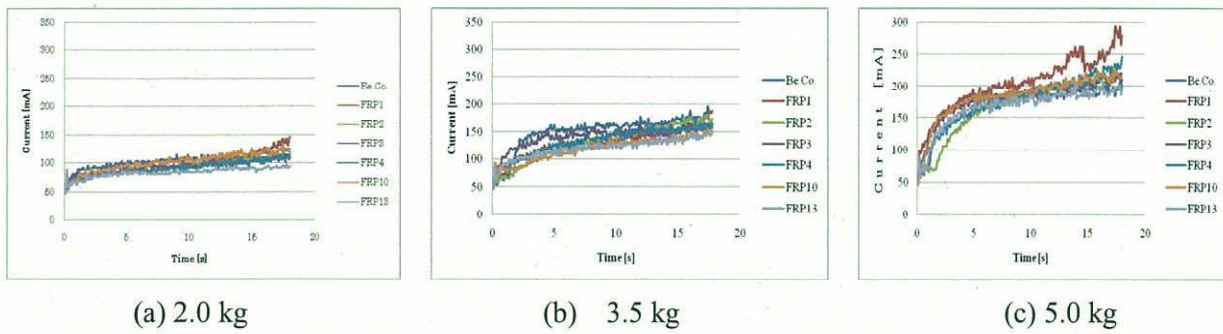


図 6 ステアリング時の電流値

[1]-[4]より、今回製作した変形車輪の中でクロス構造のものが変形を維持しつつ、ねじれ剛性が高いことがわかった。これにより、変形車輪がステアリング時に起きるひずみ対策として、有効なFRP構造を利用することで解消できることがわかった。

外部発表・特許出願等

* 今回の研究課題成果についてのみ、平成 21 年度中に掲載・発表・出願等したものをカウントしています。

項	目	数
① 発表論文	国内論文数	0
	海外論文数	0
② 口頭発表	国内発表数	0
	海外発表数	0
③ マッチングイベントへの参加(発表)	参加(発表)数	0
④ 展示会出展	出展数	0
⑤ 特許出願	国内出願数	0
	外国出願数	0
⑥ 掲載/放映 (採択記事は除く)	雑誌掲載数	0
	新聞掲載数	0
	テレビ放映数	0
⑦ 他事業への展開	採択数	0
⑧		

①発表論文

特になし

②口頭発表 (代表研究者以外の方が発表した場合のみ、発表者氏名と所属を記載しています。)

特になし

③マッチングイベントへの参加（発表）

（代表研究者以外の方が発表（説明）した場合のみ、発表（説明）者氏名と所属を記載しています。）

特になし

④展示会出展（③マッチングイベントを除く）

（代表研究者以外の方が説明した場合のみ、説明者氏名と所属を記載しています。）

特になし

⑤特許出願：(4) に記載。

特になし

⑥掲載・放映

特になし

⑦他事業への展開

特になし

(3) 今後の展開

下記の国際学会にて発表予定。

The Joint 9th Asia-Pacific ISTVS Conference and Annual Meeting of Japanese Society for Terramechanics,
September 27-30, 2010

下記の学会誌に投稿予定

・日本機械学会

今後の実用化に向けた活動（アクション）

実用化に向けて研究データを更に蓄積していきたい、ことと研究手法を変えてアプローチしていきたい

今後の研究活動について

実用化に向けて研究データを更に蓄積していきたい、

本結果（研究成果）と企業、他の研究機関などとの関係

共同研究先（企業、研究機関）を探している

(4) 知的財産権について

出願、出願予定のものを記載しています。

出願状況	出願予定 ・ 出 願
発明等の名称	
出願日	
出願番号	
出願人	
発明者(所属・役職)	

(5) 今後のフォローアップ等について (コーディネータ記載)

①本試験終了後1年後までに行う活動

- ・今回の研究において、変形型車輪のステアリング性に関する、ひずみ減少効果の基本的データは、採取できた。今後は、車輪のグリップ力(車輪表面のラグの影響及び FRP 表面状態)等についても更に研究を継続していく必要がある。そのため、本年度も JST 支援事業等に応募する。
- ・研究者が今までの研究成果を、学会・雑誌・発表会・展示会・等の手段で、広くアピール出来るようイベント情報提供等で協力する。

②本試験終了後3年後までに行う活動

- ・研究成果を、前項に記述しました種々のイベントや学会等で、継続的に世間に広報して認知度を高めていく。
- ・実用目的の試作機を作るべく、企業を含めた共同研究チームを発足させ、実用化研究への足がかりを作る。また、国等の支援事業へも積極的に応募提案を推進していく。

③本試験終了後3年以降(長期的)に行う活動

- ・企業化に向けた実用化研究をスタートさせ、軟弱地盤(災害地及び砂地帯等)環境に耐えうる対ステアリング性、対すべり性、耐熱性を有する車輪を装着したロボットの実現に取り組む。