

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 25 日現在

機関番号：53901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560275

研究課題名(和文)安全性と作業性を考慮したマン・マシン融合天井クレーン液体タンク搬送システムの開発

研究課題名(英文)Development of the man-machine fusion overhead traveling crane liquid tank carrier system in consideration of safety and workability

研究代表者

兼重 明宏(KANESHIGE, AKIHIRO)

豊田工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：70224615

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：クレーン作業者が音源情報を与え、その音源方向へ障害物を回避し搬送する経路を自動的に導出する障害物回避経路計画システムおよび搬送中のタンク内液体振動を抑制する搬送制御システムの開発を行った。まず、天井クレーンの3次元搬送機構の開発とスロッシング解析を行い、制振性に効果のある2自由度搬送制御系を構築した。次に、音源方向定位を用いた自動搬送経路計画システムの開発では、経路計画システム開発と実時間処理への対策として、目的地と障害物の情報のみで経路計画が可能となる障害物回避経路手法を提案し、アルゴリズムの開発とシミュレーションおよび実験検証により、システムの妥当性、有用性の検証を行った。

研究成果の概要(英文)：Developed the transportation control system which restrained the liquid vibration in the obstacle avoidance path planning system which derived a path to evade an obstacle, and to convey it to the sound source direction automatically and a tank conveying.

At first, the three-dimensional transportation mechanism of an overhead traveling crane was developed and the sloshing analysis was carried out. Furthermore, in order to improve the vibration suppression of the liquid, 2-degrees of freedom control system is constructed.

Then, in the development of the automatic path planning system using the sound source direction localization, the on-line obstacle avoidance path planning system which extended the obstacle avoidance path planning method of the autonomous mobile robot which Srinivas has proposed to the three-dimensional obstacle avoidance path planning system are developed. And the validity or usefulness of the proposed system was evaluated by simulations and experiments.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：天井クレーン 液体タンク 振動抑制 自律化 音源方向定位 障害物認識 障害物回避 経路計画

1. 研究開始当初の背景

FMS(Flexible Manufacturing System)の運用を考える際、各種生産工程間における搬送システムは重要な要素であり、その中でも、天井クレーンは、a)敷地内の上下方向を移動することにより、敷地面積をとらない、b)3次元空間を自由に移動することで敷地内に置かれた障害物を回避するなどのフレキシビリティがある、c)搬送システムを構築する際のコストが少なくすむなど、2次元の搬送システムに比べて、その利点は多く、応用範囲も広いと考えられ、FMS運用の自由度を高めるためにも、搬送システムの自動化が望まれる。鉄鋼や鋳造業における溶湯搬送では、高温で重量のある溶湯を、安全に且つ効率的に運ぶためには、溶湯タンク内の液体の振動(スロッシング)を抑え、目的地に短時間で自動的に搬送する天井クレーンシステムの役割は大きく、その自動化、自律化が特に望まれる。

一方、天井クレーンによる液体搬送を考えた場合、液体の入ったタンクの吊り下げ用ロッドの振れやタンク内の液体振動(スロッシング)が発生し易く、それにより液体の溢流など危険であり、ノロなど異物の溶湯内への巻き込みによる品質劣化を引き起こしてしまう。このため現状では、オペレータの手動運転や経験的なパターン制御によるクレーン走行が行われているのが現状である。液体搬送の自律化について、研究代表者らはこれまでに「自律走行天井クレーン液体タンク搬送制御システムの開発」を行っている。

しかし、実システムでの運用を目指した場合、搬送目的位置情報を人間が機械的に与え、完全無人運転を行うよりも、人間の優れた柔軟な判断能力と機械の優れた経済性、信頼性の利点を生かし、(a)監視と操作は作業員(人間)に依存させる。(b)障害物認識、目標軌道の導出や荷振れを抑制するための制御入力に機械的(自動的)に与える。(a)を(b)を融合させ、人間と機械のインターフェイス機能を有するマン・マシン融合システムが安全性と作業性の観点から優れており、作業現場からのニーズもある。人間と機械のインターフェイス機能を充実させることで、3次元空間を自由に移動でき、かつ安全性や作業性を兼ね備えたFMS運用に対応したクレーン搬送制御システムの開発ができると考える。

2. 研究の目的

マン・マシン融合システム構築のため、申請者らが別の研究テーマで提案している音源方向定位を用いた移動ロボットを3次元へ拡張し、クレーン作業員が音源情報(指令)を与えることにより、その音源方向へ搬送する経路を自動的に導出する経路計画システムの開発を行う。そして、開発済みの障害物認識システムと統合し、搬送経路上にある障害物を認識し、新たな障害物回避経路を生成する。さらに、その経路に追従し搬送中や搬

送停止時のタンク内液体振動の抑制を考慮した搬送制御システムを構築する。これらのシステムを統合した「安全性と作業性を考慮したマン・マシン融合天井クレーン液体タンク搬送システムの開発」を行う。

3. 研究の方法

「安全性と作業性を考慮したマン・マシン融合天井クレーン液体タンク搬送システムの開発」に対して、以下に示す本研究で取り組む課題を解決して研究を遂行する。

(1)天井クレーンの3次元搬送機構(ハードウェア)の開発とスロッシング解析
タンクの上下機構(ロッド長さ可変)を付加し、ロッド長の変化による3次元方向搬送に対する各種タンク(円筒などの)形状でのスロッシング発生メカニズムを解明する。

(2)天井クレーンによるタンク内液体搬送制御システム(ソフトウェア)の開発
タンクの上下機構による可変システムに対する制振性に効果のある目標指令値の生成と目標軌道への追従性を向上させるフィードバック制御系を組み合わせた2自由度制御系を構築する。

(3)音源方向定位を用いた自動搬送経路計画システムの開発
音源方向の情報から搬送方向を決定し、自動的に搬送経路を導出し、目的地まで障害物を回避しながらなるべく短時間で搬送を行うシステムを開発する。

(4)実操業を十分考慮した搬送制御システムの開発
実験解析を行い、実システムへの適用を考えた場合の問題点や課題を提起する。

4. 研究成果

本研究では、タンク内の液体振動を抑え、目的地に短時間で自動的に搬送する「安全性と作業性を考慮したマン・マシン融合天井クレーン液体タンク搬送システムの開発」を行った。マン・マシン融合システム構築のため、クレーン作業員が音源情報(指令目的情報)を与え、その音源方向へ障害物を回避し搬送する経路を自動的に導出する障害物回避経路計画システムおよび搬送中のタンク内液体振動を抑制する搬送制御システムの開発を行った。まず、天井クレーンの3次元搬送機構の開発とスロッシング解析を行い、制振性に効果のある目標軌道を生成するフィードフォワード制御系と目標軌道への追従性を向上させるフィードバック制御系を組み合わせた2自由度搬送制御系を構築した。次に、音源方向定位を用いた自動搬送経路計画システムの開発では、経路計画システム開発と実時間処理への対策として、目的地と障害物の情報のみで経路計画が可能となる2次元の自律走行ロボットの障害物回避経路手法を3次元への拡張することを試み、アルゴリズムの開発とシミュレーションおよび実験検証により、制振効果、経路計画

回数, 最短経路や最小エネルギー経路といった評価について, システムの妥当性, 有用性の検証を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① A.Kaneshige, Y.KAWASAKI, S.Ueki, T. Mivosi and K.Terashima: A Design of the Tele-operation Control System for Liquid Container Transfer by an Overhead Traveling Crane, Proc. of 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation(REV2014), Porto(Portugal). Feb.25-28, Mar.1(2014.2),pp.29/30.
- ② A.Kaneshige, Y.Kawasaki, S.Ueki, S.Nagai: Development of an Autonomous Mobile Overhead Traveling Crane with on-line Obstacle Recognition and Path-Planning Based on Obstacle Information -The design of a transfer control system in consideration of oscillating control-, Proc. of The 2013 2nd International Symposium on Computer, Communication, Control and Automation (3CA 2013), Singapore,(2013-12),pp.468/473.
- ③ H.Kato, S.Ueki, A.Kaneshige, T.Mivosi and K.Terashima: A Design of an Overhead Crane Tele-operation Control System, Proc. of IEEE International Conference on Mechatronics(ICM2013), Vicenza (ITALY). Feb.27-28, Mar.1(2013.2,3),pp.868/873.
- ④ A.Kaneshige, S.Ngai, S.Ueki, T.Mivosi and K.Terashima: Development of the Autonomous Overhead Travelling Crane with Real Time Path-Planning Based on Obstacle Information, Proc. of 13th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems CTS'2012 Sofia(Bulgaria),Sept.12-14,2012,(2012-9),pp.274/279.
- ⑤ A.Kaneshige, S.Ngai, S.Ueki, T.Mivosi and K.Terashima: An Algorithm for On-line Path Planning of Autonomous Mobile Overhead Traveling Crane Based on Obstacle Information, Proc. of 2012 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE) Seoul(Korea). August 20-24, 2012, CD-ROM,(2012-8),pp.780/785.
- ⑥ Tran Quoc Trung, Takanori Mivosi, Takashi Imamura, Makoto Honda, Masayuki Okabe, Shinya Oyama, Yuzuru Ohba, Tomoyasu Ichimura, Yoshihito Sawaguchi, Yasunori Kawai, Akihiro Kaneshige, Hideo Kitagawa, Masakatsu Kawata, Eiji Nishiyama, Kazuhiko Terashima: Educational Joint Project Between NCT and TUT in Japan using Tele-Control System, Proc. of the 18th IFAC World Congress, Milano (Italy), (2011-8,9),pp.5188/5194.
- ⑦ S. Ueki, H. Kawasaki, T. Mouri, A. Kaneshige: Object Manipulation Based on Robust and

Adaptive Control by Hemispherical Soft Fingertips, Proc. of the 18th IFAC World Congress, Milano (Italy) (2011-8,9),pp.14654/14659

- ⑧ S.Ngai, A.Kaneshige and S.Ueki: Three-Dimensional Obstacle Avoidance Online Path-Planning Method for Autonomous Mobile Overhead Crane, Proc. of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Beijing(China), CD-ROM,(2011-8),pp.1497/1502.

[学会発表] (計 6 件)

- ① 兼重明宏, 兼重直樹, 上木諭, 三好孝典, 寺嶋一彦, 天井クレーンによる液面振動抑制を考慮した液体タンク搬送制御系の設計, 第 14 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, (2013. 12), pp. 481/484.
- ② 川崎雄大, 高木元気, 上木諭, 兼重明宏: 自律型天井クレーンシステムの開発, 第 55 回自動制御連合講演会講演論文集, (2013. 11), pp. 206/209.
- ③ 加藤浩斗, 上木諭, 兼重明宏, 三好孝典, 寺嶋一彦: 天井クレーン遠隔遠隔搬送制御の設計, 第 13 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, (2012. 12), pp. 986/991.
- ④ 兼重明宏, 永井駿介, 上木諭, 三好孝典, 寺嶋一彦: 自律型天井クレーンシステムの開発—オンライン障害物回避経路計画システムの開発—, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, (2012-5), CD-ROM, 1P1-I09.
- ⑤ 永井駿介, 兼重明宏, 上木諭, 寺嶋一彦, 三好孝典: 天井クレーンにおけるオンライン経路計画法—第 2 報経路の妥当性の評価—, 第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, (2011. 12), pp. 1355/1358.
- ⑥ 永井駿介, 兼重明宏, 上木諭, 寺嶋一彦, 三好孝典: 天井クレーンの 3 次元オンライン経路計画, 第 54 回自動制御連合講演会講演論文集, (2011. 11), pp. 973/976.

[図書] (計 1 件)

- ① 豊橋技術科学大学・高等専門学校制御工学教育連携プロジェクト: 制御工学, 実教出版, (2012. 3) 編修, 第 8 章, 第 12 章執筆担当.

② [産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:

種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

兼重 明宏 (KANESHIGE AKIHIRO)
豊田工業高等専門学校・機械工学科・教授
研究者番号：7 0 2 2 4 6 1 5

(2) 研究分担者

上木 諭 (UEKI SATOSHI)
豊田工業高等専門学校・機械工学科・講師
研究者番号：5 0 4 6 7 2 1 3
三好 孝典 (MIYOSHI TAKANORI)
豊橋技術科学大学・工学研究科・准教授
研究者番号：1 0 3 4 5 9 5 2
H23, H24 → H25 研究協力者へ変更

(3) 連携研究者

なし