

プロセスラインのストリップ張力制御技術の開発

Development of Technology for Strip Tension Control in Processing Line

川崎製鉄(株)千葉製鉄所

千野俊彦*・市井康雄

池田三郎

(株)日立製作所大みか工場

清水五雄・飛世正博

1. 緒言

近年、鉄鋼製品の多様化が進み、又、品質要求は更に厳しくなり、それに伴いプロセスラインは多様化・複雑化している。それに対し、安定な操業をする為にはストリップの張力制御は重要な課題であり、当社は数年前より力を入れ検討してきた。この度各プロセスラインに対する張力制御の必要な制御レベルを整理し、又、高精度な制御を達成すべくモーターのコントローラーの開発と制御方法の確立をしたので以下に報告する。

2. 張力制御の必要性和必要な制御レベル

Table 1 に張力制御が影響を及ぼす問題点とそれに該当するラインを記す。実際には各ラインで影響が及ぶ程度が異なり、全てのラインで同レベルの制御をする必要はない。そこで各ラインでの影響度を調査し、適用すべき張力制御のレベルをTable 2 に定めた。

Table 2. Level of Tention Control to Apply to each Line

CAL	AL	CGL	APL	EGL	ETL	Coating Line
A	A	B	B	C	C	B

Table 2 に示すレベル A, B, C は、Table 3 に示す通りである。

Table 3. Contents of each Level

Level A	Contents of Control System	Highest level Need High Accurate Motor Control System that has some compensation to control Tension suitably
	Applicable Line	The Line that has Furnace and ・ Vertical Furnace : High Speed Line (more than 400 mpm) ・ Horizontal Furnace : The Line that is affected strongly by Tension Deviation
Level B	Contents of Control System	High level Each Roll has to be controled individually, and there are indispensable Function to control Tension
	Applicable Line	1. The Line that has Furnace 2. The Line that has Horizontal Pass and need Loop control
Level C	Contents of Control System	Conventional level High Level control don't have to be applied to Roll drive Control and Tension Control ex. Analogue Control, Group Control
	Applicable Line	Expect the above-mentioned

Fig 1 には最も高精度の張力制御を必要とする連続焼鈍設備 (CAL) での張力変動の及ぼす問題点を記す。

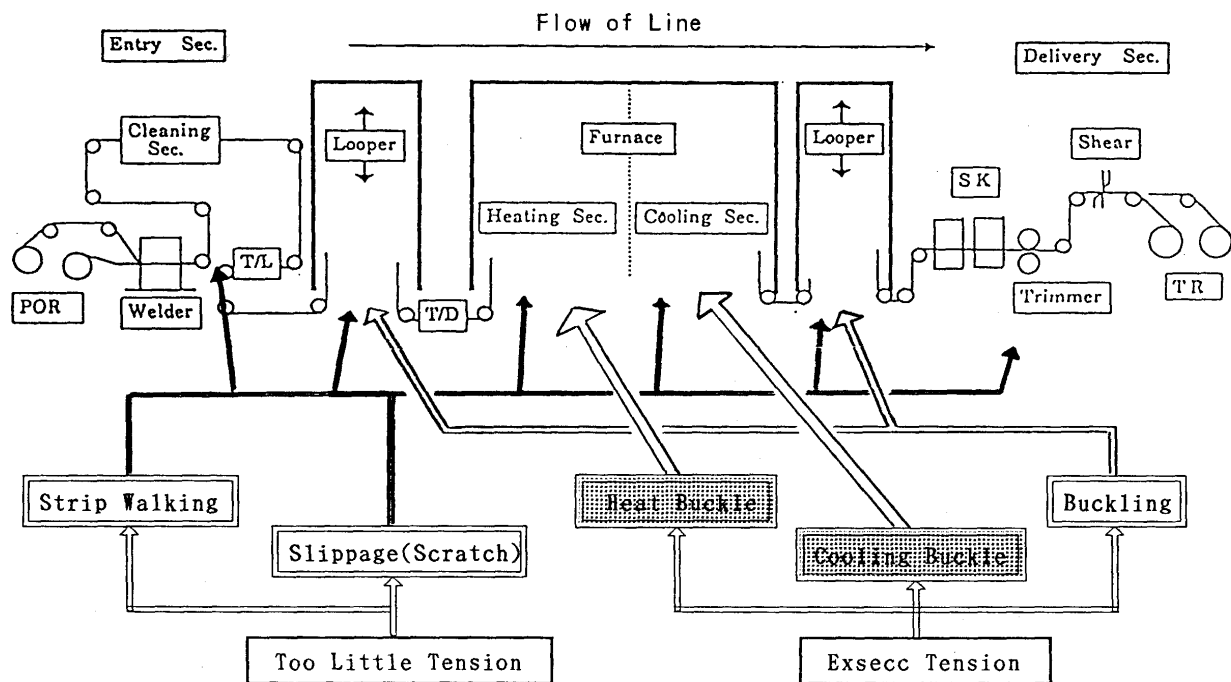


Fig 1. Outline of Continuous Annealing Line and Problem concerned Tension

3. 張力変動発生原因の検討

張力変動はラインの加減速時、ストリップを搬送する各ロール間の揃速不良から発生するもので影響の大きいものは次の3つである。

(1) ドルーピングによる速度指令変動

モータの過負荷防止の為に設けてあるドルベング機能が、ラインの加減速時、その電流分で作用し、モータの速度指令が変化（低下）する。

Fig 2 にドルベングの一般的な回路を記す。

Fig 3 に示す2つのモータに対する速度指令の変化量は Table 4の通りである。

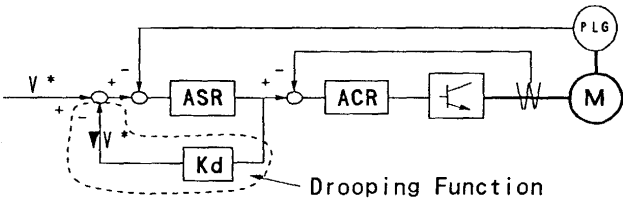


Fig 2. Outline of Motor Controller

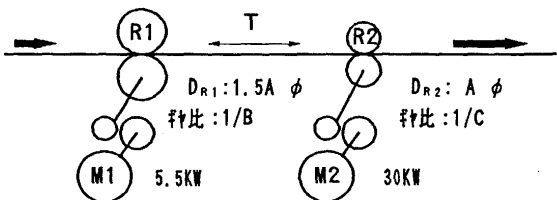


Fig 3. Model Plant for Simulation

Table 4. Deviation of Speed Reference on Each Roll

	GD ² (kg-m ²)	Accel. Torque (kg-m)	Regul. Torque (kg-m)	▼ Speed Reference (mpm)
Roll 1	12. ⁴⁴	1. ⁹⁵	3. ²⁵	▼ 2. ⁴
Roll 2	13. ⁵³	1. ⁹⁴	19. ⁴⁹	▼ 0. ⁴

この2つのロールをストリップで繋いだ場合、その間のストリップの張力はFig 4 の様に変化し本ケースでは約 9 5 kgの変動を発生する。

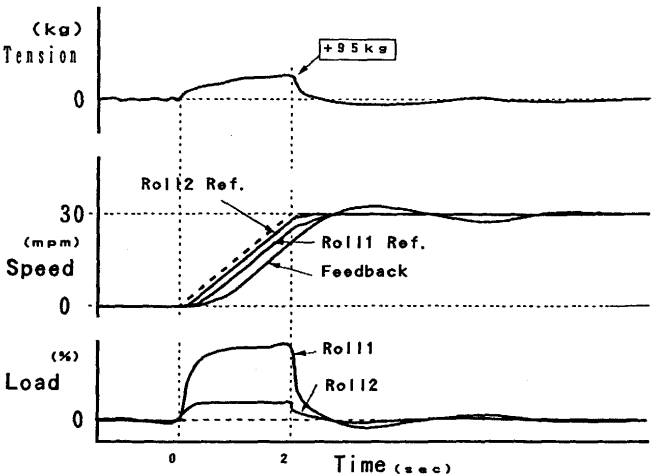


Fig 4. Results of Simulation

(2). 負荷GD² 変化によるASR 応答の変化

各ロール（モータ）には、加減速時その前後の負荷（例えばスリップ、非駆動ロール）の慣性がかかり、その為にそのモータの速度制御系の応答が変化する。

Fig 5はその影響を確認する為のモデルで、ロール1、ロール2にそれぞれ20m、2.5mのスリップの負荷がかかるとした場合である。

結果は Table 5 に示す様にASR の応答が変化し、Fig 6 に示す様に +15Kgの張力変動が発生する。

Table 5. Result of Calculation

	Roll GD ² (kg-m)	Strip GD ² (kg-m)	ASR Response (rad/sec)
Roll 1	10.772	1.037	1.98
Roll 2	7.937	0.129	2.13

※ Original ASR Response : 2.17 rec/sec

※ Sectional Area of Strip : 1000mm²

(3). 負荷トルク、メカロストルクによる起動遅れ

負荷トルク、メカロストルク等ある場合 ASRだけで制御している場合、ASRの出力つまりトルク 指令値が負荷トルク、メカロストルクよりも越えるまでは、モータは起動しない。(Fig7. 参照) 従ってその量の違いによって起動タイミングが異なり、張力変動が発生する。

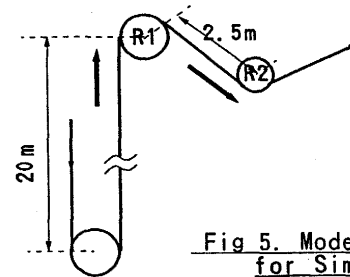


Fig 5. Model Plant for Simulation

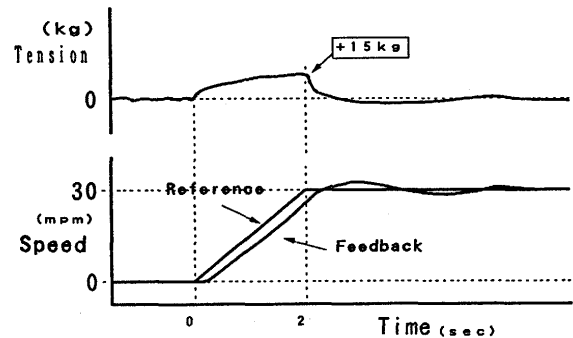


Fig 6. Results of Simulation

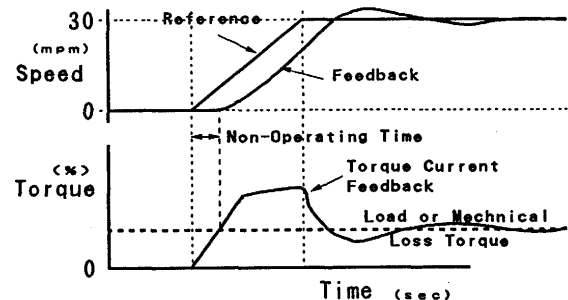


Fig 7. Results of Simulation

4. 張力変動を発生させないシステムの開発

張力変動の発生原因は、前述した様に機械的に条件の異なるモータ間の揃速不良であり、それを防ぐ為に必要な補償機能を従来のコントローラに追加した。(Fig 8 参照)

① F F 補償 (フィード・フォワード加減速電流補償)

速度指令及びモータの負担すべき慣性モーメント から加減速に必要な電流を計算し、電流指令を与える。ASRは、本補償電流等のずれによる速度偏差分のみを負担する。よって加減速時ドループングによる速度変動は皆無になる。

② ASRゲイン補償

モータに直結された負荷だけでなく、加減速時に当該モータが働きかけねばならない負荷分(スリップ、非動ロール等)のGD²を考慮し、ASR応答を常に一定にすることを目的としたゲインの自動調整。

$$K^* = K_s \times (J_M \times J_L) / J_M \quad (\ast 1 \leq K^*)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K^* : \text{上位計算機からの補正値} \\ K_s : \text{モータ無負荷(ロール直結)時の調整値(ゲイン)} \\ J_M : \text{モータ及び直結したロールの慣性モーメントの合計値} \\ J_L : \text{加減速時モータが負担すべき負荷の慣性モーメントの合計値} \end{array} \right.$$

③ ダブルリファレンス

速度指令とは別に必要な電流を直接ACRに与えるので、従来の様にASRが出力することがなくなり、それによる起動遅れ等が皆無になる。また、速度が拘束状態であれば、電流指令を変えることでモータの負荷を自由に制御できる。

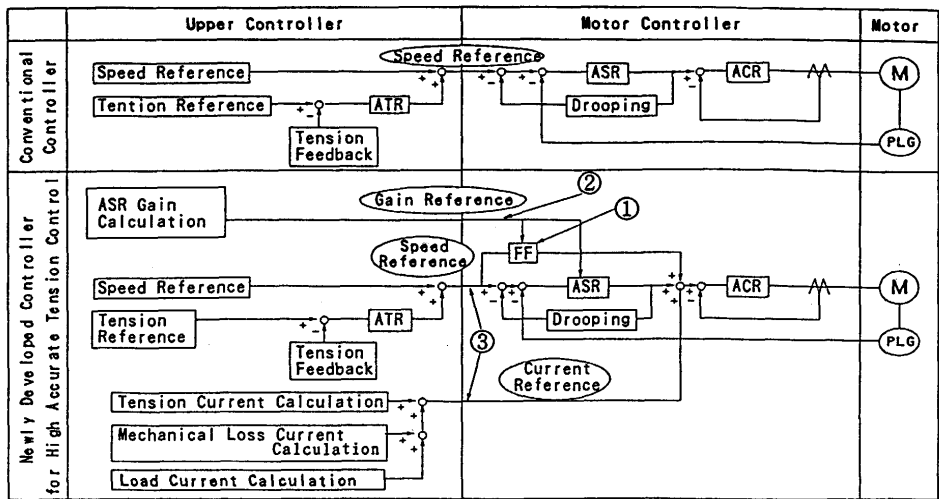


Fig 8. Outline of Suitable Motor Control System

5. 成果

(1) ルーパー内張力制御

ルーパー内ハースロールを数本おきに駆動し、そのモータのASRゲインを適正に補償した結果、張力変動は従来の1/3 ~1/5 に、更に炉内に及ぼす影響も、1/3 にすることができた。

(Fig 9. 参照)

(2) 炉内張力制御

FF補償の効果及び他の2つの補償の有効活用により、速度変更時の張力変動は±10 Kg 以下とし、最高速度である1000mpm 時にも安定な通板を達成した。

(Fig 10. 参照)

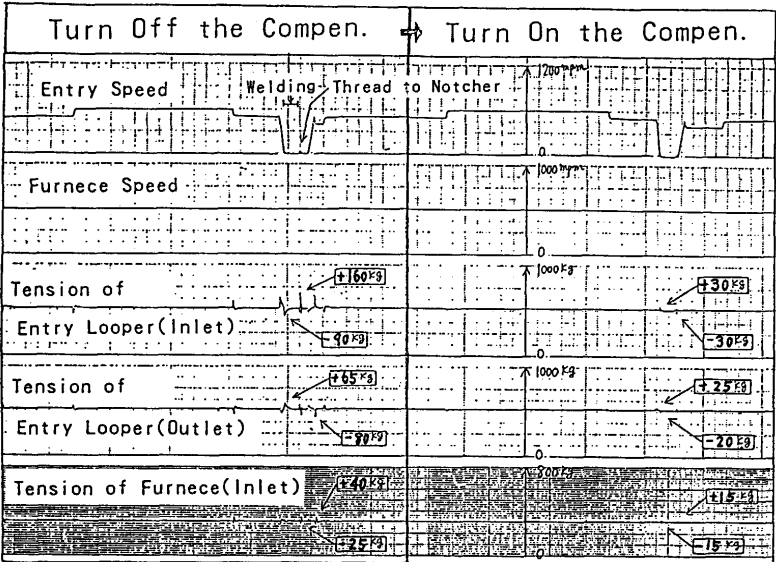


Fig 9. Tension Data of Strip in Looper and Entrance of Furnace

6. まとめ

高精度張力制御を達成するためのモータ制御装置及びその最適な制御方法を考え、当社千葉4CALに適用した。その結果、当初計画していた通りの性能を発揮し、従来に例の無い、炉速度 1000mpmでの安定通板を達成するとともに、バックリング及び炉内破断をほとんど発生させないCALとすることができた。

これによって、高精度緒力制御方法の開発は完了と判断し、その他のレベルのプロセスラインへも臨機応変に適用していく予定である。

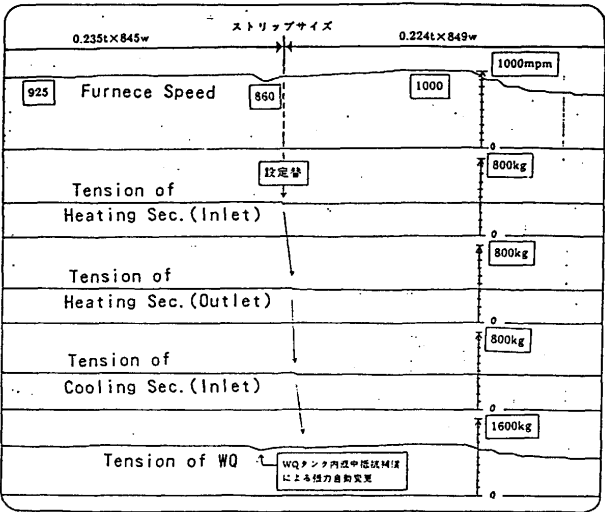


Fig10. Tension Data of Strip in Furnace