平成２８年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「爪付車輪、バランスウェイトまたはダブルワイヤドラムによる姿勢制御機構、障害物センサを有する四輪操舵駆動斜面専用草刈機の開発」

研究開発成果等報告書

平成２９年５月

（事業実施期間：　平成２６年度～平成２８年度）

担当局　　九州経済産業局

補助事業者　公益財団法人　福岡県産業・科学技術振興財団

目　次

第１章　　研究開発の概要

１－１　研究開発の背景・研究目的及び目標
１－２　研究体制
　　（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）
１－３　成果概要
　１－３－１　平成２６年度
　　【１】四輪操舵駆動車両
　　【２】バランスウェイト技術
　　【３】ダブルワイヤドラム技術
　　【４】障害物検出技術
　１－３－２　平成２７年度
　　【１】四輪操舵駆動車両
　　【２】バランスウェイト技術
　　【３】ダブルワイヤドラム技術
　　【４】障害物検出技術
　　【５】運用試験
　１－３－３　平成２７年度
　　【１】四輪操舵駆動車両
　　【２】バランスウェイト技術
　　【３】ダブルワイヤドラム技術
　　【４】障害物検出技術
　　【５】運用試験
１－４　当該研究開発の連絡窓口

第２章　本論

【四輪操舵駆動車両】
【バランスウェイト技術】
【ダブルワイヤドラム技術】
【障害物検出技術】
【運用試験】

最終章　全体総括

第１章　研究開発の概要

１－１　研究開発の背景・研究目的及び目標

研究開発の背景・目的

交通インフラ（鉄道・道路）の盛り土や農地の斜面（法面）では、必ず除草を必要とする。現在、比較的斜度が緩やかな法面（斜度 30°以下）では、既存の歩行型草刈機や乗用型草刈機が除草を行っている。その際、ハンドル付き歩行型草刈機はハンドル長さにより斜面長が 1.5～2m 未満に制限され、乗用型は斜面および路面の凹凸等で不安定になるため、作業者の負担が大きくなる。推奨されている盛り土の斜度は 1：1.5（約 33°）であるが、農地などでは有効面積を増やすためより急勾配の法面が多く存在する。**既存の車両型草刈機は 30°以上斜面に適応していない**ため、人が草刈能力の低い刈り払い機を主に使用して対応している。そのため効率が低く、滑落に伴う事故も多い。特に交通インフラでは、安全確認（見張り）に多くの人員を割く必要が生じており、非常に効率が悪い。国土交通省の盛り土勾配規格は 1:1.5～1:1.8（33°～29°）であり、35°まで対応できる斜面専用草刈機で満足できるが、有効面積確保のため守られていない法面も多い。そのため、60°まで対応できる急斜面専用草刈機も必要となる。

このような課題（エンドユーザーである鉄道・道路のメンテナンス会社及び農業従事者のニーズ）を背景に、**草刈機を従事者へ貸与しているレンタル会社や商社には、斜面での操作性が高く、安全な遠隔操作方式の半自動走行斜面用草刈機を商品として取り扱いたいという大きなニーズがある（川下企業のニーズ）。**

そこで本事業では、①効率的な走行軌跡を得られる**【四輪操舵駆動車両技術】**、②斜面上で安定した走行、作業が行える**【バランスウェイト技術】**、③急斜面でも安全に作業が行える**【ダブルワイヤドラム技術】**、④走路上の金属や石などの障害物を検出する**【障害物検出技術】**を確立し、低価格、高効率で安全な斜面専用草刈機を開発する。

表１　研究開発の概要

保有技術	本事業で研究する新技術	製品（事業化）
無線による遠隔操作技術 （筑水キャニコム）	【1】四輪操舵駆動車両 【2】バランスウェイト技術 【4】障害物検出技術	 バランスウェイト方式草刈機 （斜度35°未満）
	【1】四輪操舵駆動車両 【3】ダブルワイヤドラム技術	 ダブルワイヤドラム方式草刈機 （斜度60°未満）

表１は、本事業における研究開発の概要を示したものである。既に㈱筑水キャニコムが商品化している無線機による車両制御技術に、本事業で開発する、①【四輪操舵駆動車両技術】、②【バランスウェイト技術】、③【ダブルワイヤドラム技術】、④【障害物検出技術】を加え、表に示すような技術の組合せにより、緩斜面用のバランスウェイト方式草刈機（斜度 35°まで対応）、急斜面にも対応できるダブルワイヤドラム方式草刈機（斜度 60°まで対応）を開発する。

その際、安価な機器構成による姿勢制御技術を確立することにより、低価格化を実現する。また、本研究開発を通じて、新たに全体システムとしての特許、および周辺技術特許も多数取得できる見込みであり、競合他社に対し大きなアドバンテージ（模倣困難性）を有した製品となる。

○新技術を実現するために解決すべき課題

【１】四輪操舵駆動車両技術

四輪同位相、逆位相操舵切替え機能の開発、車体の高剛性化と軽量化、斜面でも滑りにくい爪付き車輪の開発による登坂角度の向上

【２】バランスウェイト技術

車体総重量とウェイトとなるオイルタンク容量の適正値の検討、および横移動可能な斜面角度の向上

【３】ダブルワイヤドラム技術

位置・速度とワイヤの繰出し・引込み量の同期制御技術の確立と運用可能な勾配角度の向上

【４】障害物検出技術

石、植物、ケーブルを検出区別するためのセンサ組み合わせと信号処理技術の確立

【５】運用試験

実フィールド（斜面）での【1】～【4】の課題解決技術の確認

○高度化指針

（ハ）機械制御に係わる技術に関する事項

１　機械制御に係る技術において達成すべき高度化目標

（４）川下分野特有の事項

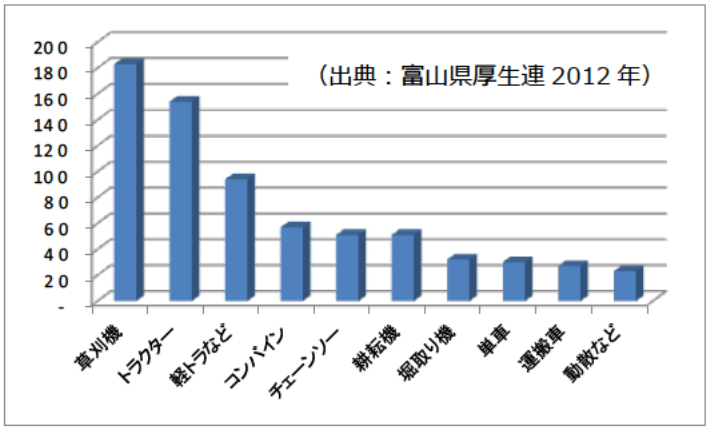
４）その他の分野に関する事項

ｂ．ロボット分野に関する事項

①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ア．複雑動作における厳格な安全性・信頼性

斜面における草刈に使用されている機械は、刈払機、歩行型が主であるが、刈払機は草刈能力の点と安全面で、歩行型は作業可能範囲である斜辺長さ（2m未満）と能力の点で課題がある。また斜面角度と作業者の負担度においても課題があり、これらを解消する斜面専用草刈機（バランスウェイト方式とダブルワイヤドラム方式）を商品化する。



グラフ１．全国農機事故の機種と割合

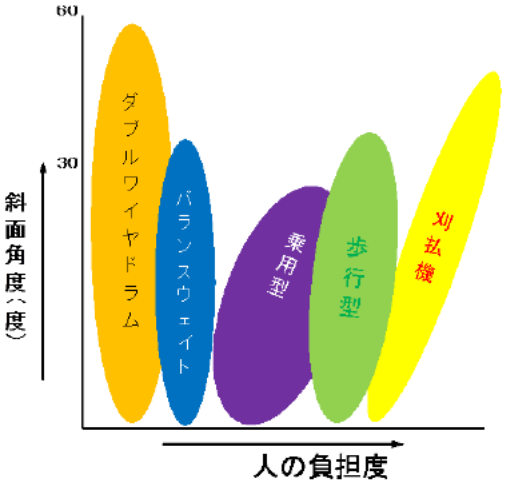
グラフ１で示すように、近年の農機事故の機種では草刈機が１位であり、18%以上を占める。また、草刈機の事故の 40%以上が斜面におけるものである。

グラフ２は一般的に言われる、斜面角度と作業者の負担度の関係を、作業機別に比較したもので、斜面で最も利用されている刈払機の負担度が高い。乗用型も斜面角度が大きくなるにつれ、恐怖によるプレッシャーで負担度が増大する。農機事故だけでなく、交通インフラ

（鉄道・道路）などの斜面の草刈作業についても同様の課題がある。

遠隔操作方式で半自動走行機能を有する斜面専用草刈機（バランスウェイト方式、ダブルワイヤ方式）を開発・販売することにより、安全性を確保でき、かつ作業者の負担度を大幅に軽減できる。

以上のような背景から、**草刈機を従事者へ貸与している大手レンタル会社や商社には、斜面での操作性が容易で、安全な遠隔操作方式の半自動走行斜面用草刈機を商品として取り扱いたいという大きなニーズがある。**



グラフ２．斜面角度と人の負担度

高度化目標

ウ．機械制御等の操作性向上

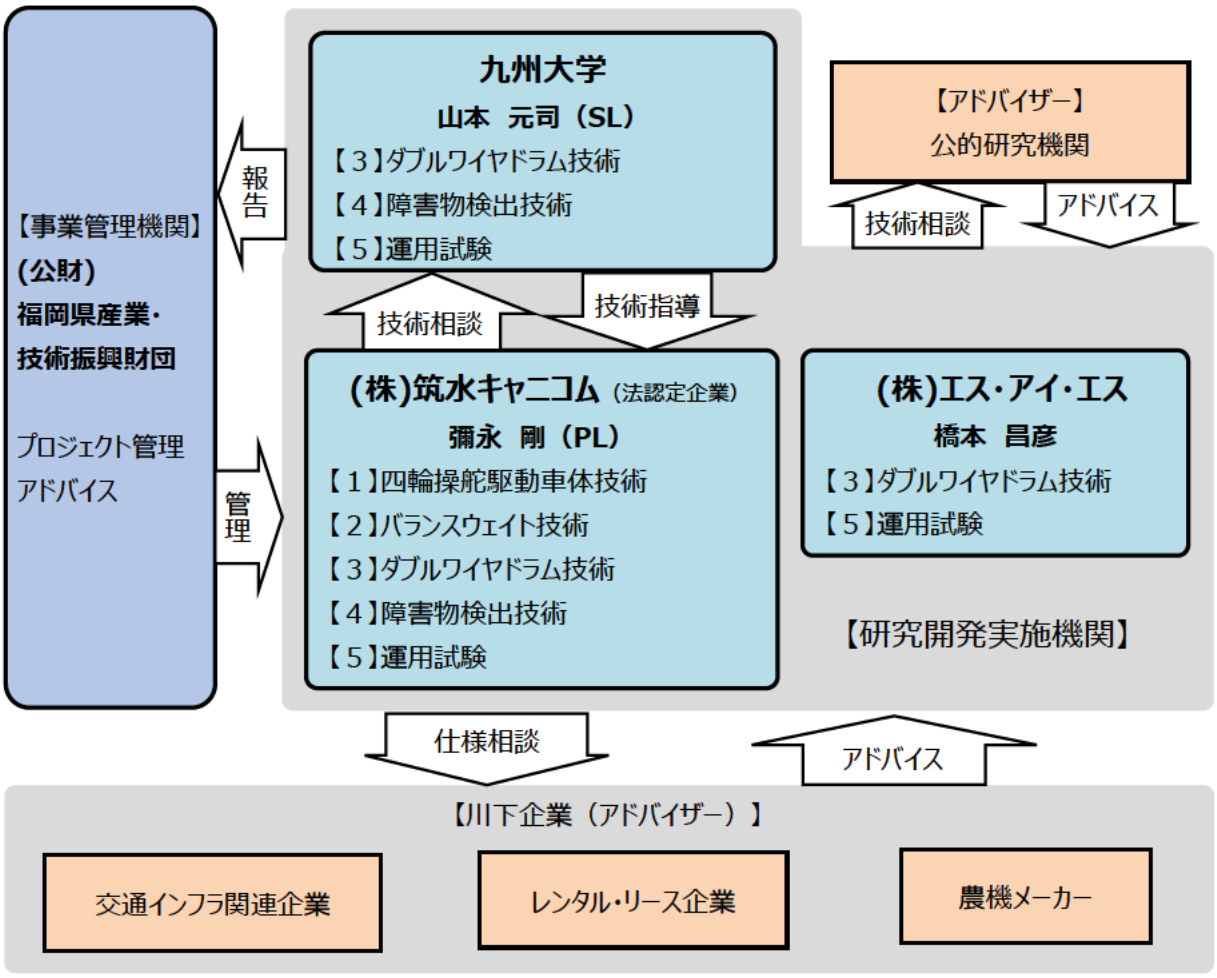
斜面における安全で効率の良い作業を実現するため、【1】四輪操舵駆動車両、【2】バランスウェイト技術、【3】ダブルワイヤドラム技術、【4】障害物検出技術を搭載した斜面専用草刈機を開発するため、以下のサブテーマと技術目標値を設定した（表２）。

表２　サブテーマと技術目標値

サブテーマ名	目標値		
	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度
【1】 四輪操舵駆動車両	試作車両製作	登坂角度と車体総重量	
	走行部機構完成	車両再設計・製作 30°以上 600 kg以内	車両再設計・製作 35°以上 570 kg以内
【2】 バランスウェイト技術	機構装置製作	登坂・横移動可能勾配角度（°）	
	バランスウェイト機構完成	30 以上	35 以上
【3】 ダブルワイヤドラム技術	装置製作	登坂・横移動可能勾配角度（°）	
	ワイヤドラム機構完成	45 以上	60 以上
【4】 障害物検出技術	機構装置製作	石と金属の誤検出率（%）	
	障害物検出機構完成	30 以下	10 以下
【5】 運用試験		評価	
		【1】に【2】～【4】を搭載して、試験場にて目標値を確認	フィールドにおいて【1】～【4】目標値の確認

１－２　研究体制

（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）



１－３　成果概要

本事業では、斜度 35°まで対応可能なバランスウェイト方式草刈機、斜度 60°まで対応可能なダブルワイヤドラム方式草刈機の要素技術として、【四輪操舵駆動車両技術】、【バランスウェイト技術】、【ダブルワイヤドラム技術】、【障害物検出技術】を開発した。

１－３－１　平成２６年度

【１】四輪操舵駆動車両

「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」の開発

- 斜面走行を目的とした走行部機構として、「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」を設計した。
- 設計した「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」の試作を実施した。
- 試作した「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」の動作確認を実施した。

【２】バランスウェイト技術

「バランスウェイトユニットⅠ型」の開発

- 斜面走行時の車両を安定化するためにバランスウェイトを回動して重心位置を変える機構として、「バランスウェイトユニットⅠ型」を設計した。
- 設計した「バランスウェイトユニットⅠ型」の試作を実施した。
- 試作した「バランスウェイトユニットⅠ型」の動作確認を実施した。

【３】ダブルワイヤドラム技術

「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」の開発

- ２本のワイヤの繰り出し、巻取りの量を制御することで、急斜面で走行中の車両の進行方向と速度に同期することが可能となる機構として、「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」を設計した。
- 設計した「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」の試作を実施した。
- 試作した「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」の動作確認を実施した。

【４】障害物検出技術

「障害物検出ユニットⅠ型」の開発

- 大きな障害物を優先的に排除し、地面の凹凸に対応可能な先端部の機構として「障害物検出ユニットⅠ型」を設計した。
- 設計した「障害物検出ユニットⅠ型」の試作を実施した。
- 試作した「障害物検出ユニットⅠ型」の動作確認を実施した。
- 外力検出により障害物であるか否かを識別する方法を検討した。

１－３－２　平成２７年度

【１】四輪操舵駆動車両

「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」の評価

- 「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」を評価するために、走行制御ソフト、遠隔操作用コントローラを開発した。
- 走行制御ソフトを「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」に組込み、単体制御デバッグを実施した。
- 屋内に仮設斜面（傾斜角度 20°）を設置し、登坂性能等を評価した。

「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」の開発

- ユーザーニーズに沿った商品開発のため、目標値とした車体総重量の変更を行った。
- バランスウェイト技術にて新機構を開発し、その機構を搭載可能な車両として、「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」の設計を行った。
- 設計した「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」の試作を実施した。
- 「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」の走行制御ソフトを開発した。
- 試作した「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」の動作確認を実施した。

「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」の評価

- 「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」に走行制御ソフトを組込み、走行デバッグを実施した。
- 屋内の仮設斜面（傾斜角度 30°）にて登坂可能であることを確認した。

【2】バランスウェイト技術

「バランスウェイトユニットⅠ型」の評価

- 新開発の機構を採用したため、「バランスウェイトユニットⅠ型」の評価は、モータによる旋回機構の動作確認を実施した。

「バランスウェイトユニットⅡ型」の開発

- 計画当初のエンジンオイル用タンクをバランスウェイトとして利用する機構は、商品化を考慮した場合の品質の保証方法や、部品コストへの影響が大きくなるため、中止した。
- 斜面の傾斜角に応じてエンジン自体が可動して水平を保ち、傾くことで発生する重心移動を利用して車両のバランスを保つ新たな機構として、「バランスウェイトユニットⅡ型」を設計した。
- 設計した「バランスウェイトユニットⅡ型」の試作を実施した。
- 「バランスウェイトユニットⅡ型」の機構制御ソフトを開発した。

「バランスウェイトユニットⅡ型」の評価

- 「バランスウェイトユニットⅡ型」を「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」に組込み、制御ソフトのデバッグを実施した。
- 屋内の仮設斜面（傾斜角度３０°）にて斜面を登坂、横移動し、走行可能であることを確認した。

【3】ダブルワイヤドラム技術

「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」の評価

- 評価実施のため、ドラム用モータ及び、ワイヤを制御するソフトウェアを開発した。
- 制御ソフトを「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」に組込み、単体デバッグを実施した。
- 「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」に搭載し、ユニット間の同期制御デバッグ及び評価を、屋内に設置した仮設斜面（傾斜角度 20°）で実施した。

「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」の開発

- 「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」開発時に判明した課題改善のため、新機構として「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」を設計した。
- 設計した「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」の試作を実施した。
- 評価実施のため、「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」の制御ソフトウェアを開発した。

「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」の評価

- 「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」に制御ソフトを組込み、機構の単体デバッグを実施した。

・「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」と「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」を組合せた状態でデバッグを実施した。
・屋内の仮設斜面（傾斜角度 45°）にて斜面を登坂、横移動し、走行可能であることを確認した。

【4】障害物検出技術

「障害物検出ユニットⅡ型」の開発

・先端に障害物が衝突した際に、センサへ安定した値が得られる機構として「障害物検出ユニットⅡ型」を開発した。
・周波数解析による障害物判別アルゴリズムを開発した。

「障害物検出ユニットⅡ型」の評価

・「障害物検出ユニットⅡ型」に石やケーブルを衝突させて、データを取得した。
・衝突時のデータに周波数解析を行い、石やプラスチックなどの障害物の判別可能であることを確認した。
・技術目標値である「石やプラスチックなどの誤検出 30%以下」を達成した。

【5】運用試験

・平成２６年度の試作機を、平成２７年度の技術目標値に則して評価し、課題等を抽出。得られた知見は各サブテーマの試作機開発へ反映させた。
・平成２７年度の試作機の評価を行うため、室内に仮設斜面を設置し、技術目標値に則して評価を実施した。
・評価を行うため、室内に仮設の斜面を構築した。
・評価の結果、各サブテーマの技術目標値が達成されたことを確認した。

１－３－３　平成２８年度

【1】四輪操舵駆動車両

「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」の評価

・屋外での評価実施のため、遠隔操作用コントローラを無線化した。
・屋内では機能していた各機構だが、屋外での走行テストでは操舵軸のトルク不足によって車輪の転舵ができなくなったり、車軸の強度不足によって走行ができなくなったりするなどの問題点、課題等が頻発し、その改善設計及び試作を実施しながら評価を進めた。
・爪付き車輪では、実フィールドでの 20°以上の斜面登坂が不可能であることが判明したため、乗用型草刈機用のゴムタイヤの装着を可能にするなどの対策を行い、改善効果を確認した。

「四輪操舵駆動車両Ⅲ型」の開発

・「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」の評価にて抽出された課題等の対策設計、試作を実施した。
・上記対策を施し、「四輪操舵駆動車両Ⅲ型」として完成させた。

「四輪操舵駆動車両Ⅲ型」の評価

・各ユニット間の同期制御を行うため、屋内でのデバッグを実施した。
・屋外での走行、登坂テストにて、35°斜面の登坂が可能であることを確認した。
・車体の総重量が、目標値の「570 ㎏以下」であることを確認した（ダブルワイヤドラムユニットⅢ型搭載時）。

【2】バランスウェイト技術

「バランスウェイトユニットⅡ型」の評価

・評価を屋内仮設斜面にて実施し、車両は 30°の斜面を登坂可能であり、また、横移動した際にもエンジンは水平を保ったまま走行可能であることを確認した。

「バランスウェイトユニットⅢ型」の開発

・「バランスウェイトユニットⅡ型」の評価にて抽出された問題点に対して、対策設計による改良、改善を行い、「バランスウェイトユニットⅢ型」を完成させた。
・走行時の車両進行方向の情報を得ることで安全に操作することが可能となるように、方位センサを搭載した安全装置ユニットを開発した。

「バランスウェイトユニットⅢ型」の評価

・屋外での走行テストの結果、目標値とした 35°斜面での登坂、横移動が可能であることを確認した。

【3】ダブルワイヤドラム技術

「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」の評価

・平成２７年度実施した評価により機構の見直しが必要であることが判明し、「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」のワイヤ制御機構を併せ持った新たな機構について、その有効性を確認するため、先行して新機構に用いる滑車ユニットを試作した。
・「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」と新機構用の滑車ユニットを組合せて動作確認を実施した結果、改善効果ありと判断し本機構を採用することとした。

ダブルワイヤドラムユニットⅢ型」の開発、試作

・滑車が主索ワイヤ上で滑って滑走しなくなることの対策として、Ⅰ型で考案していた方式のワイヤとアンカーの係合を追加し、「ダブルワイヤドラムユニットⅢ型」として開発を実施した。
・フレーム、減速機など構成部品の軽量化を行った。
・試作機「ダブルワイヤドラムユニットⅢ型」を完成させた。

「ダブルワイヤドラムユニットⅢ型」の評価

・試作機「ダブルワイヤドラムユニットⅢ型」の完成後、単体デバッグを実施した。
・車両へ搭載し、ユニット間の同期を確認し、組合せデバッグを実施した。
・組合せデバッグ完了後、屋外での走行テストを実施した。
・屋外テストにて、30°斜面での登坂、横移動が可能であることを確認した。
・最終的な技術目標値 60°については、事業期間内に実施できなかった。

【4】障害物検出技術

「障害物検出ユニットⅢ型」の開発

・外力検出のセンサとして、加速度センサを用いた技術の開発を行った。
・耐久性の高い先端部機構を開発した。
・障害物検出アルゴリズムを構築した。
・判別結果を可視化するために、ＬＥＤを用いた表示機能の開発を実施した。
・上記を基に、「障害物検出ユニットⅢ型」を完成させた。

「障害物検出ユニットⅢ型」の評価

・研究室内での単体デバッグを実施し、目標とした判別結果となることを確認した。
・「四輪操舵駆動車両Ⅲ型」に搭載し、実際に走行中に障害物へ衝突させ、模擬テストと同様の判別結果が得られることを確認した。

【5】運用試験

評価にて課題等を抽出し、各サブテーマの試作機開発へ反映させた。

- 平成２８年度の各サブテーマの試作機を、技術目標値に則して評価を実施した。
- 屋内に設置した仮設斜面を使用してデバッグ等の評価を実施した。
- 屋内でのテストにて確認できたユニットから屋外にて登坂評価などを実施した。
- 評価の結果、サブテーマ【1】、【2】、【4】の技術目標値が達成されたことを確認した。
- サブテーマ【3】については、事業期間内の目標値達成ができなかった。

１－４　当該研究開発の連絡窓口

会社名　株式会社筑水キャニコム
所属　　コラボ事業室　ロボタグループ
氏名　　彌永　剛
連絡先　電話番号　0943-75-2589
　　FAX 番号　0943-75-5505
　　E-mail　　t_yanaga@canycom.co.jp

第2章　本論

【１】四輪操舵駆動車両

平成２６年度

「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」の開発

斜面走行を目的とした走行部機構として開発した「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」の内容を以下に示す。

軽量で省スペースとするため、駆動軸、操舵軸を同軸上に配置したホイール支持機構を開発した。斜面での走行性を向上するために、滑りにくくする目的で車輪に鋼板製の爪を配置した爪付き車輪を開発した。駆動用トランスミッションは油圧伝動装置（HST）を採用したが、仕様や形状、寸法を満足するものが市販品では選定できなかったため、筑水キャニコムにて新規開発を行った。車両の走行制御及び各ユニット間通信を行うための制御ユニットを開発した。斜面での連続運転を可能にするために、エンジンオイル循環方式がウェットサンプ方式のエンジンを探したが、車両に搭載可能で仕様を満足するものがなかったため、小型飛行機用２サイクルエンジンを選定した。

以上の開発内容を踏まえて試作を実施し、「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」として完成させた（写真１）。完成後は各機構部位の動作確認を行い、以降のデバッグ及び評価が問題なく実施できることを確認した。

写真１　　四輪操舵駆動車両Ⅰ型

平成２７年度

「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」の評価

走行制御ソフトの開発を進めるにあたり、エンジンの振動などの外乱要因による誤動作等の発生をなくすため、原動機をモータに変更した。また、試作機の遠隔操作用コントローラ（有線）を製作した。

走行制御ソフトを「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」に組込み、走行制御のデバッグを実施し、走行制御ソフトにより各機構が制御できていることを確認した。

走行制御デバッグの完了後、屋内の平地にて機構及び走行制御の評価を行った。平地での評価後には、屋内に設置した仮設斜面（傾斜角度20°）にて、登坂や斜面上での走行性能を確認し、駆動系統の機械的な強度不足や HST 操作レバーの保持力不足など、試作機設計に反映させるべき問題点や課題等を抽出した（写真２）。

写真２　　仮設斜面での評価状況

「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」の開発

「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」の開発を進めるにあたり、よりユーザーニーズに沿った商品を開発するために、技術目標値とした車体総重量の目標値を 600 ㎏以下とした。（平成２８年

度は 570 ㎏以下)。

バランスウェイト技術では、エンジン自体が可動して水平を保つ新機構を開発する方針としたため、その機構が搭載可能となる車両設計を行った。

「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」では、操舵機構を４輪独立した制御とするために４台の操舵用モータを使用したが、「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」ではコスト低減と軽量化のため、操舵用モータ２台で操舵制御が可能な機構を開発した。駆動用ミッションである HST の制御用として「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」では市販のサーボモータを使用したが、分解能が低く、必要な制御精度が得られなかったことや、機械的な強度も不足していたことから、専用の制御用サーボモータを開発した。

写真３　　四輪操舵駆動車両Ⅱ型

以上を踏まえ、「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」を試作し、完成させた（写真３）。完成後は各機構部位の動作確認を行い、以降のデバッグ及び評価が問題なく実施できることを確認した。

「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」の評価

「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」に対して新たに採用した機構に合わせて、制御ソフトを修正し、単体制御のデバッグを実施した。「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」と同様に平地での走行、操舵制御の実施し、開発時に設定した仕様との整合を確認した。平地での性能確認後、屋内の仮設斜面（傾斜角度 30°）にて登坂テストを行い、登坂可能であることを確認した（写真４）。

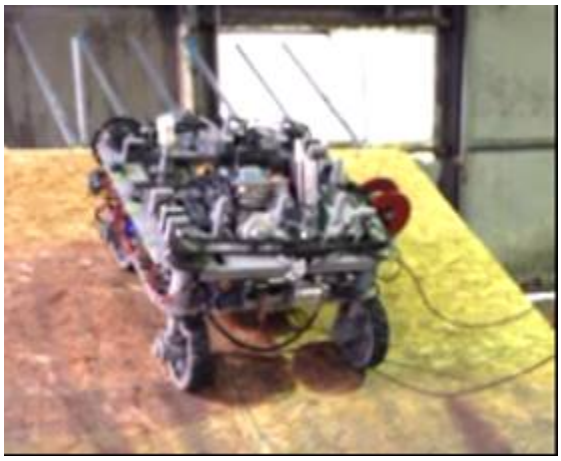


写真４　30°斜面の登坂状況

平成２８年度

「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」の評価

屋内での評価は仮設斜面にて実施し、斜面上での走行時に発生する問題点や課題を抽出した。斜面を等高線に沿って走行する際や斜面を下る際に、駆動系統の機械的な強度不足による不具合や問題点が発生し、その対策、改善を実施した。

結果、屋内での走行試験において、平成２８年度の目標値である「登坂可能勾配角度 35°以上」を達成し、横移動も問題ないことが確認できた（写真５）。また、屋外での走行テストを実施するため、有線としていた遠隔操作用コントローラを無線化した。

写真５　30°斜面の走行状況

屋外での走行テストに関しては、まずは平地及び約 10°程度の緩斜面にて評価を開始したが、屋内では機能していた各機構が、不具合や問題点、課題等が頻発した。特に、操舵系

統については、不整地での操舵に必要なトルクが不足し、車両の制御基板への電源供給まで影響が及び、走行が不可能となる不具合が発生した。対策として操舵用モータ減速機の減速比を上げ、十分なトルクを得ることができるように改良するとともに、操舵用モータ用のバッテリーを追加した。

屋外の平地での走行テスト及び改善効果の検証完了後は、約 20°程度の斜面での登坂テストを実施したが、開発した爪付き車輪では実フィールドでの 20°以上の斜面登坂が不可能であることが判明した。地盤の状態にも起因するが、この車輪では幅が狭いため、接地圧が高く、また駆動力を路面に伝えるトラクションが不足し、斜面の途中でスリップして、それ以上進まず、その場にとどまってしまう状況に陥った。この対策として、乗用型草刈機に使用しているラグ付きゴムタイヤを装着したところ、30°の斜面まで登坂することが可能となった。

「四輪操舵駆動車両Ⅲ型」の開発

「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」にて実施した屋内外での評価の結果、抽出された課題等に対して改善、対策の設計を行い、試作を行った。30°以上の登坂テストではラグ付きタイヤでも登坂できなかったため、車輪軸に同タイヤを２本装着可能とし、さらに軽量化したハブの開発を行った。これらの対策及び改善の効果が確認され、「四輪操舵駆動車両Ⅲ型」として完成させた。

「四輪操舵駆動車両Ⅲ型」の評価

「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」で実施した屋外での登坂テストでは 30°以上の登坂はできなかったが、ダブルタイヤ化した「四輪操舵駆動車両Ⅲ型」では 35°の斜面登坂が可能となり、技術目標値である登坂可能勾配角度 35°以上を達成した（写真６）。

各ユニット間の同期制御を行うため、屋内でのデバッグを実施。「障害物検出ユニットⅢ型」との同期も問題はなく、その後の評価においても目標値達成を確認できた。

一方、「ダブルワイヤドラムユニットⅢ型」との同期確認では、車体側から送るデータが、これまで実施した各評価によって発生した車体の歪み等によって、正しい値を出力できず、同期ができなかった。この対策として正しい値を出力できるよう部品を追加した結果、同期することが確認できた。

また、ダブルワイヤドラムユニットⅢ型を搭載時、車体の総重量は 570 ㎏以下であることを確認し目標を達成した。

写真６　　35°斜面の登坂状況

【２】バランスウェイト技術

平成２６年度

「バランスウェイトユニットⅠ型」の開発

斜面走行時の車両を安定化させるため、オイルタンクを錘として旋回移動させて、車両の重心位置を山側へ移動することができる機構を「バランスウェイトユニットⅠ型」として開発した。オイルの供給は、斜面での連続運転が可能となるようにドライサンプ方式とし、オイルタンクは外部に配置する設計とした。オイルタンクをバランスウェイトとして機能させるため、車両重心位置との距離や重量をシミュレーションし、アーム長や重量、容量などを決定した。オイルタンクは左右無限に旋回可能とし、同様に障害物検出機構を取付けるため

の支持機構も旋回する構造として可動部を開発した。
　以上の開発内容を踏まえ、「バランスウェイトユニットⅠ型」を完成させ、オイルタンク、障害物検出バンパ用の旋回機構の動作確認を実施し、部品間の干渉や旋回速度に問題がないことを確認した。

平成２７年度

「バランスウェイトユニットⅠ型」の評価

　当初計画していた「バランスウェイトユニットⅠ型」では、エンジンへのオイル供給をドライサンプ方式に改造する必要があり、商品化を考慮した場合、コストや品質保証に問題があることが判明したため、Ⅱ型には、エンジンを傾斜させる新たな機構を採用する方針とした。したがって、Ⅰ型の評価は旋回機構の動作確認を実施するまでとした。

「バランスウェイトユニットⅡ型」の開発

　Ⅱ型の開発においては、上述のように当初の計画を変更して、エンジンでバランスをとる機構を採用することとした。
　そのため、エンジンには汎用性のある４サイクルエンジンを選定し、エンジン自体が可動して水平を保つことで、斜面における連続運転を可能とし、また、これが傾くことで発生する重心移動を利用して車両のバランスを保つ機構とし、「バランスウェイトユニットⅡ型」を設計した。この設計変更に伴い、障害物検出バンパを旋回するための機構も、新たに開発を行った。また、「バランスウェイトユニットⅠ型」に合わせて開発していた制御ソフトも機構変更に合わせて修正を行った。

写真７　バランスウェイトユニットⅡ型
（エンジン回動機構）

「バランスウェイトユニットⅡ型」の評価

　試作機完成後、エンジン回動機構（写真７）は「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」の原動機として組込み、「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」も併せて、動力伝達系統の動作を確認した。また、傾斜センサを取付け、エンジン回動機構がセンサの傾きに応じて回動することを確認した。なお、障害物検出バンパ回動機構は単体で、制御ソフトのデバッグを実施した。
　動作確認及びデバック後の評価は、屋内の仮設斜面にて実施した。車両が 30° の斜面を登坂、横移動した際に、エンジンは水平を保ったまま車両の原動機として稼働し、車両も走行可能であることを確認した。

平成２８年度

「バランスウェイトユニットⅡ型」の評価

　「バランスウェイトユニットⅡ型」のエンジン回動機構の評価は、「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」と併せて屋内の仮設斜面にて実施した。障害物検出バンパ回動機構も「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」に搭載した上で障害物検出バンパを取付け、障害物検出バンパの障害物判別アルゴリズム構築に必要なデータ取得実験とも併せて評価を行った。結果、障害物への衝突時に障害物バンパの取り付け部に変形が見られたため、補強部品を追加する対策を行った。

「バランスウェイトユニットⅢ型」の開発

　「バランスウェイトユニットⅡ型」の評価にて抽出された問題点に対して、エンジン回動

ユニットとフレームを結合している部品の補強などの対策設計による改良、改善を行い、「バランスウェイトユニットⅢ型」を完成させた。

また、走行時の車両進行方向の情報を得ることで安全に操作することが可能となるように、方位センサを搭載した安全装置ユニットを開発した。

写真８　　35°斜面　走行状況

「バランスウェイトユニットⅢ型」の評価

屋外の 35°の斜面にて走行テストを実施した結果、斜面の勾配角度に応じてエンジンを水平に保ち、車両の原動機として稼働、走行可能であることを確認し、技術目標値「登坂、横移動可能勾配角度 35°以上」を達成した（写真８）。

【3】ダブルワイヤドラム技術

平成２６年度

「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」の開発

車両の進行方向と速度に同期して、２本のワイヤの繰り出し、巻取りの量を制御することができる機構を「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」として開発した（写真９）。

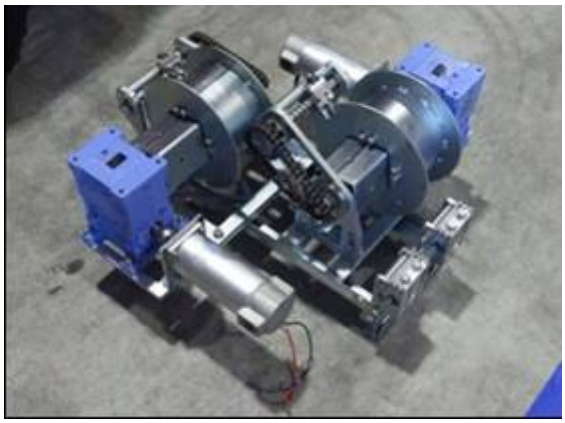


写真９　ダブルワイヤドラムユニットⅠ型

計画当初はワイヤを巻き付けるドラムを比較的大きいもので検討していたが、設計の段階で中心軸の回転トルクが異常に大きくなることが判明し、これを満足する強度を確保するには重量が増すことになるため、ドラム径を小さくし、軽量化した新たな構造とした。また、小径化したワイヤドラムの寸法に合わせた整列巻取り機構を開発した。ワイヤドラムの原動機には制御性の良いサーボモータを選定し、そのモータ動力を伝達する減速機は、ワイヤからの外力を遮断して安定した動作を行うため、ウォームギヤ減速機を選定した。

上記の開発内容を踏まえて、試作機「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」を完成させ、完成した「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」の動作確認を行い（写真１０）、以降のデバッグ及び評価が問題なく実施できることを確認した。

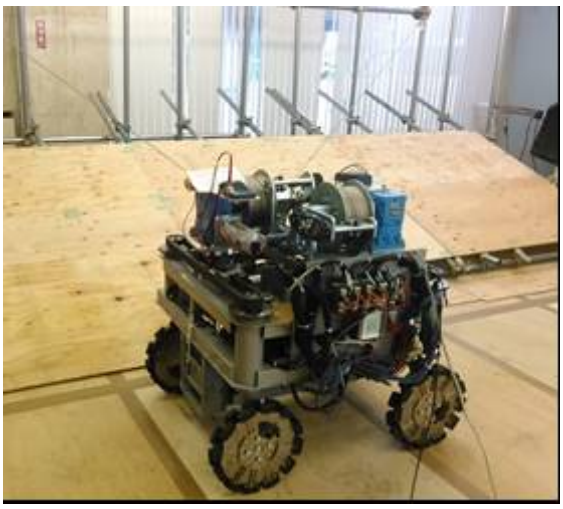


写真１０　　デバッグ状況

平成２７年度

「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」の評価

「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」の評価を実施するにあたり、ドラム用モータの回転制御、及び、ワイヤの巻取り長と速度を制御するソフトウェアを開発した制御ソフトは「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」に組込み、屋内に設置した仮設斜面にて単体デバッグを実施した（写真１１）。

「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」に搭載し、ユニット間の同期制御デバッグ及び評価を、屋内に設置した仮設斜面（傾斜角度 20°）で実施し、問題点や課題の抽出を行った。

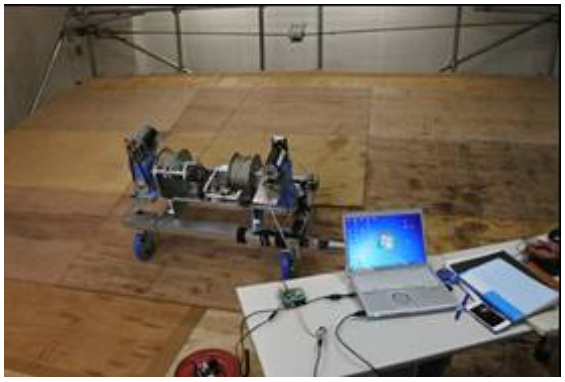


写真１１　ダブルワイヤドラムユニットⅠ型（デバッグ状況）

「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」の開発

「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」の評価時に判明した走行不可部分の課題（傾斜部上位側にアンカー間距離の約 20%が張力オーバーで走行不可となる）に対する改善のため、新機構及び制御ソフトの開発を実施することにした。

新機構は、斜面上位に設置した２ヶ所のアンカー間に主索となるワイヤを配索し、その主索ワイヤに懸下した滑車を、車両に搭載した２台のワイヤドラムから引き出したワイヤを係合させ、そのワイヤを２台のワイヤドラムの回転方向を制御することで滑車の走行方向、速度を車両と同期させるものである。

上記の内容を踏まえて、試作機「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」を設計、完成させた。ワイヤドラムユニット自体は「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」を流用し、その２台のレイアウトを変更するためのフレーム変更と、モータの仕様変更及び滑車ユニットの追加を行った。試作機完成後は、各機構の動作確認を行い、以降のデバッグ及び評価が問題なく実施できることを確認した。

「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」の評価

「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」の評価は、新たに開発した制御ソフトウェアを搭載し、機構の単体デバッグを実施し問題なく動作することを確認した後、「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」に搭載し、組合せた状態で行った。結果、平成２７年度の技術目標値（斜面勾配角度 45° 以上の登坂と横移動走行）の達成を確認できたが、主策ワイヤを固定している両端に近づくと滑車が滑って移動ができなくなり、改善が必要であることが判明した。

平成２８年度

「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」の評価

平成 27 年度に実施した評価により機構の見直しが必要であることが判明し、「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」のワイヤ制御機構を併せ持った、新たな機構を検討した。新機構について、その有効性を確認するために、まず、滑車ユニットを試作し「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」と組合せて動作確認を行った結果、本機構を採用することとした。

「ダブルワイヤドラムユニットⅢ型」の開発

主索ワイヤ端で滑車が主索ワイヤ上で滑ってワイヤ上を走行しなくなることの対策として、先行した滑車ユニットの効果が確認できたことから、「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」で考案していた方式のワイヤとアンカーの係合を追加し、「ダブルワイヤドラムユニットⅢ型」として開発を実施した。フレーム、減速機など構成部品の軽量化も併せて行い、試作機

「ダブルワイヤドラムユニットⅢ型」を完成させた。

「ダブルワイヤドラムユニットⅢ型」の評価

試作機「ダブルワイヤドラムユニットⅢ型」の完成後、屋内の仮設斜面にて単体での制御デバッグを実施した。ワイヤ制御ソフトには、斜面走行中のワイヤの弛み等を想定した補正プログラムを追加した。単体デバッグの完了後、車両へ搭載してユニット間の同期を確認し、組合せデバッグを行い、屋外走行を想定した制御デバッグを実施した（写真１２）。

組合せデバッグ完了後、屋外での走行テスト実施し、30°斜面での登坂、横移動が可能であることを確認した。なお、最終的な技術目標値である 60°斜面については、事業期間内に走行テストを実施可能な斜面を手配できず、検討できなかったため、達成できなかった。

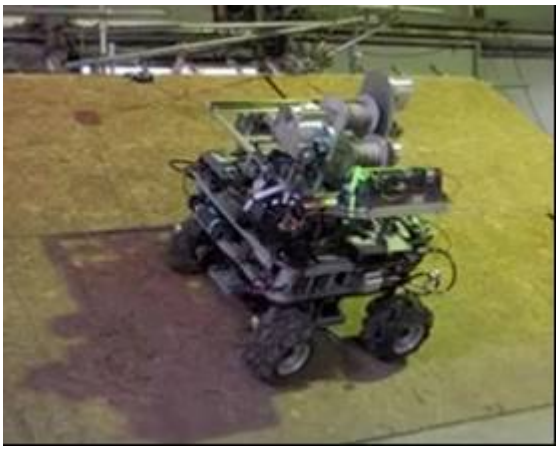


写真１２　ダブルワイヤドラムユニットⅢ型（デバッグ状況）

【４】障害物検出技術

平成２６年度

「障害物検出ユニットⅠ型」の開発

大きな障害物を優先的に排除し、また路面の凹凸に対応可能な先端部の機構として、「障害物検出ユニットⅠ型」を試作した。完成後、一辺が 150 mm 以上の石や直径が 80 mm 程度のケーブルを模擬し、それを用いて障害物を機械的に判別が可能であることを確認した。

外力検出により障害物であるか否かを識別する方法を検討した結果、小型のロードセルを選定し、その取り付け位置を検討した。

写真１３　障害物検出ユニットⅠ型

一方、信号ケーブルを検出するセンサとして、電流が流れているなどの磁場を持つものに反応する磁気センサを選定した。各センサが検出した信号処理方法として、周波数解析などを用いた手法の検討を行った。

平成２７年度

「障害物検出ユニットⅡ型」の開発

「障害物検出ユニットⅠ型」に対し、先端に障害物が衝突した際に、センサへ安定した値が得られように改良し、「障害物検出ユニットⅡ型」として完成させた。

ロードセルを用いて外力を検出して得た信号を周波数解析し、障害物判別のアルゴリズムを構築した。

「障害物検出ユニットⅡ型」の評価

障害物として石やケーブルに「障害物検出ユニットⅡ型」を衝突させて、データを取得した。その実験により得たデータを周波数解析し、石とケーブルで波形が異なることが確認できた。その結果、閾値を設定することで、石やプラスチックなどの障害物の判別可能である

ことを確認できた。
　技術目標値である「石やプラスチックなどの誤検出 30%以下」を達成した。

平成２８年度

「障害物検出ユニットⅢ型」の開発

　外力検出のセンサとして、加速度センサを用いた手法を検討するため、耐久性の高い先端部機構の開発を行った。また、衝突した障害物の判別結果を可視化するために、ＬＥＤを用いた表示機能も開発し、「障害物検出ユニットⅢ型」を完成させた。

　加速度センサを使用した「障害物検出ユニットⅢ型」によって得られた実験データの周波数解析の結果、障害物の判別精度が増し、高精度の障害物検出アルゴリズムを構築することができた。

「障害物検出ユニットⅢ型」の評価

　研究室内での単体デバッグを実施し、技術目標値（「石とケーブルなどの障害物の誤検出率１０%以下」）となることを確認した。

　また、「四輪操舵駆動車両Ⅲ型」に搭載し、実際に走行中に障害物へ衝突させ、模擬テストと同様の判別結果が得られることを確認した。

写真１４　　障害物検出ユニットⅢ型

【５】運用試験

平成２７年度

　屋内での傾斜地を模した評価を行うため、仮設の斜面を構築した。平成２６年度の各サブテーマの試作機について、平成２７年度の技術目標値に則した内容の評価を実施した。

　評価の結果として抽出される課題や問題転等は、各サブテーマ担当機関もしくは研究機関で対策、改善方法等を検討し、平成２７年度の試作機開発へ反映した。

　各サブテーマの平成２７年度の試作機について、技術目標値に則した評価を実施し、各サブテーマの技術目標値が達成されたことを確認した。

平成２８年度

　平成２７年度に開発した各サブテーマの試作機について、平成２８年度の技術目標値に則した評価を実施しながら課題等を抽出し、平成２８年度の試作機開発へ反映するため、各サブテーマの担当機関もしくは研究機関間で対策、改善方法等を検討した。

　平成２８年度の各サブテーマの試作機を、技術目標値に則して評価を実施した。評価はまず、屋内に設置した仮設斜面を使用してデバッグ等を実施。屋内でのテストにて確認できたユニットから屋外にて、登坂評価などを実施した。

　評価の結果、サブテーマ【1】、【2】、【4】の

写真１５　　屋外走行テスト状況

技術目標値が達成されたことを確認した。サブテーマ【3】については、30°斜面での登坂、横移動が可能であることは確認できたが、最終的な技術目標値である 60°斜面については、屋外テストが悪天候により遅延したため、目標達成を早期に図る。

最終章　全体総括

研究開発成果の総括

事業期間中の平成２６年度から平成２８年度において、各年度の研究開発成果をまとめる。各年度のサブテーマ技術目標値達成状況は、表３の通りである。

表３　技術目標値の達成状況

サブテーマ	年度	技術目標値	達成率	概要
【1】 四輪操舵駆動車両	平成26年度	試作車両製作 走行部機構完成	100%	・試作機「四輪操舵駆動車両Ⅰ型」の完成
	平成27年度	登坂可能角度　30°以上 車両総重量　600kg以下	100%	・試作機「四輪操舵駆動車両Ⅱ型」の完成 ・屋内登坂テストにて30°斜面の登坂が可能であることを確認
	平成28年度	登坂可能角度　35°以上 車両総重量　570kg以下	100%	・試作機「四輪操舵駆動車両Ⅲ型」の完成 ・屋外登坂テストにて35°斜面の登坂が可能であることを確認
【2】 バランスウェイト技術	平成26年度	機構装置製作 バランスウェイト機構完成	100%	・試作機「バランスウェイトユニットⅠ型」の完成
	平成27年度	登坂・横移動可能勾配 30°以上	100%	・試作機「バランスウェイトユニットⅡ型」の完成 ・屋内登坂テストにて30°斜面を登坂・横移動が可能であることを確認
	平成28年度	登坂・横移動可能勾配 35°以上	100%	・試作機「バランスウェイトユニットⅢ型」の完成 ・屋外登坂テストにて35°斜面の登坂・横移動が可能であることを確認
【3】 ダブルワイヤドラム技術	平成26年度	機構装置製作 ダブルワイヤドラム機構完成	100%	・試作機「ダブルワイヤドラムユニットⅠ型」の完成
	平成27年度	登坂・横移動可能勾配 45°以上	100%	・試作機「ダブルワイヤドラムユニットⅡ型」の完成 ・屋内登坂テストにて45°斜面を登坂・横移動が可能であることを確認
	平成28年度	登坂・横移動可能勾配 60°以上	70%	・試作機「ダブルワイヤドラムユニットⅢ型」の完成 ・屋外登坂テストにて30°斜面の登坂・横移動が可能であることを確認 ・事業期間終了後も引き続き、継続評価中
【4】 障害物検出技術	平成26年度	機構装置製作 障害物検出機構完成	100%	・試作機「障害物検出ユニットⅠ型」の完成
	平成27年度	石と金属の誤検出率 30%以下	100%	・試作機「障害物検出ユニットⅡ型」の完成 ・屋内での評価にて目標値達成を確認
	平成28年度	石と金属の誤検出率 10%以下	100%	・試作機「障害物検出ユニットⅢ型」の完成 ・屋外での評価にて目標値達成を確認
【5】 運用試験	平成27年度	試験場において【１】～【４】 目標値の確認	100%	各サブテーマの目標値達成を確認
	平成28年度	フィールドにおいて【１】～【４】 目標値の確認	80%	サブテーマ【1】【2】【4】について達成を確認 サブテーマ【3】は事業期間終了後も継続評価中

本事業において、上述した技術の高度化・技術の開発を実施しことにより、四輪操舵駆動車両をベースに、３タイプの斜面草刈機を試作・開発することができた。

一つは、四輪操舵駆動車両を単体で使用するもので、35°の斜面の草刈りを、（性能を記

載）で実施可能であることを確認したが、今後事業化に結び付けるためには、軽量化・操作性の向上等の検討が必要である。

次に、鉄道の法面等の草刈りを想定した四輪操舵駆動に障害物検出ユニットを搭載した車両については、電線や石等の障害物を検出できるものに仕上げたが、事業化においては、安全性や耐久性等に課題があり、さらに検討が必要である。

最後に、四輪操舵駆動にダブルワイヤドラムユニットを搭載した車両の急峻な斜面での草刈りを想定した評価に関して、悪天候により屋外テストが遅延したため、今後検証を行うことで技術の確立を目指す。併せて、ダブルワイヤドラムユニットを使用する急斜面では、アンカーの設置等が不可欠となることから、ユーザーの意見を取り入れながら安全性と簡便性を両立できる検討が必要である。

また、サブテーマ【3】ダブルワイヤドラム技術については、上記の通り事業期間内に目標値の達成を確認することができなかったため、事業期間後も継続して評価を行っている。

研究開発後の課題と事業化展開

平成２８年度の第２回推進委員会では、これまでの成果として試作機のデモンストレーションなどを行ったが、アドバイザーからは「60°の斜面で作業できることも重要だが、機能等を絞り込んで安価にして容易に操作でき、さらに効率的に作業もできるようにすることも必要なのでは。」という意見があり、今後はこの意見を川下企業のニーズとして、事業化に向けた優先課題として取り上げ、研究開発を進めていくこととしている。

まずはこの内容に沿って機能を絞ったかたちで、具体的にはワイヤを使用しない、30～40°の斜面での作業が可能な斜面専用草刈機の試作機を製作し、この試作機をモニター機として市場調査も兼ねて各展示会などでデモンストレーションを行い、その場で得たユーザーの意見を取り込みながら改善、改良などを加えて斜面専用草刈機としての完成度を高めていくことを考えている。その結果として本事業の研究開発の成果といえる製品化された斜面専用草刈機が完成し、事業化展開が可能となる。この結果を踏まえて、ワイヤを使用する製品が必要とされるユーザーの要望があれば、その追加研究開発も行う。