

電子・情報工学専攻		学籍番号	073217	指導 教員	寺嶋 一彦 三好 孝典
申請者 氏名	渋谷 涼太				

論文要旨 (博士)

論文題目	自律走行型自動注湯ロボットにおける容器傾動を考慮した液面制振制御と落下位置推定
------	---

(要旨 1,200字程度)

飲料、薬品、熔融金属などの液体を扱う産業では速く安全に運び、正確に注ぐ技術が生産効率向上に重要な役割を持っている。特に自動車産業では、多数の主要部品が鋳造によって生産されており、鋳型へ溶湯（熔融金属）を効率よく注ぎ入れ、素早く運ぶことが求められる。

著者らは、注湯プロセスの自動化において自律走行型自動注湯システムを提案している。自律走行型とは生産ライン上で搬送している(動いている)鋳型に対して、湯口を検知し、取鍋を追従搬送させながら溶湯を注ぐシステムである。これまで、本研究室では取鍋や鋳型を搬送する際に起こる液面振動の抑制制御や、注湯流量と落下位置を制御する研究が成されており、様々な成果を挙げている。本論文では特に搬送や注湯動作における液体形状の変動を考慮した、より実現象に近い制御モデルの構築と液面振動の抑制制御について述べる。

溶湯を注ぎながら搬送する際に励起する液面振動を抑制するためには、取鍋サイズや傾動角度の状態に応じて、リアルタイムで固有周波数を推定する必要がある。これを実現するために、傾動による固有周波数の変動量と液体形状を表す変数を用いて主成分分析を行い、幾つか取鍋サイズを変更したシミュレーションを通して、変動に起因する主成分を統計的に算出した。また主成分に基づき固有周波数を推定する回帰式を導出した。回帰式はロードセルとエンコーダ情報をフィードバックすることで固有周波数をリアルタイムで推定することができ、推定値を阻止周波数とするノッチフィルタへと逐次切替えることにより、取鍋サイズの変更や傾動した場合においても常に液面振動を抑制する搬送システムを構築することができた。

搬送の加減速や取鍋サイズが大きい場合には高次モードの液面振動が発生しやすく、液面は波状の曲線となる。また加減速時において、液面は慣性により傾きを生じる。そこで、高次モードの振動や傾きを正確に推定するために、液体の連続式、圧力式、境界条件式に基づき、境界要素法を用いた式変換と線形近似によって、実現象を精度よく表現する線形の状態方程式を導出した。さらにモデル予測制御手法を用いて、液面境界点の変動を零に近づけながらも高速で搬送させる制御入力を導出し、搬送と搬送方向の傾動動作を同時に制御することにより、ほぼ液面を傾けずに高速で液体を搬送する制御システムを構築した。

注がれる液体の落下軌跡に関して、落下する液体は、重力・表面張力によって下方に落下するほど中央に引き寄せられ、また、搬送による慣性力が作用するため落下位置が乱れる。これらの現象を考慮して落下位置を予測するために、二組の多重振子を用いた液体落下流線モデルを構築した。多重振子の質量や長さは、流速や液体の性質に応じて理論式を用いて同定することで、より実現象に近い落下軌跡を表現することができる。液体落下流線モデルは液面振動モデルと同時に用いてモデル予測制御を利用することにより、搬送と注湯の統合システムに関する展望が述べられる。

Department	Electronic and Information Engineering	ID	073217
Name	Shibuya Ryota		

Supervisor	Terashima Kazuhiko Miyoshi Takanori
------------	--

A b s t r a c t

Title	Sloshing Suppression Control during Tilt Motion and Falling Position Estimation of Liquid in Self-Transfer Type Automatic Pouring Robot
-------	---

(800 words)

In plants where liquids such as beverages, chemicals or molten metal are handled, technology for accurate pouring, rapid transfer and safety have an important role in the improvement of production efficiency. Such technology is essential in the automotive industry where many components are produced by casting. Thus, control is required for efficient pouring of molten metal into molds.

The authors have proposed the self-transfer automatic pouring system for pouring process automation. "Self-transfer" means that a ladle is transferred automatically following a detected sprue cup position while a mold is conveyed on a production line. The authors previously proposed sloshing suppression control during transfer of a ladle or a mold, flow rate control and falling position control of the pouring liquid. This paper presents the control model approximating actual phenomena and sloshing suppression control using the model, which reflect consideration of the variation in liquid shape during tilting motion

In order to suppress the sloshing caused by transfer while molten metal is poured, the natural frequency must be estimated depending on a ladle size and a tilt angle in real time. To realize a real-time estimation system, the principal components attributable to variation of the natural frequency are statistically calculated through simulations using several ladle sizes. The regression equation for estimating the natural frequency is also derived based on the principal components. This equation can estimate the natural frequency in real time by feedback of load-cell and encoder values. A liquid transfer system was built that can constantly suppress sloshing when ladle size is changed or the ladle is tilted.

High-order-mode sloshing is likely to occur when transfer is accelerated or ladle size is large, and the liquid surface is expressed by the wave. The liquid surface is also tilted by inertia of transferring. Therefore, the linear state equation is derived that can accurately express actual phenomena by using the boundary element method and linearization based on the liquid continuous equation, pressure equation and boundary equation. Moreover, the liquid transfer control system is built using the model predictive control method. This system can completely suppress sloshing while the ladle is transferred rapidly. The variations of liquid surface boundary points are expressed as almost zero in the experimental results.

In the pouring liquid trajectory, the gravity force and surface tension of liquid pull the falling stream-tube toward the center. The falling liquid position is also moved by the inertial force of transferring. In order to take account of this phenomenon in predicting the falling liquid position, a novel model of the falling liquid stream is built by using a pair of multi-pendulums. The masses and the lengths are identified by using a theoretical equation that includes flow velocity and liquid characteristics. Through water experiments and model simulation, it is clarified that the proposed model agrees well with actual phenomena. A falling liquid position control system employing the proposed model will be constructed that can design transfer velocities in real time by using the predicted falling liquid position of molten metal. When the novel predictive control system employing the falling liquid stream model and the liquid vibration model is built, the authors will present their conception of an integrated system for transferring and pouring motion.