

# 学 位 論 文 の 要 旨

## Study on Design Methods for Modified Smith Predictor

(修正スミス予測器の設計法に関する研究)

氏 名 MAI THI NGHIA 印

A Smith predictor was proposed by Smith to overcome time-delay. It is well known as an effective time-delay compensator for a stable plant with large time-delays. However, the Smith predictor cannot be used for time-delay plants having an integral mode, because a step disturbance will result in a steady state error. To overcome this problem, Watanabe and Ito proposed a design method for a modified Smith predictor for time-delay plants with an integrator. Because the modified Smith predictor cannot be used for unstable time-delay plants, De Paor and Egan, Kwak et al. proposed a design method for modified Smith predictor for unstable time-delay plants. Thus, several design methods for modified Smith predictor have been published. On the other hand, another important control problem is the parameterization problem, the problem of finding all stabilizing controllers for a plant. The parameterization of all stabilizing controllers for time-delay plants was considered. But that of all stabilizing modified Smith predictor has not been obtained. Therefore, the parameterization of all stabilizing modified Smith predictor for minimum phase time-delay plants was obtained by Yamada and Matsushima. Move over, Yamada et al. expanded the result by Yamada and Matsushima and proposed the parameterization of all stabilizing modified Smith predictor for non-minimum phase systems. Since the parameterization of all stabilizing modified Smith predictor was obtained, we could express previous studies of modified Smith predictor in a uniform manner and could design modified Smith predictor systematically. But, their method cannot specify the input-output characteristic and the feedback characteristic separately. From the practical point of view, it is desirable that the input-output characteristic and the feedback characteristic are specified separately. The control system that can specify the input-output characteristic and the feedback characteristic is called two-degree-of-freedom system. There are two types of two-degree-of-freedom control system. One is the two-degree-of-freedom control system by feed-forward control to improve the input-output characteristic. The other is that by feed-back control to improve the disturbance attenuation characteristic. However, a design method for two-degree-of-freedom modified Smith predictor for time-delay plants has not been

obtained. In addition, when we control practical systems, many disturbances appear as periodic disturbances, such as rotational unevenness in motors and noises and vibrations in automobiles. Therefore, it is important for control system to attenuate periodic disturbances. From these seasons, the purpose of this study is to propose the design method for two-degree-of-freedom modified Smith predictor for time-delay plants and design method for modified Smith predictive control system to attenuate periodic disturbances. This thesis is organized as follows:

Chapter 1 describes the trend of a study on design methods for modified Smith predictor and the purpose of this thesis.

Chapter 2 proposes the parameterization of all stabilizing two-degree-of-freedom modified Smith predictor for multiple-input/multiple-output time-delay plants that can specify the input-output characteristic and the feedback characteristic separately. Move over, the modified Smith predictor is explained control input based on time domain. Finally, a numerical example is illustrated to shown the effectiveness of the proposed method.

Chapter 3 examines a design method for modified Smith predictive control system to attenuate periodic disturbances that often appear in real time-delay plants using the parameterization of all stabilizing modified Smith predictor. However, the modified Smith predictive control system proposed in this chapter cannot specify the input-output characteristic and the disturbance attenuation characteristic separately. To specify the input-output characteristic and the feedback characteristic separately, we propose a design method for stabilizing two-degree-of-freedom modified Smith predictive control system to attenuate periodic disturbances effectively. Finally, a numerical example is illustrated to shown the effectiveness of the proposed design method.

Chapter 4 presents a design method for modified Smith predictive control system for multiple-input/multiple-output time-delay plants to attenuate periodic disturbances. Because many of actual plants are multiple-input/multiple-output plants, to consider for multiple-input/multiple-output time-delay plants is important. First, we expand the result in Chapter 3 and propose a design method for modified Smith predictive control system for multiple-input/multiple-output time-delay plants to attenuate periodic disturbances. Next, a design method for stabilizing two-degree-of-freedom by feed-back control for modified Smith predictive control system for multiple-input/multiple-output time-delay plants to attenuate periodic disturbances and to specify the input-output characteristic and the feedback characteristic separately is presented. Finally, a numerical example is illustrated to shown the

effectiveness of the proposed design method.

Chapter 5 gives concluding remarks.

This study establishes guidelines for the design of two-degree-of-freedom modified Smith predictor. It shows clearly that it is good to use the proposed methods which the method proposed in Chapter 2 to improve the input-output characteristic, in Chapter 3 and Chapter 4 to improve disturbance attenuation characteristic, and can expect to apply to many real systems.

(和訳)

スミス予測器とはむだ時間経過後の出力を予測して制御入力を修正する補償器である。スミス予測器は、大きなむだ時間を持つ安定な制御対象に対して有効であることが知られている。しかしながら、スミス予測器は積分モードを持つ制御対象に適用すると、ステップ外乱を抑制できず定常偏差が生じてしまうという問題がある。この問題を解決するため、**Watanabe and Ito** はスミス予測器を拡張し、積分モードを持つ制御対象にステップ外乱が加わったとしても、ステップ外乱を抑制する修正スミス予測器の設計法を提案している。しかしながら、修正スミス予測器には、**De Paor and Egan, Kwaket al.** は不安定な制御対象に対して適用できないという問題がある。この問題を解決するため、不安定な制御対象に対する修正スミス予測器の設計法を提案している。このように、修正スミス予測器に関する様々な設計法が発表されている。一方、制御系設計の重要な問題のひとつに、安定化補償器のすべてを求める問題、いわゆるパラメトリゼーションの問題がある。これまでに、むだ時間系に対する安定化補償器のパラメトリゼーションが提案されている。しかし、安定化修正スミス予測器のパラメトリゼーションは検討されていない。そこで、**Yamada and Matsushima** は最小位相むだ時間系に対する安定化修正スミス予測器のパラメトリゼーションを提案している。**Yamada et al.** は **Yamada and Matsushima** の結果を拡張し、非最小位相むだ時間系に対する安定化修正スミス予測器のパラメトリゼーションを提案している。安定化修正スミス予測器のパラメトリゼーションが得られたことにより、これまで提案されてきた安定化修正スミス予測器を統一的に扱うことができ、安定化修正スミス予測器をシステムティックに設計することが可能になった。しかしながら、**Yamada et al.** が提案した方法では、制御系の入出力特性とフィードバック特性を独立に指定することができない。実際的な観点から、制御系の入出力特性とフィードバック特性を独立に指定できることが望ましいと言える。入出力特性とフィードバック特性を独立に指定することができる制御系に2自由度制御系がある。2自由度制御系には2種類ある。目標追従特性を改善することに着目したフィードフォワード型と外乱抑制特性を改善することに着目したフィードバック型である。しかし、安定化2自由度修正スミス予測器の設計法はまだ検討されていない。さらに、実際のシステムを制御することを考えた場合、モータの回転むらや、自動車の騒音・振動など、実在する多くの外乱は周期外乱である。しがたって、周期外乱を抑制する制御系を設計することは重要な問題であるといえる。以上の理由から、本研究では、2自由度修正スミス予測器の設計法と周期外乱を抑制する修正スミス予測器の設計法を検討する。本学位論文は5つの章から構成されている。

第1章は緒論で、これまでの修正スミス予測器の設計法の研究動向と、本研究の目的を述べている。

第2章では多入力多出力系に対し、制御系の入出力特性とフィードバック特性を独立に指定可能なフィードフォワード型2自由度修正スミス予測器のパラメトリゼーションを求める問題を提案する。さらに、安定化修正スミス予測器を用いて、制御系の設計手順と制

御入力の時間領域表現を与える。最後に、数値例を示し、本章で提案した設計法の有用性を検証する。

第3章では周期外乱を抑制する修正スミス予測器の設計法を検討する。さらに、提案した設計法を拡張して、周期外乱を抑制するフィードバック型2自由度修正スミス予測器の設計法を与える。最後に、数値例を示し、本章で提案した設計法の有用性を検証する。

第4章では多入力多出力系に対する周期外乱を抑制する修正スミス予測器の設計法を検討する。実際の制御対象の多く、例えば飛行機や人工衛星などの姿勢制御は制御対象が多入力多出力系であるため、多入力多出力むだ時間系に対する修正スミス予測器を検討することは重要な問題であるといえる。まず、第3章の結果を拡張して、多入力多出力系に対する周期外乱を抑制する修正スミス予測器の設計法を提案する。さらに、多入力多出力むだ時間系に対する周期外乱を抑制するフィードバック型2自由度修正スミス予測器の設計法を与える。最後に、数値例を示し、本章で提案した設計法の有用性を検証する。

第5章は結論で、本研究の成果についてまとめている。

本研究では、2自由度修正スミス予測器の設計の指針を確立している。修正スミス予測器の目標追従特性を良くしたい場合は2章で提案した方法を、外乱抑制特性を良くしたい場合は3章と4章で提案した方法を用いると良いことを明らかにしており、多くの実システムに適用することが期待できる。