様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科研費
KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　元 年　 ６ 月 １８ 日現在

機関番号：１３１０２
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2015～2018
課題番号：１５Ｈ０２９７８
研究課題名（和文）人と不整地作業機械が協調するハイブリッド転倒安全システムの基盤構築

研究課題名（英文）Construction of the fundamentals of a hybrid safety system for tipping in which related human and off-road working machines cooperate

研究代表者
阿部　雅二朗（ABE，MASAJIRO）

長岡技術科学大学・技術経営研究科・教授

研究者番号：６０２１２５５２

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　13,600,000円

研究成果の概要（和文）：不整地作業機械の各種稼働現場で機能する実現性の高い安全システムの開発に資するよう、不整地作業機械モデル等を用いた実験解析、転倒回避システムの設計及び試作、VR機器を組込むハイブリッドシミュレータの開発のほか、高精度三次元動的バーチャルシミュレータを構築して解析し、総合的に考察した。さらに、人と機械が協調するハイブリッド転倒安全システムの原理を考案し、同システムの基盤を構築した。協調が機能しない場合の多重防護対策として、機械が転倒限界状態を超過する前に安定状態へ自然復帰する転倒回避システムの基本設計からバーチャルシミュレータ上試作までも実施し、その発展性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
本研究で基盤を構築したハイブリッド転倒安全システムは、移動式クレーンほか多様な不整地作業機械に広く応用できると考えられ、これら機械の基本要求機能である転倒安全性の快適な確保に貢献できる。今後、発展途上国の開発やインフラ整備等で不整地作業機械の使用頻度の増加が予想され、運転者の熟練度及び作業環境の多様化により転倒事故の増加が懸念される。この問題解決にも資する本研究成果は世界的に人的・経済的損失の削減にも寄与できると期待され意義深い。

研究成果の概要（英文）：To contribute to the development of a highly feasible safety system that functions in various operation sites of off-road working machines, experimental analysis using off-road working machine model etc., design and trial manufacture of tipping prevention system as well as hybrid simulator incorporating VR equipment were conducted. A high-precision three-dimensional dynamic virtual simulator was also developed. By using these, analyzed results were comprehensively discussed. Furthermore, we devised the principle of a hybrid tipping safety system in which related human and machines cooperate, and built the foundation of the system. As a multiple protection measure when cooperation does not function, basic design of the tipping avoidance system which returns to the stable state naturally before the machine exceeds the tipping limit state was implemented from the basic design to the virtual simulator trial production, and its feasibility was shown.

研究分野： 機械安全設計工学

キーワード： 安全工学　機械力学・制御　建設機械　不整地　人間工学

ISO4305>Mobile crane -Determination of stability

[1]

Dong. H [2]

[3]

Towarek [4]

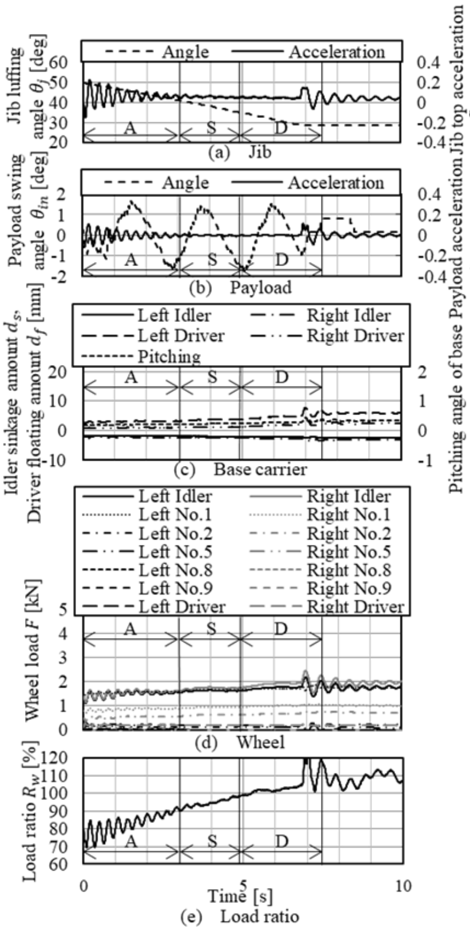
HILS Hardware In the Loop Simulation

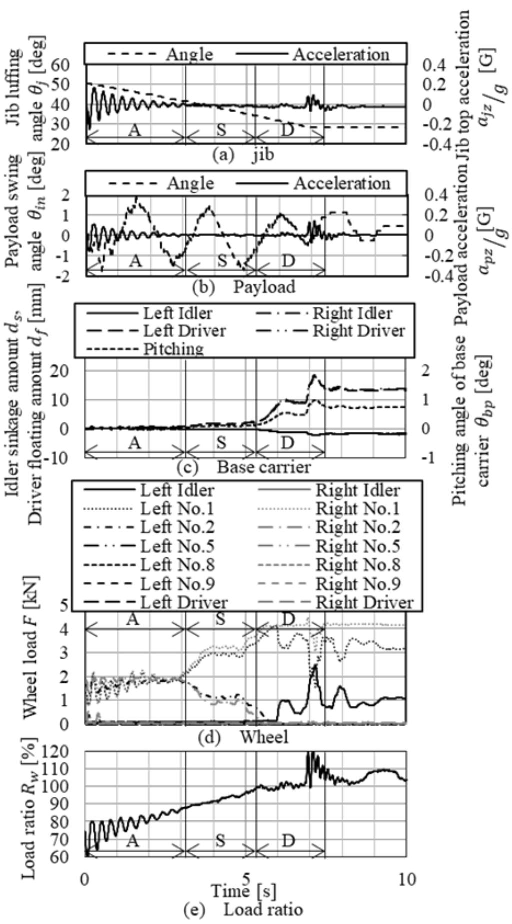
[1] Vol.54 pp.103 2011.
[2] Dong. H Research on overhead crane training system and its construction based on virtual reality Artificial Intelligence and Education (ICAIE) pp.206-209 2010.
[3] No.28 pp.143 2010.
[4] Towarek, Dynamic stability of a crane standing on soil during the rotation of the boom, International Journal of Mechanical Sciences, Vol.40-6,pp.557-574, 1998.

□ 1. YZ8þæ ƒ

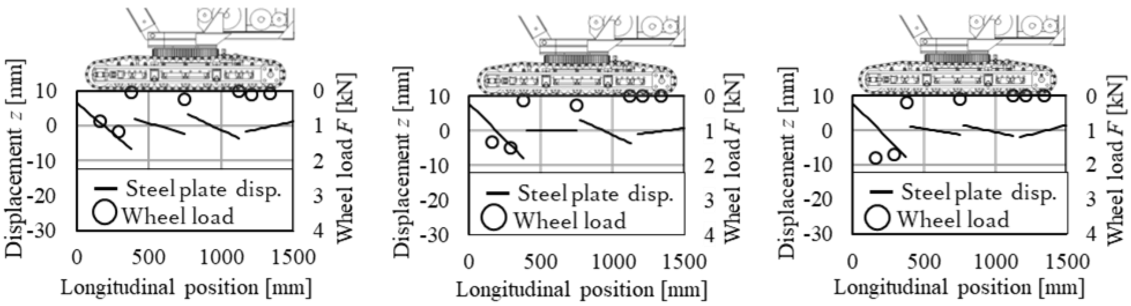
W 2 þ5B

	Case	1	2
Ground conditions	Material	Steel plates on soft soil	Steel
	Max contact pressure p_{max}[kPa](Jib luffing angle θ_j = 30[deg])(Static state)	32	101
	Ground’s yield pressure q_y [kPa]	48	-
	Average penetration resistance[kPa]	385	-
	Max contact pressure/ Ground’s yield pressure [-]	0.67	-
Crane working conditions	Load ratio R_w[%](Jib luffing angle θ_j = 30[deg]) (Static state)	100	100
	Payload lifting direction	Forward	Forward
	Initial jib luffing angle[deg]	51.5	50.4
	Jib luffing angle at operation stop[deg]	28.2	28.6
	Jib luffing time length[s]	6.86	6.91
	Drum rotation velocity[rpm] (Steady state)	21.1	21.0

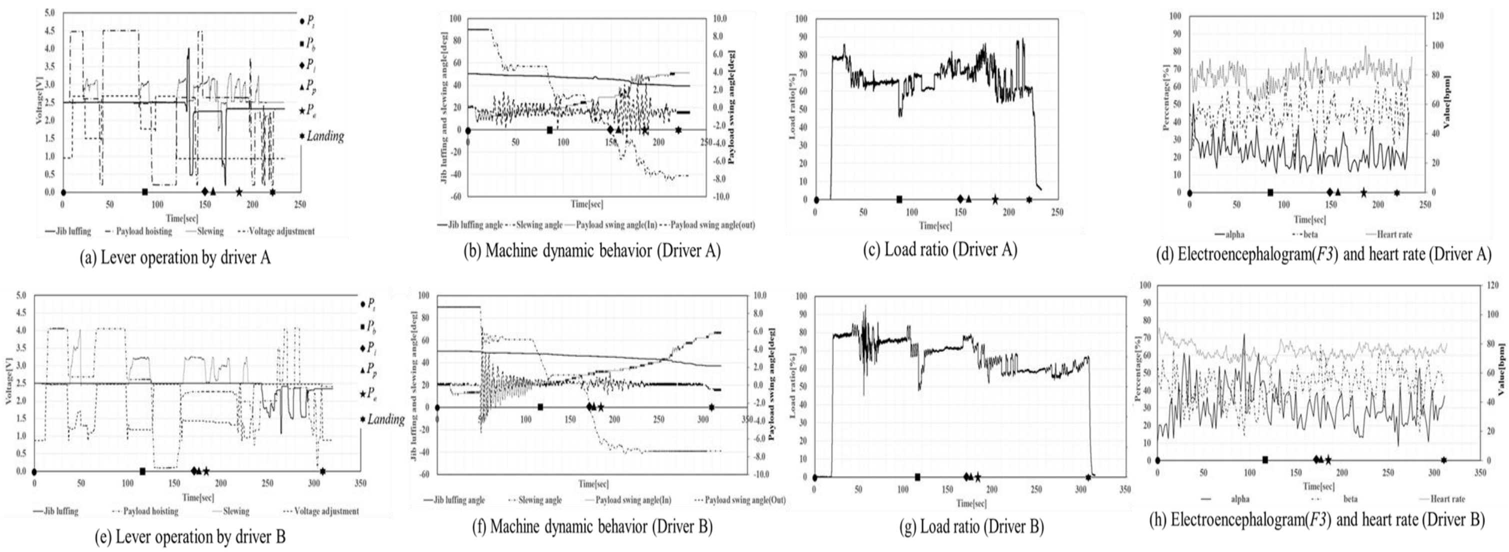




W 3 ... W 4 ...



W 5 ...


(a) Lever operation by driver A
(b) Machine dynamic behavior (Driver A)
(c) Load ratio (Driver A)
(d) Electroencephalogram(*F3*) and heart rate (Driver A)
(e) Lever operation by driver B
(f) Machine dynamic behavior (Driver B)
(g) Load ratio (Driver B)
(h) Electroencephalogram(*F3*) and heart rate (Driver B)

W 6 ...

8鈴 3 ó
□ 1ケ 7ቶ 7§ å rø .(5 ô Ò – ð
鈴鈴 pM0ȼ84sbs8ǥM090¥Ò
ȋc2ƶ4¤ 53)rȋn ₿ 28 ″ 3 v 5 ¥5% 65w
& 2ケ 7ቶ 7§ ¾ ª æÝ ̀ å rø ð
u2A%0ȼKS鈴 $鈴M090Ò
ȋc2ƶ4¤ 54)rȋn ₿ 29 ″ 3 v 9 ¥% 5 w
& 3ケ 7ቶ 7§ 0Y hǂ ð 6 · .(M
YZ8ȹSub鈴 26 G 30
v46鈴 29 ″ 12 v 4 ¥0Ó w
& 4ケ 7ቶ 7§ æÝ ̀ ¾ ª ð
5ȸKS3Eu2A%0ȼKS鈴$鈴Mö
&90ȋc2ƶ4¤ 55)rȋn ₿ 30 ″ 3 v 3 ¥
% &
& 5ケ 7ቶ 7§ 6 · ð
ȴ8V0ȼKS鈴3鈴pMW42nȸ,5-â
ȉbs8ǥM090ȋc2ƶ4¤ 56)rȋn „
B 31 ″ 3 v 2 ¥%)鈴

4> %))˚
(1)%(*
%(鈴 ¡ 7o
鈴 SUGIMOTO MITSUTAKA
d%ρa鈴 6鈴
4鈴 鈴7T
鈴 M5
%$ 8 50196755

%(鈴 9×
鈴 TAKAHASHI OSAMU
d%ρa鈴 6鈴
4鈴 鈴7T
鈴 M5
%$ 8 60236263

%(鈴 751´ ´
鈴 SHIONOYA AKIRA
d%ρa鈴 6鈴
4鈴 鈴7T
鈴 M5
%$ 50187332

%(鈴 ð
鈴 NAKAGAWA CHIKARA
d%ρa鈴 鈴d9&6Û
4鈴 7Ďd鈴
鈴 M5
%$ 70249811

%(鈴 .(5 ô
ß 鈴 HUJINO TOSHIKAZU
d%ρa鈴 鈴Û
4鈴 鈴7T
鈴 M5
%$ 70508514