

連続鋳造機の湯面レベル制御へのH ∞ 制御の適用

Application of H ∞ Control Theory to Mold Level Control of a Continuous Casting Machine

(株)神戸製鋼所加古川製鉄所 松浦 徹*・三木尚司・中尾 勝
 プロセス技術研究所 中井芳秀
 村上 晃・西田吉晴

1. 緒言

連続鋳造機の鋳型内容鋼レベル制御は、鋳片の表面品質と安定操業にとって重要である。加古川製鉄所4号連鋳1ストランド設備は、薄板向けスラブ専用マシンとして現在稼動中であるが、近年の鋳造速度の高速化にともない鋳型内容鋼レベル変動が大きくなってきた。溶鋼レベル変動の低減を目指しH ∞ 制御を用いた制御装置を開発し、良好な結果を得たので報告する。

2. 制御設計

(1)問題点

Fig. 1に、連鋳機の模式図を示す。今回の鋳型内容鋼レベル制御装置を開発するに当たり、以下の様な問題点があった。

- (a)非定常バルジングにより引き起こされる周期10秒以上の外乱
- (b)溶鋼湯面の波立ちによるハンチング
- (c)モデリングの不確かさの存在
- (d)タンディッシュの重量等の変化による連鋳機自体のゲインの変化
- (e)非定常バルジング周期の変動

上記問題点を克服することを今回の制御設計仕様とした。

(2)H ∞ コントローラの設計

①連鋳機のモデル化

ブロック線図をFig. 2に示す。P(s)は連鋳機を、K(s)はH ∞ コントローラを示す。W1(s), W2(s)はそれぞれ重み関数でコントローラを決定する際、設計仕様を満たすよう選択するものである。w, u, z, yはそれぞれ外乱, 操作量, 制御量, 観測出力(湯面レベル)を表す。また、 α はH ∞ 制御問題を解くに当たり演算上の仮定条件を満たすよう設定した補正項である。

②H ∞ 制御問題

Fig. 2のブロック線図から一般化制御対象に対するH ∞ 制御問題を次のように定式化した。閉ループ系は内部安定、且つ、

$$\left\| \begin{matrix} W1(s)S(s) \\ W2(s)R(s) \end{matrix} \right\|_{\infty} < 1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

$$S(s) = (1 + P(s)K(s))^{-1} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$R(s) = K(s) (1 + P(s)K(s))^{-1} \quad \dots\dots\dots (3)$$

W1(s)は設計仕様(a)に対応、W2(s)は設計仕様(b), (c)に対応するものである。重み関数を決定した(Fig.

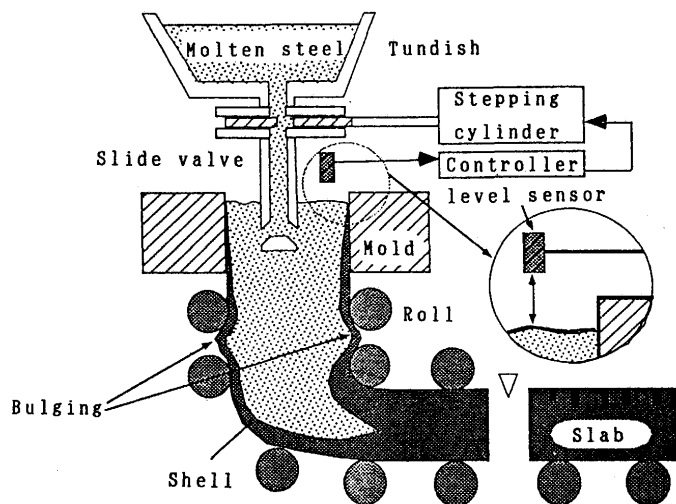


Fig.1. Continuous casting machine.

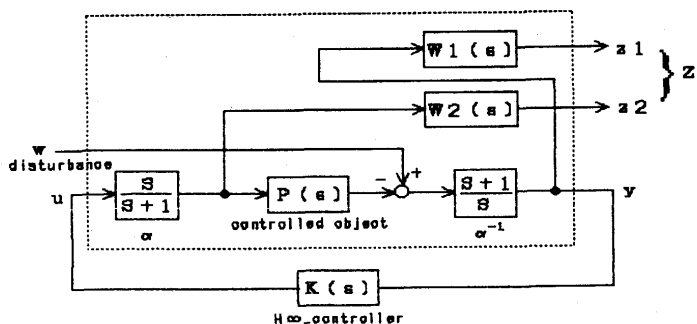


Fig.2. Schematic diagram of the level control system.

3)後, Glover-Doyleのアルゴリズムによりコントローラを求める。

③適応制御の導入

i)連鑄機の特長変化に対する適応 (設計仕様(d))

前述のように H_{∞} コントローラを求めるわけであるが, 例えばタンディッシュ重量等が変化した場合, 制御対象自体のゲインが変化し事になり単一コントローラでは高精度の制御が出来なくなる。

そこで, 制御対象のゲインの変化に応じてコントローラを変更する手段を取り入れ, より精密に制御出来るようにした。

方法としては, 制御対象のゲインに応じた複数の H_{∞} コントローラを準備しておき, 鑄造時物理モデルから逐次演算し得られる制御対象のゲインから対応する H_{∞} コントローラに自動で切り換えるようにした。

ii)外乱の状態変化に対する適応 (設計仕様(e))

さらに, H_{∞} コントローラの設計段階での仕様の一つである抑制すべき非定常バルジング (外乱) の周期が大幅に変化した場合対応がとれなくなる。そこで, 数種類の外乱周期に合わせた H_{∞} コントローラを設計しておき, 鑄造時逐次FFTにより溶鋼レベル変動の周期を観測し外乱周期が適応する H_{∞} コントローラに自動で選択切り換える方法をとった。適応型 H_{∞} 制御のコントローラテーブルをFig. 4に示す。

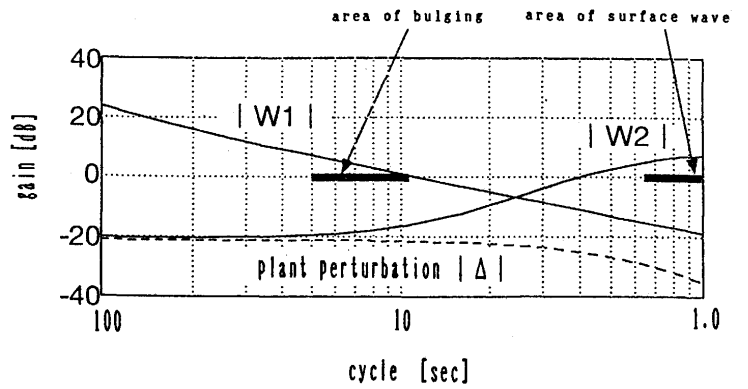


Fig.3. Gain diagram of weighting functions.

switch one controller to another depending on the conditions of the disturbance

	←-----→		
	rule 1 No. 1	rule 2 No. 1	rule 3 No. 1
	No. 2	No. 2	No. 2
	No. 3	No. 3	No. 3
	●	●	●
	●	●	●
	●	●	●
↑ switch one controller to another depending on the gain of the plant ↓	No. 16	No. 16	No. 16

Fig.4. Table of H_{∞} controllers.

3. 制御装置概要

上記コントローラをFig. 5に示す構成でパソコンに実装している。既設PID制御装置との切り換えはオペレータにより行われ, どのタイミングでも行えるようにした。また, ガタ補償量, FFT演算時間, 適応制御の切り換え数値等の設定を可能とし, 将来の鑄造条件の大幅な変化に対応できるものとした。

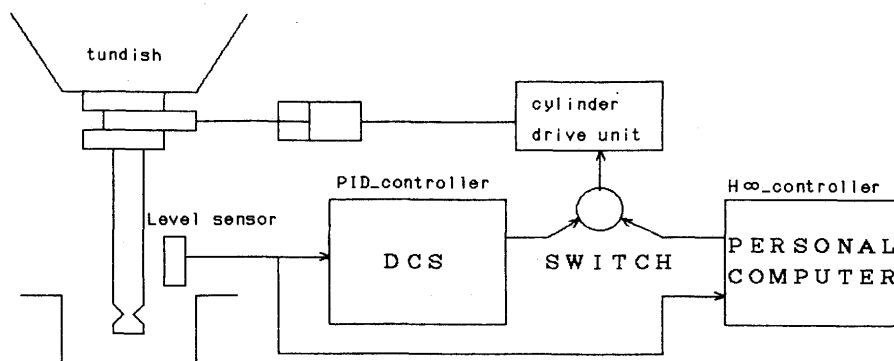


Fig.5. Schematic diagram of control system.

4. 適用結果

加古川 4-1 CCに適用した結果をFig. 6に示す。従来の制御に比べレベル変動を1/2以下に低減した。さらに, 鑄造

速度が変化する非定常時においても効果がある。

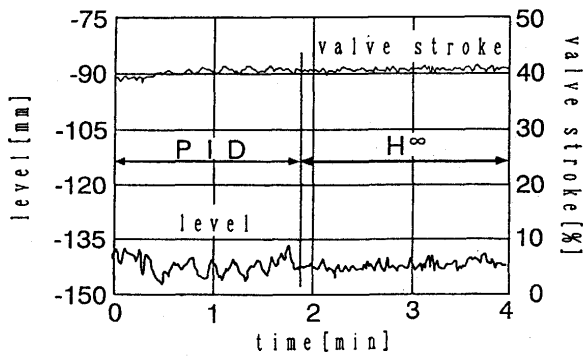


Fig.6. Comparison of the results of PID_control and H^∞ _control.

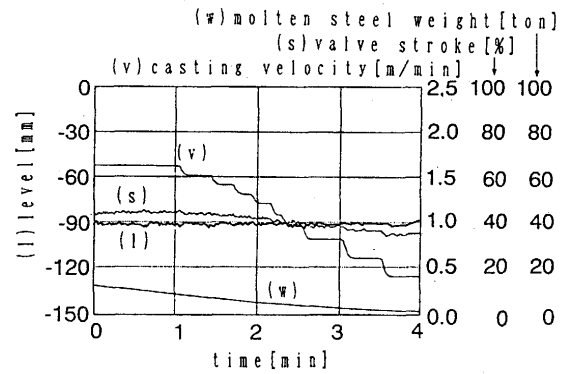


Fig.7. An experimental result under unsteady condition.

5. 結言

連続鋳造機の湯面レベル制御に H^∞ 制御理論を適用した。さらに、鋳造条件の変化にも柔軟に対応できるようにコントローラを適応型とした。現在、適応則の切り換え数値を決定すべくロングランテストを繰り返している。

文 献

- 1) 章非非, 細江繁幸, 河野通夫: H^∞ 制御によるロバスト出力レギュレータの設計 第13回DSTシンポジウム資料, (1991)
- 2) K.Glover and J.Doyle: State-space Formulas for All Stabilizing Controllers that Satisfy an H^∞ -Norm Bound and Relations to Risk Sensitivity, System and Control Letters, Vol.11, (1988)