

平成28年度
試験研究成績

農業機械の安全性に関する研究（第37報）

平成29年9月

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
農業技術革新工学研究センター

ま え が き

農林水産省の調査によると、平成 27 年の農作業死亡事故件数は 338 件と、件数そのものは前年よりも微減となっているが、就農者人口の減少や就農者の高齢化を考えると、実質的な状況は深刻化していると捉えるべきであり、農作業安全確立に向けた取り組みに一層邁進する必要がある。今後も行政、教育、啓発、普及、研究・開発等の関係機関の一層の奮起が期待されるとともに、関係機関の一層緊密な連携により、現状を打開し、安心・安全な農作業環境を実現することが強く求められている。

昨年 4 月に発足した農業技術革新工学研究センター労働・環境工学研究領域安全人間工学ユニットでは、前身である生物系特定産業技術研究支援センター基礎技術研究部安全人間工学研究ならびに特別研究チーム（安全）から引き続き、農業機械の安全性・快適性の向上や健康障害防止に向けたハード、ソフト両面の研究を行っている。あわせて、積極的に関係機関と連携し、成果を広く発信するとともに、寄せられた情報をフィードバックして、安心・安全な農作業の実現に寄与する成果を世に送り出すべく、取り組みを続けている。

本試験研究成績では、平成 28 年度に取り組んだ、次の 3 つの研究課題について報告している。

1 課題目は、「農業機械事故の詳細調査・分析手法の適用拡大に関する研究」である。先行各課題で検討した農業機械事故の詳細調査・分析手法を用いて、乗用トラクタ及び刈払機事故に加えて、新たに歩行用トラクタ事故についても調査・分析を行い、事故要因を明らかにすることを目的としており、今年度は、引き続き詳細調査、および前年度に検討した新たな手法を含む各種詳細分析を実施し、他産業での安全対策手法とあわせて検討を行った。その結果、農作業事故においても、機械や環境等、多面的な改善方策の必要性が確認されたことから、今後の取り組みの方向性について整理した。

2 課題目は、平成 26 年度「歩行用トラクタの事故防止に向けた実態調査」を踏まえて翌年度より開始された研究課題「歩行用トラクタの危険挙動に対する安全技術の開発」であり、各種安全装置の安全性向上技術や、ダッシング等の突発的な挙動を検出する手法の開発が目的である。今年度は、歩行用トラクタのハンドル操作力や機体の動作等を様々な条件下で測定し、デッドマン式クラッチの安全性向上技術や危険挙動の検出方法を検討した。これらを踏まえ、挟まれ時にデッドマン式クラッチレバーが作動しエンジンが停止する装置や、ダッシングを検出してエンジンが停止する装置を試作した。

3 課題目は、「乗用農機の安全支援機能の開発」である。大規模法人経営やコントラクタでは、農業以外から雇用したオペレータも多く、事故のリスクは経営リスクにもつながる。一方、高齢者が多い家族経営では、発見が早ければ救命できたと思われる事故事例も少なくない。そこで、大規模法人経営やコントラクタに普及しつつある作業・営農支援システムに付加できる安全支援機能と、高齢農業者の使用も多い旧式の乗用農機にも後付け可能な安全支援装置の開発を目的としている。今年度は、営農・作業支援システム用および後付け可能な装置の安全支援機能のプログラムの修正、機能確認、農作業への供試等を実施し、改善すべき点の抽出を行った。

「農業機械の安全性に関する研究」では、研究途上であっても成果の一端を公開することによって、農業機械メーカーや作業技術研究者等に有効利用されるよう、昭和 51 年度より速報としてとりまとめている。この成績書がさらなる農業機械・農作業の安全性・快適性向上の一助となれば幸いである。

なお、研究の実施にあたっては多くの方々にご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

平成 29 年 9 月

(国研) 農業・食品産業技術総合研究機構 農業技術革新工学研究センター
労働・環境工学研究領域 安全人間工学ユニット

農業機械の安全性に関する研究（第37報）

目 次

まえがき

1. 農業機械事故の詳細調査・分析手法の適用拡大に関する研究	1
2. 歩行用トラクタの危険挙動に対する安全技術の開発	7
3. 乗用農機の安全支援機能の開発	13

1. 農業機械事故の詳細調査・分析手法の適用拡大に関する研究

労働・環境工学研究領域

安全人間工学ユニット

積 栄、菊池 豊、手島 司、

岡田俊輔、皆川啓子、松本将大

【摘要】対象3機種（乗用トラクタ、刈払機に加えて、本課題から歩行用トラクタ）の事故について、協力道県での詳細調査の継続とデータベース化を行った。詳細分析については、従前の FTA（Fault Tree Analysis、故障の木解析）に加えて、前年度に検討した、詳細度は低いものの件数が多い調査手法による事故データに対する ETA（Event Tree Analysis、事象の木解析）による分析を行った。これらの結果を含む、これまでの事故調査・分析結果、及び労働災害低減で先行する他産業での安全対策手法を踏まえて、今後の詳細調査・分析及びこれを活用した事故対策について、方向性を整理した。農作業事故対策においては、他産業の知見を活用しながら、これまで以上に農作業現場での具体的な改善を進めることの重要性が明らかとなった。

1. 目的

農作業事故の発生要因を究明し、対策につなげるためには、現場状況の詳細な調査が必要である。国による農作業死亡事故調査では、全国的な傾向は把握できるものの、発生状況の詳細が不明であり、また負傷事故の体系的な調査は行われていない。このため革新工学センターでは、2011年度から独自に事故調査を行っている道県と連携し、乗用トラクタ及び刈払機を対象に、より詳細な事故データを収集するとともに、適切な調査項目及び分析手法を確立した。しかし、全ての事故形態に対する詳細分析や、地域別の詳細分析には、これまでの調査期間のみでは詳細調査件数が十分とは言えず、両機種とも継続的な詳細調査・分析が必要である。また、地域によっては乗用トラクタ及び刈払機以外の機種における事故も多く、詳細調査・分析の他機種への展開も期待されている。特に、歩行用トラクタについては、構造や使用形態が多様であり、事故との因果関係も大きいと考えられるが、重大事故が多いにもかかわらず、既存の各種調査では不明な点が多い。

そこで、これまでの乗用トラクタ及び刈払機における詳細調査・分析を引き続き実施するとともに、歩行用トラクタについても新たに詳細調査・分析を行い、各機種について事故要因を明らかにする。また、詳細調査・分析結果をデータベース化し、地域・年齢別、環境条件別等、様々な視点から集計、整理することで事故対策の資料を得る。

平成 28 年度は、引き続き詳細調査及びデータベース化、各種詳細分析を実施するとともに、これらを含むこれまでの事故調査・分析結果、及び労働災害低減で先行する他産業での安全対策手法を踏まえて、今後の詳細調査・分析及びこれを活用した事故対策について方向性を整理する。

2. 方法

- 1) 対象3機種の事故について、協力道県での詳細調査および詳細分析に向けたデータベース化を行った。
- 2) 先行課題で構築したマイクロ分析手法及び FTA（故障の木解析）、一部道県の詳細度は低いものの件数が多い事故データには ETA（事象の木解析）等を用いて詳細分析を行い、現地対面調査で得られた知見とあわせて考察した。

- 3) これまでの事故調査・分析結果及び労働災害低減で先行する他産業での安全対策手法を踏まえて、今後の詳細調査・分析及びこれを活用した事故対策について、方向性を整理した。

3. 結果の概要

- 1) 歩行用トラクタ事故詳細調査票では、先行2機種と同様の項目の他、事故機の構造種別や各種安全装置の有無等も設定し、これまでの累積で協力道県から乗用トラクタ78件（先行課題と累積198件）、刈払機10件（同28件）、歩行用トラクタ17件の調査結果を得た。平成28年度分については、現在集計中である。また、あわせて複数の協力道県と連携して現地対面調査も行い、これまでの累積で、他機種及び機械以外も含む農作業事故6道県90件（同13道県184件）の詳細な事故情報を収集した。

- 2) 詳細調査結果に基づく各種分析の結果、機械の安全機能の欠損・性能不足への対策とともに、環境面や作業・管理面への対応の重要性も確認された。例として、歩行用トラクタの作業部・車軸への巻き込まれ事故の詳細分析（FTA）結果を図1に示した。この場合、各種安全装置の装備による事故低減効果が大きい一方、ほ場や路面の環境要件、機械の使用法といった面でも対策を施すべきであることがわかる。

現地対面調査でも、ほとんどの事故で、操作ミス等の人的要因（ヒューマンファクター）の他、機械・施設、環境、作業・管理の各面での要因も確認された。図2に示したホイールローダでの事故の場合、急いでいた、家族に気をとられた、といった人的要因は再発防止が難しい一方、空気圧不足や路面の窪みの放置、積載量の制限については、対策による事故防止効果が高く、これらの要因を具体的に把握して改善につなげることが必要であることがわかる。これまでの現地対面調査のうち、対策として人的要因に関するもの（注意喚起等）のみが想定された事故は、184件中11件（うち牛によるもの8件）に留まっており、農作業事故では人的要因以外にも多面的な対策が可能かつ効果的であることが確認された。

協力各道県に対する地域別の傾向分析についても、随時各道県に結果を報告した。このなかで、農作業事故の地域特性に関する分析結果が多く得られた（例として図3、図4）ことから、対策の検討にあたっては、全国一律的な情報のみに基づくのではなく、事故調査・分析等を通じて各地域でそれぞれ問題点を把握し、その地域で最も効果的な取り組みを検討する必要性が示された。

詳細度は低いものの件数が多い事故データを用いたETAによる分析例として、異なる道県における機械での路上移動時の事故の詳細分析（ETA）結果を図5に示した。道県によって追突の割合が異なる、ある道県での追突は60歳未満が多いといった分析結果から、地域や年齢層により、同種の事故でも発生経緯の傾向が異なることが明らかとなり、ここでも対象を見据えたより効果的な啓発の可能性が示唆された。なお、図5の分析例からは、安全キャブの転倒転落時救命効果も確認された。

- 3) 他産業では、まず本質的・工学的安全対策を実施し、その後の残留リスクに対して人的要因や管理面での対策を行う手順が一般的であり、農作業事故対策においても、他産業の知見を活用しながら、これまで以上に農作業現場での具体的な改善を進めることの重要性が明らかとなった。国レベルでは、各現場で改善方策の検討と普及を担う人材の確保と、同人材を中心とした事故調査・安全活動体制の整備が求められ、研究においてはこれを支援すべく、事故調査・分析結果及び他産業の各手法を踏まえて、人材の育成と同人材の活動を促進・支援する方策の構築が必要と考えられた。

なお、各分析結果はこれまでの調査結果に基づくものであり、今後の対策の検討にあたっては、引き続き各種詳細調査を行い、随時傾向を把握する必要がある。

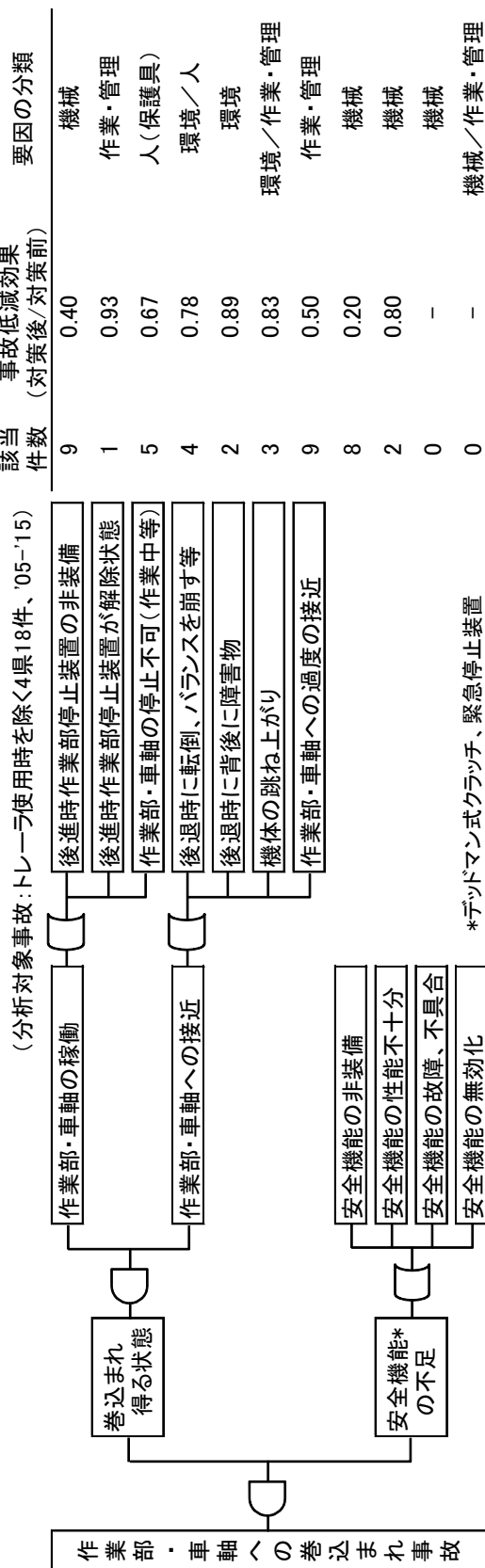


図1 歩行用トラクタの作業部・車軸への巻き込まれ事故の詳細分析 (FAT) 結果

【事故概要】降雨に備え、乾草ロールペールをホイールローダで一度に2個ずつ収納庫に移送する作業を行っていた。収納庫前で切り返しをしようと後進・左折していたとき、地面の窪みに左後輪が落ち、左に横転。運転者は直前に飛び降りたが、被災。(骨折・打撲、70歳代男性)

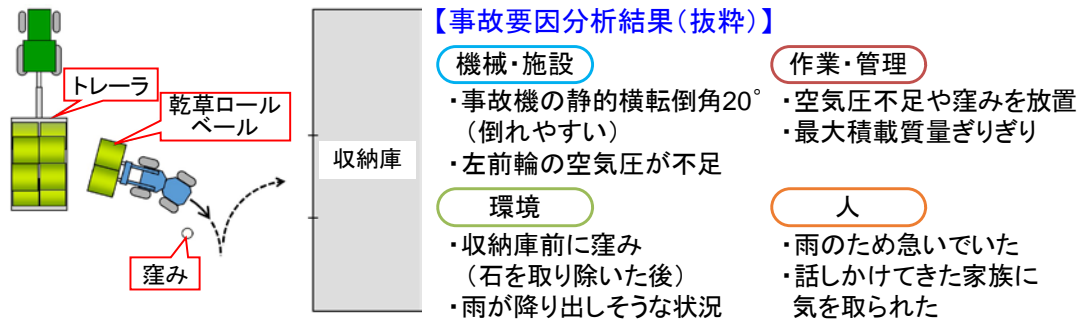


図2 現地対面調査・分析結果の一例(ホイールローダ転倒)

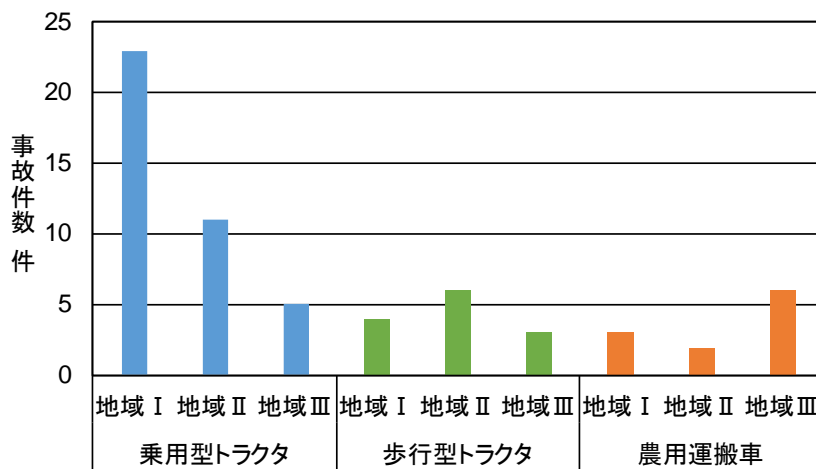


図3 ある県内での地域別・機種別事故件数の違い

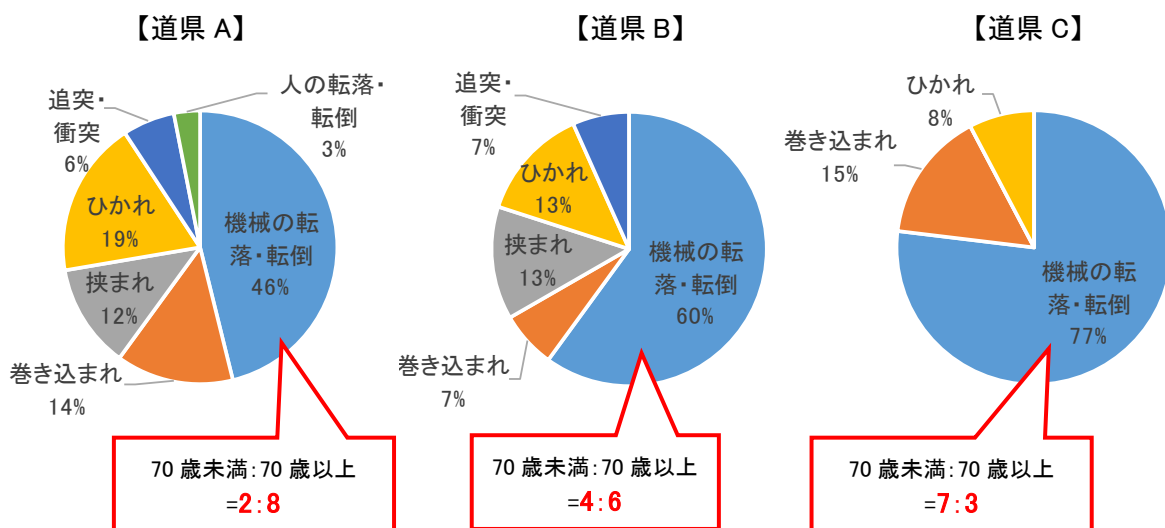


図4 乗用トラクタ事故の形態別比率及び年齢層の道県による違い

初期 事象	安全 キャブの 有無					道県A (’03-’15)		道県B (’06-’15)	
	自 ら 接 触	他 者 か ら 接 触	接 触 で 主 に 被 災	逸 脱 で 主 に 被 災	無 有 不明	乗 用 ト ラ ク タ 死 亡	乗 用 ト ラ ク タ 死 亡	ト ラ ク 全 体	乗 用 ト ラ ク タ 全 体
E0	B1	B2	B3	B4	B5	全体	＜60歳	60歳≧	ト ラ ク 全 体
機械で 路上 移動	無	無	無	無	無	18	6	12	
	有	有	有	有	有	8	5	3	38
	有	有	有	有	有	54	22	32	
	無	無	無	無	無	2	0	2	
	有	有	有	有	有	1	1	0	1
	有	有	有	有	有	8	6	2	
	有	有	有	有	有	15	10	5	2
	無	無	無	無	無	0	0	0	
	有	有	有	有	有	1	1	0	2
	有	有	有	有	有	1	0	1	
	有	有	有	有	有	4	2	2	11
	無	無	無	無	無	0	0	0	
	有	有	有	有	有	0	0	0	0
	有	有	有	有	有	0	0	0	1
	有	有	有	有	有	0	0	0	0
	有	有	有	有	有	3	3	0	12
						115	56	59	65

(総数)

*機械で路上移動中のEa~Ed以外の事故は件数が少ないため除外

*道県Bでは安全キャブの有無の判断が可能な事故が少なかったため当該項目は未分類

図5 道県A、Bにおける機械での路上移動時の事故の詳細分析 (ETA) 結果

4. 今後の問題点と次年度以降の計画

現場での改善方策の検討、啓発にあたっては、詳細調査・分析の対象範囲の拡大を図る必要がある。また、人材の育成と同人材の活動を促進・支援する方策については、他産業の専門家や関係機関とも連携した具体的な取り組みやコンテンツの提案が求められる。このため、次年度以降の研究課題でこれらへの対応を図る。

5. 謝 辞

事故データ収集及び詳細事故調査の実施にあたっては、北海道、青森県、岩手県、福島県、茨城県、群馬県、埼玉県、長野県、岐阜県、滋賀県、鳥取県、熊本県、鹿児島県におけるご担当の皆様にご多大なるご協力をいただいた。研究を進めるにあたっては、中央労働災害防止協会、(一社)日本労働安全衛生コンサルタント会、(公財)交通事故総合分析センター、(独)労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所、(一財)日本科学技術連盟、(国研)農研機構農村工学研究所から、ご指導や資料、情報のご提供をいただいた。現地調査では、北海道、鹿児島県の関係各位からご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

6. 引用・参考文献

- 1) JIS C 5750-3-1:2006、ディペンダビリティ管理－第3-1部：適用の指針－ディペンダビリティ解析手法の指針
- 2) 経済産業省、リスクアセスメント・ハンドブック実務編、2011
- 3) 厚生労働省、危険性又は有害性等の調査等に関する指針について（労働基準局長公示第1号）、2006
- 4) 日科技連R-Map研究会、R-Map実践ガイドンス、日科技連出版社、2004
- 5) 日科技連R-Map実践研究会、世界に通用する製品安全リスクアセスメント(シリーズ1～4)、日科技連出版社、2014
- 6) 積栄他、乗用トラクタおよび刈払機事故の詳細調査・分析手法の研究、平成23年度試験研究成績23-1 農業機械の安全性に関する研究(第32報)、31-37、生研センター、2012
- 7) 積栄他、農業機械等による事故の詳細調査・分析手法の研究、平成24年度試験研究成績24-1 農業機械の安全性に関する研究(第33報)、11-31、生研センター、2013
- 8) 積栄他、農業機械等による事故の詳細調査・分析手法の研究、平成25年度試験研究成績25-1 農業機械の安全性に関する研究(第34報)、7-13、生研センター、2014
- 9) 積栄他、農業機械事故の詳細調査・分析手法の適用拡大に関する研究、平成26年度試験研究成績25-1 農業機械の安全性に関する研究(第35報)、13-22、生研センター、2015
- 10) 積栄他、農業機械事故の詳細調査・分析手法の適用拡大に関する研究、平成27年度試験研究成績25-1 農業機械の安全性に関する研究(第36報)、7-18、革新工学センター、2016

2. 歩行用トラクタの危険挙動に対する安全技術の開発

労働・環境工学研究領域

安全人間工学ユニット

岡田俊輔、松本将大、積 栄

菊池 豊、手島 司、皆川啓子

[摘要] 歩行用トラクタによる死亡事故は年間 40～50 件ののぼり、乗用トラクタ等とともに死亡事故の多い機種の一つである。これらの事故を防止するために、挟圧防止装置や、デッドマン式クラッチ等の安全装置が実用化されている。しかし、これら安全装置が装着されているにもかかわらず事故に至った事例が報告されている。そこで、挟圧防止装置およびデッドマン式クラッチの安全性向上技術や、ダッシング等の突発的な挙動を検出する手法を開発する。今年度は、ダッシングの再現方法やセンサ取付け位置を見直すとともに、試験条件や被験者を増やしてデータを蓄積する。蓄積したデータを踏まえ、デッドマン式クラッチの改良等の検討や試作、加速度や角速度による危険挙動の検出手法を検討した。

1. 目 的

歩行用トラクタによる死亡事故は年間 40～50 件ののぼり、乗用トラクタなどとともに死亡事故の多い機種の一つである。死亡事故の形態として、後進時等における挟まれが約半数を、回転部（ロータリ）への巻き込まれが 2 割程度を占めている。この原因として、前者では障害物との挟まれ、後者では作業者の転倒、またはダッシング、異物との接触や急なクラッチ操作によるハンドルの跳ね上がり等の突発的な機体挙動がある。これらの事故を防止するために、挟圧防止装置や、デッドマン式クラッチ等の安全装置が実用化されている。しかし、これら安全装置が装着されているにもかかわらず事故に至った事例が報告されている。また、歩行用トラクタは、さまざまな構造で使用方法も多様なことから、極力共通して利用しうる安全技術を目指す必要がある。そこで、挟圧防止装置およびデッドマン式クラッチの安全性向上技術や、ダッシング等の突発的な挙動を検出する手法を開発する。

平成 28 年度は、ダッシングの再現方法やセンサ取付け位置を見直すとともに、試験条件や被験者を増やしてデータを蓄積する。蓄積したデータを踏まえ、デッドマン式クラッチの改良等の検討や試作、加速度や角速度による危険挙動の検出手法を検討する。

2. 方 法

- 1) 危険挙動を安定的かつ安全に再現可能な方法について検討した。
- 2) 1) で検討した方法を用いて、平成 27 年度と同様に計測用の歩行用トラクタを供試して（引用・参考文献 4）を参照のこと）、被験者 2 名で車軸耕うんや挟まれといった試験区を加え、歩行用トラクタのハンドル操作力や機体の動作として加速度・角速度を測定した。このデータを基に、既存安全装置のさらなる安全性向上策や、機体の加速度・角速度データから直接的に危険挙動を検出し得るか検討した。
- 3) 2) を踏まえ、デッドマン式クラッチの安全性を向上する機構を試作した。また、加速度・角速度データを演算処理することで、危険挙動を検出する手法を検討し、一定条件下でエンジンが停止する装置を試作した。

3. 結果の概要

1) 通常の作業と同様に、ダッシングを再現しようとした場合、過負荷によってエンジンが停止することがあった他、ダッシングの発生地点を特定することが困難で危険である等の理由により、安定的・安全に再現することが困難であった。昨年度は、走行速度段を中立とし、持ち上げた状態でロータリのみを作動させてから、敷設した合板(ベニヤ板)にロータリを押し当てることで、ダッシングを再現した。この方法は、耕うん作業開始と同時にダッシングが起こる状況に近い挙動を再現可能であったが、耕うん途中でダッシングする挙動とはやや異なることが考えられた。そこで今年度は、耕うん途中でダッシングにより近い状況を想定して、合板をほ場の途中から敷設し、走行・耕うん状態のまま合板上を走行することでダッシングを再現することとした(図1)。挟まれ時については、被験者に代わってマネキンが壁と挟まれた時にハンドルに加わる力や機体の動作を測定することとした。また、作業者の保護方策として、昨年度は木製の保護エプロンを用いたが、運動性に問題があったことから、野球に用いられるキャッチャー用のレガースを装着することとした(図2)。



図1 ダッシング再現時の様子



図2 作業者の保護(野球用レガース)

2) 今年度取得した試験区は表の通りである。合板を用いたダッシング再現の試験区ではなく、通常作業として設定した耕うん作業時においてもダッシングが多発した。従って、ダッシングが発生した部分については、危険挙動時の操作力や機体挙動のデータとして取り扱った。

得られたハンドル操作力の結果は表2の通りである。通常操作時にハンドル上下方向に加わった力は最大で630N程度だったのに対して、急旋回時や挟まれ時には、その1.3倍程度の力が加わった。同様にハンドル左右方向に加わった力は、急旋回時には、通常作業時の1.2倍程度の力が加わったが、その他の危険挙動では大きな力が発生しなかった。軸方向に関しては、挟まれ時に通常時の1.9倍程度の力が加わったが、それ以外の危険挙動では大きな力が発生しなかった。デッドマン式クラッチの把持力に関しては、危険挙動の試験区の時に大きな力が発生することはない。以上から、ハンドルに上下もしくは軸方向に過負荷が加わった時にエンジンを停止する等の改良をすることで、挟まれを解放し得る可能性が示唆された。一方、ダッシングについては、耕うん等の通常作業時よりも小さな操作力しか必要としない場合があり、挟まれとは異なり、過負荷などの力を検出して、危険を回避することは困難であると考えられた。

機体の動作については、エンジン振動や路面・ほ場状況に伴う振動、機体の傾斜に伴う重力加速度が重畳するため、取得された加速度・角速度データそのままでは、既存安全装置の改良では対応困難なダッシング等の危険挙動を検出することは困難と考えられた。

表 1 試験区と試験条件

作業	場所	作業機	エンジン回転	速度段	条件
走行	コンクリート路面	中耕ロータリ	1500rpm、2000rpm、 3000rpm、3800rpm	前進1～6速、 後進1、2速	あまり操作力を必要としないハンドル操作や、作業機を動作させない場合の機体振動等の基本的な使用条件。
走行	人工悪路	中耕ロータリ	1500rpm、2000rpm、 3000rpm、3800rpm	前進1、3、6速、 後進1、2速	非危険状態であるが、振動が大きく機体の動作への影響が大きいため、危険挙動との誤検出がないか検討。
走行	未舗装道 (砂利敷設)	中耕ロータリ	1500rpm、2000rpm、 3000rpm、3800rpm	前進1、3、6速、 後進1、2速	人工悪路とほぼ同様であるが、より実際の使用条件に近い条件。
耕うん	ほ場	車軸耕うん	3800rpm ^{※4}	前進2、5速	実作業におけるハンドルの操作力や機体の動作条件。比較的ハンドル操作力が大きく、作業機が動作するため機体の動作も大きい。
耕うん ^{※1}	ほ場	中耕ロータリ	3800rpm ^{※4}	前進1速 (ロータリ低速)	実作業におけるハンドルの操作力や機体の動作条件。比較的ハンドル操作力が大きく、作業機が動作するため機体の動作も大きい。
急旋回	コンクリート路面	中耕ロータリ	3800rpm	前進6速	操作ミス等でエンジン回転が高いまま旋回し、運転者が機体に振り回された場合のハンドル操作力や機体の角速度から危険を回避しうるか検討。
ダッシング 再現 ^{※2}	ほ場 (途中からベニア 板設置)	中耕ロータリ	3800rpm	前進1速 (ロータリ低速)	突発的な危険挙動が発生した時のハンドル操作力や機体の動作を測定。事故事例が報告されており、代表的な危険挙動として設定。
挟まれ 再現 ^{※3}	コンクリート路面	中耕ロータリ	1500rpm	後進1速	デッドマン式クラッチの構造上、挟まれが解放できない場合がある。このような状態が発生した場合にハンドルに加わる操作力を測定。事故事例が報告されており、代表的な危険挙動として設定。

注 1500rpmはアイドル回転、3800rpmはフルスロットル

※1 中耕ロータリの耕うん試験は、危険ではない通常作業として設定したが、土が固かったためダッシングする場合があった。

※2 ダッシング再現試験は、被験者1名のみ

※3 挟まれ再現試験は、マネキンを壁と挟ませることで再現

※4 旋回時は、任意にエンジン回転を調整した

表 2 ハンドル操作力の測定結果

測定項目		通常操作時 最大値 ^{※1}	急旋回 最大値	ダッシング 最小値	挟まれ 最大値
操 作 力 ハ ン ド ル	上下	630N	800N(1.3)	157N(0.2)	829N(1.3)
	左右	344N	402N(1.2)	71N(0.2)	121N(0.9)
	軸方向	257N	166N(0.6)	46N(0.2)	494N(1.9)
ハンドル把持力		337N	155N(0.5)	279N(0.8)	— ^{※2}

注 () 内はそれぞれの値を①の値で除した比

※1 通常操作：耕うん、車軸耕うん及び各種路面走行

※2 挟まれ時はデッドマン式クラッチの操作を補助者が行ったため除外

3) 2) の結果を踏まえ、デッドマン式クラッチレバーの握り部にバネ及びエンジン停止スイッチを組み込むことで、挟まれ時にエンジンが停止する機構を試作した(図3)。動作確認を行ったところ、ハンドル上下方向に負荷が加わった時にはエンジンが停止することを確認した。しかし、斜めや水平方向から力が加わった場合にはスイッチが作動しないという課題が残された。次年度以降に動作の改良を行い、確実性や操作性等を含め確認予定である。

また、演算処理による危険挙動の検出については、加速度波形にローパスフィルタを加えることで振動の影響を、ハイパスフィルタによって機体傾斜の影響を除去した(図5)。加えて、単発的に石跳ね等が発生した時に比べ、ダッシング時には前後方向もしくは上下方向に大きな加速度が持続することから、この場合をダッシングと判断し、危険を検出し得る見通しを得た。この検出手法に加えて、ローパスフィルタのみを介した加速度データから機体傾斜を算出し、転倒の

検出手法も加えた。この時、重力加速度に加えて機体の加速や回転といった加速度が重畳されるため、これらの影響による誤動作を避けるため、ダッシング検出と同様に一定時間内で複数回閾値を超えた時に転倒と判断した。なお、歩行用トラクタは、ハンドルを作業上大きく持ち上げることがあるため、ハンドルを持ち上げるピッチ方向の閾値を 90° 、それ以外の方向の閾値を 45° と設定した。

これらの検出手法を踏まえ、歩行用トラクタのヒッチ部分に装着した加速度センサからの出力をマイコンに入力し、マイコンでの上記検出手法に基づいた演算処理を行い、ダッシングもしくは転倒と判定した時にエンジンが停止する装置を試作し、歩行用トラクタに組み込んだ。なお、試作装置は、エンジンのスパークプラグから流入したと見られるノイズによって、誤動作することがあったため、既存のスパークプラグから抵抗付きのものに交換した。試作装置の動作確認を行ったところ、転倒検出に関しては良好な動作であったが、ダッシング検出については非危険時においても誤停止することがあったため、適切なハイパス・ローパスフィルタの再検討や、加速度センサ取り付け位置の検討、角速度など他の測定データを加えた検出手法を検討するなど、改良の必要性を認めた。

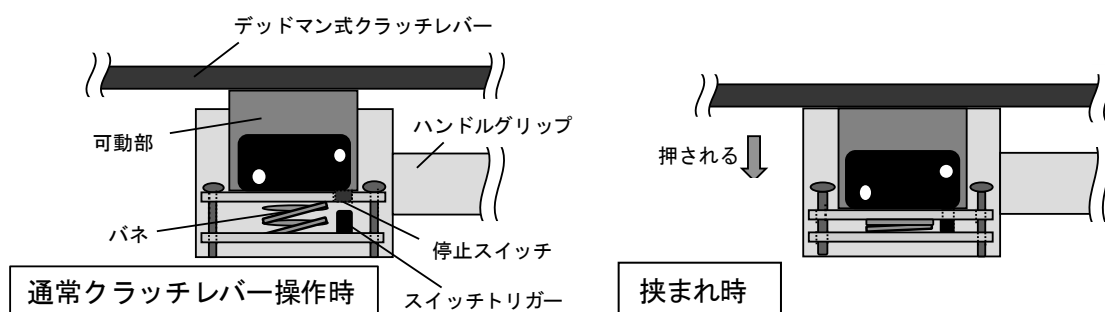


図4 試作したデッドマン式クラッチの改良装置

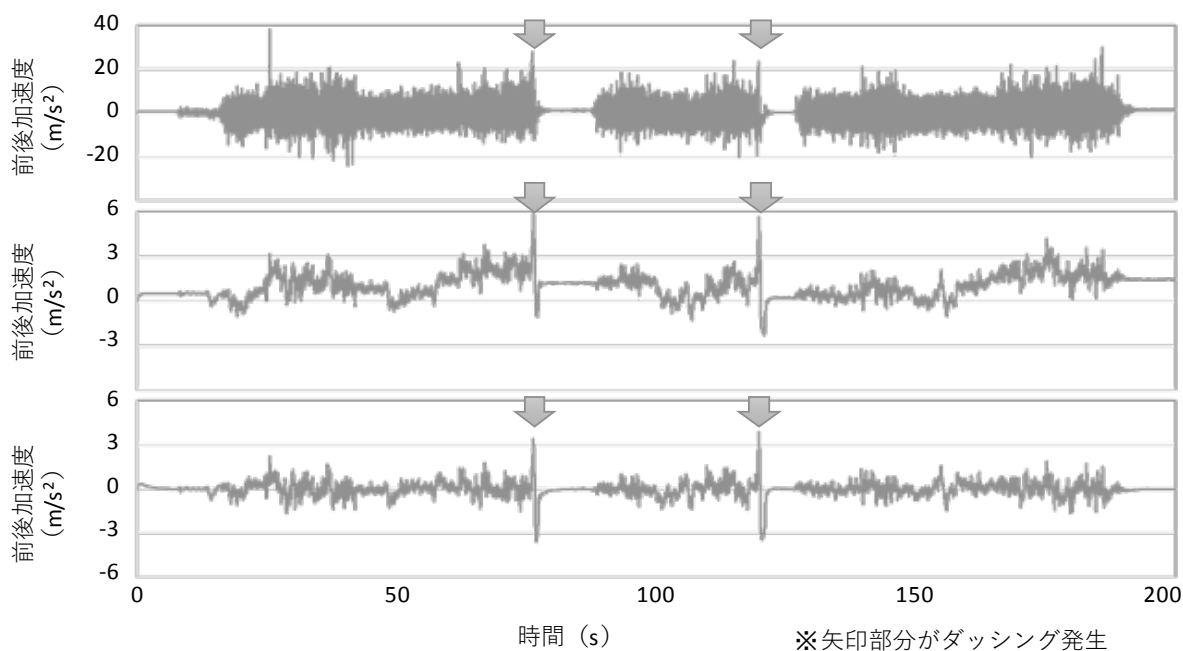


図5 ダッシング時の波形例とハイパス・ローパスフィルタの効果

(上：フィルタなし、中：ローパスフィルタのみ、下：ハイパス・ローパスフィルタ)

4. 今後の問題点と次年度以降の計画

デッドマン式クラッチの改良については確実性や操作性の評価を行う。危険挙動の検出については誤検出が認められたため、さらに確実な検出手法を検討する。これらについてさらに試験条件を増やして評価を行い、改良・試作を行う。この結果を踏まえて、安全装置の要件を取りまとめる。

5. 参考：エンジン回転速度を調整可能なハンドルグリップの検討

農業機械で多用される固定式のスロットルレバーは（図6）、手を離さないでエンジン回転速度の調整ができないため、危険時にエンジン回転速度を即座に低下することが困難であった。そこで、バイクと同様に、ハンドルグリップが回転することで、手を離さずともエンジン回転速度を調整可能なグリップを試作し（図7）、安全性が向上し得るか検討した。

試作装置を組み込んだ歩行用トラクタを用いて、研究員3名にアスファルト路面上を走行させ、操作性を確認した。操作性は比較的良好との結果であったが、課題として、任意のエンジン回転速度に保持しやすくしないと疲れる、転倒しそうになった時にグリップを回してしまい、エンジン回転速度が上昇して危険を感じたなどの意見が挙げられた。前者に対しては、ハンドルグリップを回転するときに必要な力を適切に調整する必要がある。後者に対しては、試作段階のため、時計回り、反時計回りのどちらの方向に回してもエンジン回転が上昇可能な構造としたこと、アイドル位置やフルスロットル位置での回転止めを設けていないなどの問題があり、これらを改良することで、ある程度回避可能な可能性がある。その他にも、歩行用トラクタはバイクよりもハンドルの操作力が大きいため耐久性が問題となる、バイクとハンドルグリップの取付け方向が異なるため使用感や疲労感が異なる、などの可能性も挙げられた。これらを解決することで、固定式のスロットルレバーよりも安全なスロットル装置となる可能性があると考えられる。一方で、デッドマン式クラッチと同様、その操作は運転者に委ねられることから、危険時の確実な動作が保障されないという問題が残るため、安全装置としての開発は保留することとした。



図6 固定式スロットルレバー



図7 エンジン回転速度が調整可能な
ハンドルグリップ

6. 引用・参考文献

- 1) 農林水産省、平成24年に発生した農作業死亡事故の概要、2014
- 2) 農作業安全情報センター「農業機械の安全装備いろいろ／歩行用トラクター」、生研センター、http://www.naro.affrc.go.jp/org/brain/anzenweb/anzensoobi/anzensoobi_03.htm、
- 3) 岡田俊輔他、歩行用トラクタの事故防止に向けた実態調査、生研センター試験研究成績26-1—農業機械の安全性に関する研究（35報）、7-12、生研センター、2015
- 4) 岡田俊輔他、歩行用トラクタの危険挙動に対する安全技術の開発、生研センター試験研究成績農業機械の安全性に関する研究（36報）、19-22、生研センター、2016
- 5) 積栄他、農業機械事故の詳細調査・分析手法の適用拡大に関する研究、生研センター試験研究成績26-1—農業機械の安全性に関する研究（35報）、13-22、生研センター、2015

3. 乗用農機の安全支援機能の開発

労働・環境工学研究領域 安全人間工学ユニット
手島 司、皆川啓子、菊池 豊
積 栄、岡田俊輔、松本将大
福島県農業総合研究センター、福島県ハイテクプラザ
宮城県農業・園芸総合研究所、宮崎大学、芝浦工業大学
福島県立医科大学、富士通株式会社、ヤンマー株式会社

【摘要】単独作業が行われる場面が多い農作業では、事故が発生してから発見されるまでに時間を要することが多く、迅速な救命活動が困難であった。そこで、農作業死亡事故で最も多い転倒転落事故が発生したことを検知し、予め登録した連絡先に緊急通報する機能の開発に取り組んでいる。また、予防安全の見地から予め登録した危険箇所に接近すると警告を発する機能の開発にも取り組んでいる。転倒時緊急通報機能は、乗用農機の稼働状況を遠隔で把握できる等の機能を有する作業・営農支援システムへ追加することとして、乗用トラクタに搭載した傾斜センサと通信機能を利用するものと、ICT企業が開発した、人の状態・環境・位置を遠隔から把握できるリストバンド型ウェアラブルセンサの機能を利用するものについて検討した。スマートフォンのアプリケーションソフトとして試作した危険箇所接近警報機能については、改善版の動作を確認し、課題を抽出した。

1. 目的

我が国の農作業では、ひとりで行う場面が多く、万一事故が発生しても発見されるまでに時間を要し、迅速な救命活動が困難な状況に置かれている。高齢者が多い家族経営農家ではもちろんのこと、大規模な法人経営やコントラクタであっても単独作業は避けられない上、法人経営等では農業以外から雇用したオペレータも多く、農作業に潜む危険への認知度が低い。こうした状況は、大きな事故リスクとなっていると同時に、大きな経営リスクともなっている。一方、発見が早ければ救命できたと思われる農作業死亡事故事例も少なくない。そこで、大規模法人経営やコントラクタに普及しつつある、乗用農機の稼働状況を遠隔で把握できる等の機能を有する作業・営農支援システムに付加できる安全支援機能及び、高齢農業者にも多く使われている古い乗用農機にも後付け可能な安全支援装置を開発する。

平成 28 年度は、それぞれに向けた安全支援機能の改善を図るとともに、各種試験や農作業現場への供試時に動作確認を行い、さらなる課題を抽出した。

2. 方法

- 1) 営農・作業支援システムに搭載する安全支援機能として平成 27 年度に試作した、転落転倒時に予め設定した連絡先に位置情報とともにメール送信する機能については、トラクタに搭載した傾斜センサで測定された左右方向の傾斜角が 20° 以上の状態で 10 秒間継続した時点で転倒と判断する転倒判断アルゴリズムとしていたが、傾斜面走行中の転倒していない状態での誤発信が確認された。そこで、平成 28 年度は、誤発信を防ぐとともに転倒時には確実に検知できるようにするため、既往の研究結果（引用・参考文献 1）を参照）を踏まえて、傾斜角のしきい値を 45° 、継続時間を 2 秒間へと変更し、通報機能を含むセンサ単体の動作確認を行った。

2) 後付け可能な安全支援装置として、スマートフォン (OS : Android) を利用した、危険箇所接近時に警報を発するアプリを平成 27 年度に試作したが、危険箇所を示すマーカーの赤色変化だけでは、危険箇所接近時の警報としては不十分であること、また接近速度の高低により危険箇所への到達時間が変わり、場合によっては十分な警告効果が得られないこと、危険箇所がどのように危険なのかについて表現できていないことなどが要改善点として挙げられた。そこで平成 28 年度は、課題として挙げられた警告の方法やタイミング、危険箇所種別の表現方法等の改善を図った。

3) もう一つの後付け可能な装置として、ICT 企業が開発した、人の状態・環境等を遠隔から把握できるリストバンド型ウェアラブルセンサを利用し、加速度や気圧等の測定データを基に作業者自身の転倒転落を検知する機能の農作業への適用可能性を検討するため、平成 27 年度は作業台からの飛び降りやマネキンをを用いた機能確認を実施したが、データのサンプリングに問題があり、有効性の判断までには至らなかった。そこで、平成 28 年度は、転倒・転落アラームの発生状況や有効性等を確認するため、センサ単体を用いた機能確認試験を行った。また、同センサが持つ熱中症対策ツールとしての機能を確認するため、作業者が各種農作業を行った際の作業者近辺の温度や湿度を基にした身体熱環境指数 (メーカー独自の評価値) や手首で検知する方式の脈拍推定値を調べた。さらに、農作業中の転倒・転落を含む各種アラーム発生の有無や誤検知した場合の要因について調査し、同センサの要改善点の抽出を行った。

3. 結果の概要

1) 転倒判断アルゴリズムの変更後、傾斜センサ単体を左右 45 度以上の状態で 2 秒間以上保持したところ、トラクタ固有番号や所有者、転倒発生日時や位置情報付きのメール (図 1) が送信されることを確認した。また連続転倒が発生した時においても、図 1 の状態 A から状態 B の間の状態変化が 2 秒未満という短い時間の中で発生しない限り、本アルゴリズムで転倒検出が可能と考えられた。

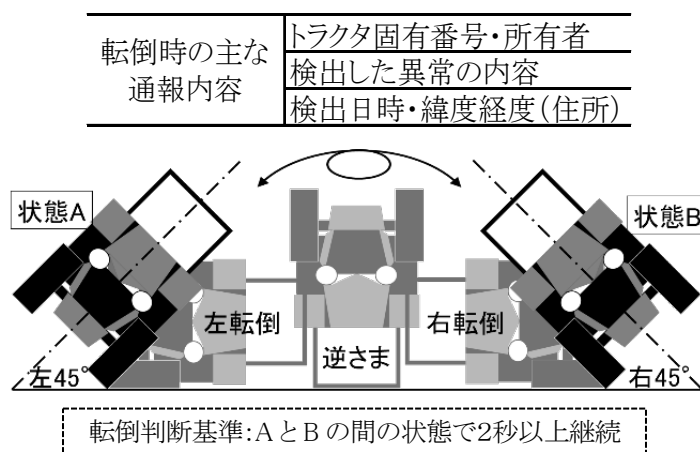


図 1 転倒時通報内容と転倒判断基準

2) 平成 27 年度は危険箇所までの距離に応じてマーカーを変色させる方式であったが、平成 28 年度は走行速度に影響を受けないように到達予想時間に基づいて警報を発する仕様に変更し、さらに警告を点滅表示、音、振動で行う方式とした。また表示される危険箇所のうち、遠ざかる危険箇所については、安全な走行に直接影響はないと判断し、注意喚起の対象外とする改善を行った。タイミングと表示内容は危険箇所到達予想時間前 30 秒で「注意」、同 20 秒で「警告」、同 10 秒で「危険」とした (図 2)。スマートフォンをトラクタに固定設置し、危険箇所を事前に登録した上

で走行試験を行った結果、走行速度 4.4～30.5km/h で警告タイミングが「注意：26.9～29.1 秒」、
「警告：17.4～18.6 秒」、「危険：7.6～8.6 秒」となり（表）、やや表示遅れがあったものの改善
可能な範囲と考えられ、表示タイミングのばらつきも少なく安定した性能が確認された。また危
険箇所の種類（傾斜が急、道幅が狭いなど）に応じたアイコン（道路標識を参考に作成）を用意
し、画面上で複数登録できるような改善を行った（図2）。しかし30秒到達範囲内に複数の危険
箇所が登録されている場合の表示状況に不具合が認められ、改善の必要があった。



図2 危険箇所接近警報アプリの表示画面

表 危険箇所接近警報アプリの「注意」「警告」「危険」表示タイミング

供試 トラクタ	反 復	速度 (km/h)	危険箇所通過時をゼロとした時の表示 タイミング(秒前) ※カッコ内は標準偏差			
			注意 表示	警告 表示	危険 表示	危険 表示終了
30 PS 級	5	4.4	28.0(0.6)	18.5(0.7)	8.6(0.8)	-1.1(0.2)
		10.1	27.8(0.5)	17.9(0.5)	8.4(0.5)	-1.3(0.4)
		14.1	28.3(0.3)	17.4(0.4)	8.2(0.7)	-1.7(0.3)
90 PS 級	3	10.5	29.1(0.6)	18.5(0.8)	8.6(1.0)	-1.0(0.2)
		20.5	26.9(0.5)	17.5(0.3)	7.6(0.3)	-1.5(0.1)
		30.5	28.4(2.0)※	18.6(0.3)	8.6(0.3)	-1.0(0.1)

※注意表示が出るタイミングで、上空を木々が覆う箇所を走行する試験環境であったため、GPS受信状況が良好でなかった可能性あり

3) ウェアラブルセンサをマネキンの手首から先部分に装着し、落差を数段階に変化させて手首部分のみの擬似的な転倒・転落動作を行い、転倒・転落アラームの発生状況を調べた。その結果、転倒アラームは発生落差条件（メーカー都合により仕様非公開）+5 cm 以上で、転落アラームは同一10cm 以上で確実に発信されることを確認した。

また、WBGT 計（鶴賀電機 401F）による WBGT 値（熱中症予防のための指標、暑さ指数。引用・参考文献 7）では 31℃ 以上で「危険」レベル）とメーカー独自の評価値である身体熱環境指数（作業者近辺の温湿度を基に算出）とを比較した結果、6 月 8 日時点では 5℃ 程度の差異があったのに対し、その後のアルゴリズム改善により 6 月 24 日には差異が減少した（図 4）。心拍計（ポラール RS800CX）による心拍数と同センサによる脈拍推定値とを比較した結果、脈拍推定値が正しく取得できた場合があった一方で、うまく取得できない場合もあった（図 5 上）。これには手首への同センサの密着具合が測定精度に影響している可能性があり、装着方法の統一など今後の課題と考えられた。また、転倒アラームについては休憩中やキャブ内でのスイッチ操作時に数回発信された（図 3）ものの、誤検知はほとんど無かった。なお、アラーム発生時に装着者が警告内容を瞬時に把握する手段がないなどの改善すべき点については、整理した上でメーカー側へフィードバックした。



図3 センサ装着試験および転倒誤検知例

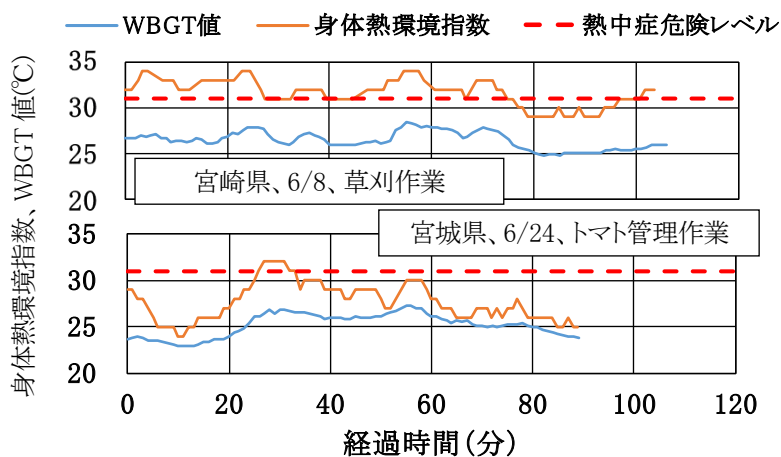


図4 身体熱環境指数とWBGT 値の比較例

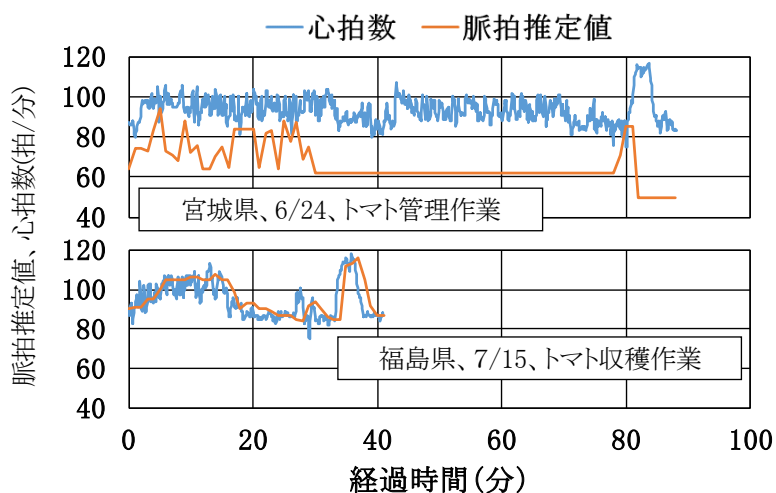


図5 脈拍推定値と心拍数の比較例

4. 今後の問題点と次年度以降の計画

営農・作業支援システム向け転倒時緊急通報機能については、トラクタ実装状態で各種動作（作業）を行った時の、傾斜センサ誤検出有無を確認する。

危険箇所接近警報アプリについては、複数の危険箇所が近くに存在する場合の表示の不具合を改善する。また複数の端末で危険箇所を共有して活用する方法について検討する。

ウェアラブルセンサについては、改善版を農作業現場に引き続き供試して要改善点の抽出を行う。また脈拍推定値の安定取得を目的として、手首へのセンサ装着方法の統一化等の改善を図る。

5. 引用・参考文献

- 1) 小林恭他、携帯電話を活用した農作業緊急情報通報装置、2001年度成果情報、農研機構、2001
- 2) 青田聡他、スマートフォンを使ったトラクタ転倒通報システム、平成24年度研究成果情報、福島県農業総合研究センター・福島県ハイテクプラザ・アサヒ電子株式会社、2012
- 3) 新熊章浩、ヤンマー「スマート アシスト リモート」システムについて、農業食料工学会誌、Vol. 76, No. 4, 295-299、2014
- 4) 富士通株式会社、「富士通ユビキタスウェア」、<http://www.fujitsu.com/jp/solutions/innovative/iot/uware/>

- 5) 志藤博克他、乗用農機の安全支援機能の開発、平成27年度試験研究成績 農業機械の安全性に関する研究 (36報)、23-27、農業技術革新工学研究センター、2016
- 6) 農林水産省、平成27年に発生した農作業死亡事故の概要、2017
- 7) 日本生気象学会、「日常生活における熱中症予防指針」Ver.3確定版、2013、<http://seikishou.jp/pdf/news/shishin.pdf>

本報告の取扱いについて

本報告の全部又は一部を無断で転載・複製
(コピー) することを禁じます。
転載・複製に当たっては必ず当センターの
許諾を得て下さい。

(お問合せ先：企画部 連携推進室)

平成28年度 試験研究成績
農業機械の安全性に関する研究 (第37報)

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
農業技術革新工学研究センター
<http://www.naro.affrc.go.jp/iam/>

〒331-8537 埼玉県さいたま市北区日進町1-40-2
Tel. 048-654-7000 (代)

発行 平成29年9月30日