

連続鋳造設備の計算機制御

Computer Control System of Continuous Casting

In the production of billets, bloom and slabs, the development in recent years of a continuous casting system drastically simplified such time-consuming processes as molding, soaking and slabbing while keeping product quality at high levels.

Since the advent of industrial computers, introduction of computer control system into this continuous casting system has been studied in the hope of realizing automation, labor saving and higher productivity.

The Muroran Steel Mill, Nippon Steel Co. has recently installed Hitachi continuous computer control system for use with its newest continuous casting system. The new control system has been operating to the expectation of all parties concerned. The composition of its calculated control system and the method of control are described in this article.

三原紀男* *Norio Mihara*

岩佐 勝* *Masaru Iwasa*

佐藤孝尚* *Takanao Satô*

松香茂道** *Shigemichi Matsuka*

富樫伸行** *Nobuyuki Togashi*

貝保雅昭** *Masaaki Kaiho*

1 緒 言

連続鋳造設備は造塊、均熱、分塊の3工程を1工程に縮めて、直接ビレット、ブルーム、スラブ材などを生産しようとするものである。近年飛躍的な技術の進歩により、分塊圧延に劣らぬ高品質のスラブなどが生産可能となり、その経済性より分塊圧延工程のない一貫生産製鉄所が建設されるに至っている。

連続鋳造設備にプロセスコンピュータを導入する場合、製鋼工場の一部門としての生産管理、制御が目的となる。したがって製鋼工場の他部門との情報授受のためのリンケージや、次工程計算機とのリンケージ、または上位計算機とのリンケージを考慮しなければならない。連続鋳造のみならず製鋼工場全体を1台のプロセスコンピュータで管理、制御することは可能であるが、このような場合は情報管理に主眼がおかれることは、コンピュータの負荷を考えれば当然であり、制御の質の面がおろそかになりやすい。本論文では、新日本製鉄株式会社室蘭製鉄所に設置されたシステムを中心として、連続鋳造設備のみを対象としその制御システムについて述べる。

連続鋳造設備をプロセスコンピュータの対象とする場合、大形または小形いずれのコンピュータを採用するかは情報処理量によって決定されるものであり、制御量の大小にはあまり左右されない。それは、連続鋳造の制御としてシーケンス制御が大部分であり、ストランド数が増加したとしても入出力点数に影響を与えるだけだからである。

連続鋳造設備へのコンピュータの導入によるメリットは、ストランド数が増えれば多いほど期待される。それは、制御手段としての機器の機能をプロセスコンピュータにプログラムとして持たせることにより、制御システム構成機器の簡略化、高精度化が実現されるからである。

なお本稿関連論文として、37ページ掲載論文を参照されたい。

2 計算機制御システムの目的

計算機制御システムの目的は、大きく分けて、生産管理のための情報処理、生産設備の制御および生産性、品質の向上

である。

生産管理のための情報処理としては、

(1) 前工程、次工程とのリンケージ

連続鋳造の前工程は、転炉で、連続鋳造の操業そのものが転炉の出鋼状況に左右されるので、転炉操業状態を常に把(は)握しておかねばならない。このため転炉計算機とリンケージを行ない、これに基づく情報を操業のガイダンスとしてオペレータに知らせる機能が必要である。連続鋳造引抜き速度制御を行なうため、鋳造注入終了時刻、次回注入開始時刻の予測も必要となる。納入システムではこれらの機能が満足されるよう設計した。

次工程とのリンケージは、リンケージの緊急性がないので上位計算機HITAC 8450を通して行なっている。上位計算機HITAC 8450は連続鋳造操業における生産管理データがすべて送られる。

(2) 操業の管理

連続鋳造操業時の生産管理データとして、鋳造トン数、鋳造本数、歩どまりが集計される。これらの情報はオペレータガイドとして、ディスプレイ表示、ロギング打出しになっている。また設備の稼(か)動率、生産能率が日報、月報として集計され、集計されたデータは上位計算機HITAC 8450に送信され、連続鋳造部門の生産管理情報として処理される。

生産設備の制御に関しては、コンピュータによる自動化により、大幅な省力化、制御機器の簡素化が実現されている。このメリットは、ストランド数が増加すればするほど大きくなる。プロセスコンピュータはストランド数が増加した場合、プロセス入出力の点数が比例して増加するが、プログラム容量の増加はほとんどない。しかし、この機能をハードで実現する場合は、ストランド数に比例して制御機器が増加することは明らかである。この点では、オペレータ人員の削減についても同じことがいえる。

生産性、品質の向上については、切合せ制御による歩どまり向上、転炉とのマッチングによる

* 新日本製鉄株式会社室蘭製鉄所 ** 日立製作所大みか工場

連々鋳や、最適時間操業、スプレイ流量制御による高品質鋳造がある。この面での計算機導入による効果は大きくなっている。

3 機能および特徴

2. で述べた連続鋳造設備計算機制御システムの目的を満足するよう次の機能を計画した。また、図1は制御システムブロック図を示すものである。

- (1)HITAC 8450中央工程計算機リンケージ (2)HIDIC 100転炉計算機リンケージ (3)ガイドローラ開度プリセット (4)スプレイ冷却水弁開度プリセット (5)矯正機加圧力プリセット (6)モールド冷却水プリセット (7)モールド潤滑油プリセット (8)ダミーバー装入、引抜き (9)スプレイシャットアップ、シャットダウン (10)切断機制御 (11)スプレイ冷却水流量制御 (12)切合せ制御 (13)転炉マッチング制御 (14)トラッキング (15)連鋳処理 (16)出来高管理 (17)オペレータガイド (18)システム異常処理

また、特徴としては、

- (1) 小形計算機で多種の制御、情報処理を行なっている。
- (2) 連続鋳造設備として最適なシステム構成となるよう計算機システムが計画されている。
- (3) 連続鋳造設備制御機器の簡素化が図られている。
- (4) ハイアラキシステムを構成し、中央と製鋼部門の情報処理自動化を図っている。

4 連続鋳造計算機システムの構成

図2はシステムの構成を示すものである。HIDIC 100のコア容量はシステムの規模から考えると、12~16kWが必要となるが、通常16kWが採用される。ドラム容量は128kWあれば十分であり、本システムではコア容量は16kW、ドラム容量は128kWである。

鋳造運転室には、CRTディスプレイ、ロギングタイプライタが設置されている。CRTディスプレイ上には、鋳造指示命令やプリセット設定値および転炉とのマッチング状況、ならびに鋳造実績データを表示する。ロギングタイプライタには、エンジニアリングログ、鋳造命令書、鋳造実績などが打ち出される。雑打ちロギングとして、アラームやマニュアルインプットデータ、他計算機とのリンケージ情報が打ち出される。

切断機室には、ロギングタイプライタが設置され、切断長設定値、切断長実績値、切断本数などが打ち出される。また、一とりべごとの切断実績集計および切合せ制御の計算や実績が打ち出される。

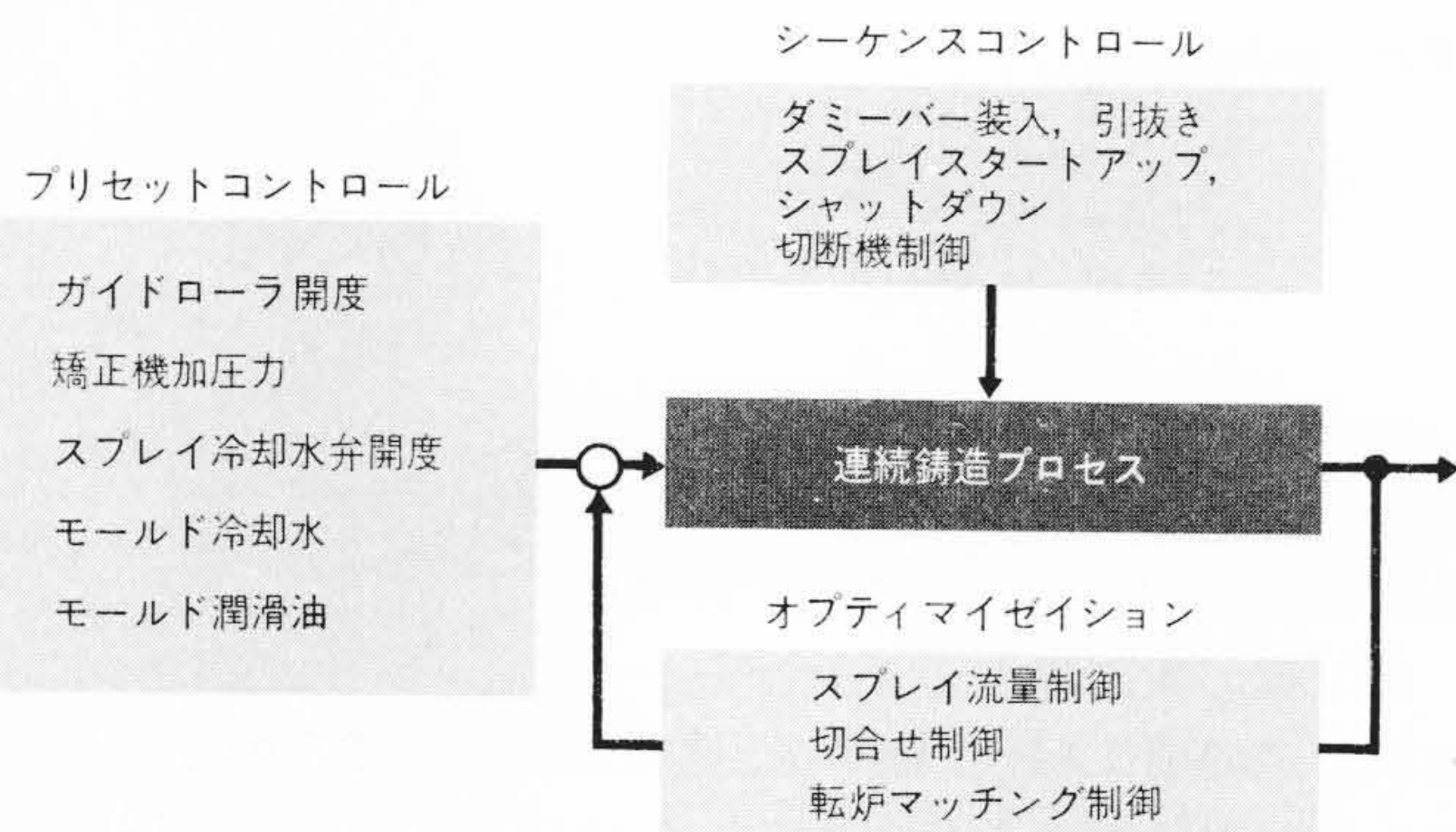


図1 制御システムブロック図 制御項目をコントロール方式により分類し、制御機能の性質を明示した。

Fig. 1 Block Diagram of Control System

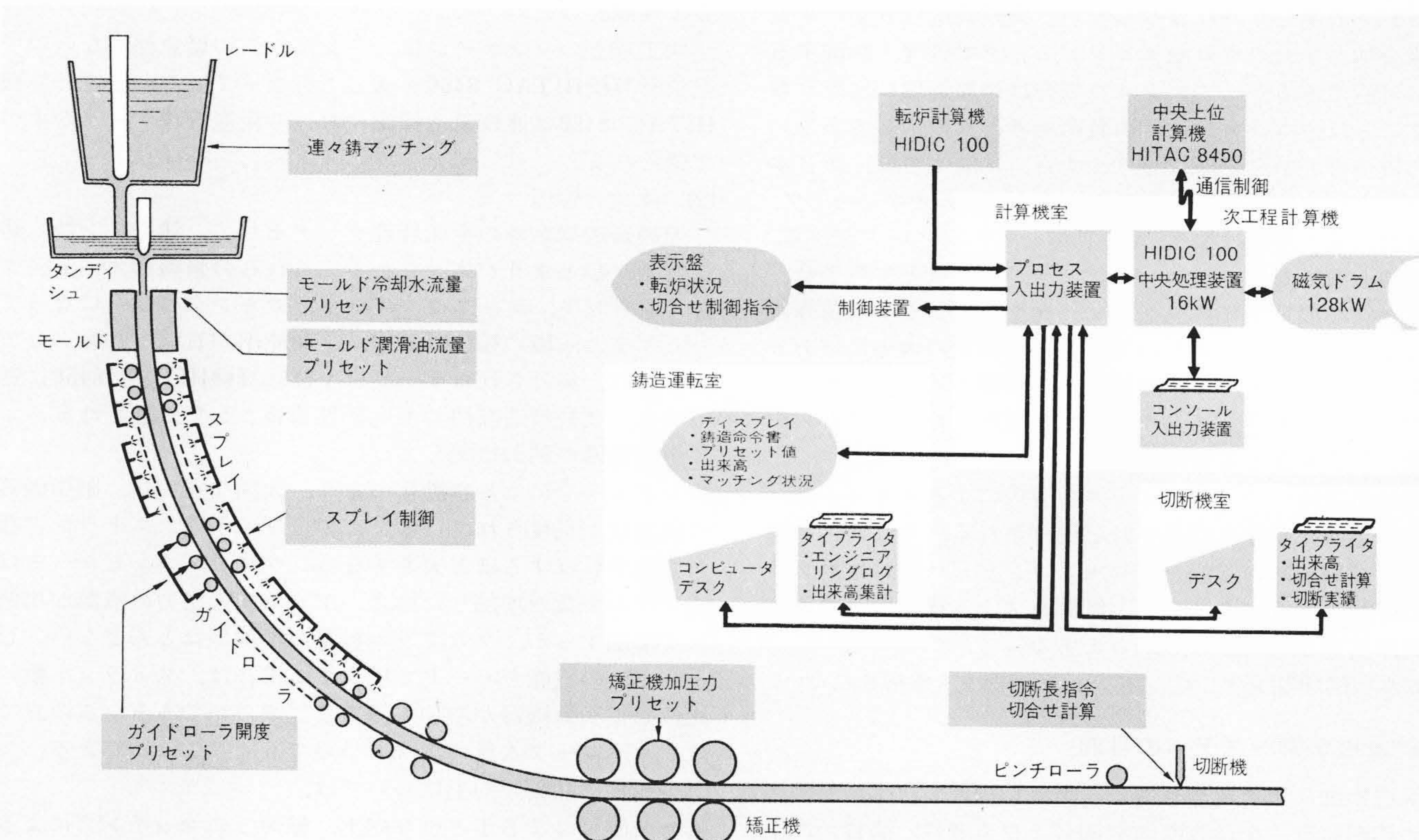


図2 連続鋳造計算機制御システム図 計算機制御システムの構成を示す。

Fig. 2 Computer Control System of Continuous Casting

鋳込み現場には表示盤が設置され、転炉状況や転炉での出鋼温度、連続鋳造でのレードル、タンディッシュ内溶鋼温度が自動的に表示される。

各マイナーループの制御装置に対しては、計算機よりデジタル出力、アナログ出力により指令値設定がなされる。また、計算機自身がマイナーループの一部として構成されているため、計算機ダウンなどの異常時に対しての十分な考慮が払われている。

5 トラッキング

連続鋳造におけるトラッキングは、鋳片先後端のトラッキングおよび操業状況の認識がおもな機能として要求される。連続鋳造設備自体には、鋳片先後端の位置の検出のための検出器が設置されるということはないし、また高精度のトラッキングは必要ではない。トラッキングとしても緊急性を要しないので、トラッキングの構成は簡単なものとしている。しかしながら、トラッキングのための検出器がないために、逆に手動入力にたよったり、プロセス入力によるプロセスの認識で操業状況を判断する方法にたよりがちである。この場合、手動入力の設定忘れや連続鋳造の異常操業による判断ロジックの不備により、トラッキングが乱れる場合が多い。このために鋳造運転室のコンピュータデスク上に、トラッキング表示、修正機能を設けている。

トラッキングによる操業のマクロな認識は、一般に次の段階を把握できればよい。

(1)ダミーバー装入開始 (2)ダミーバー装入終了 (3)モールドシール完了 (4)レードル注入開始 (5)鋳込開始 (6)レードル注入終了 (7)鋳込終了 (8)矯(きょう)正機抜け (9)ピンチローラ抜け

これら諸状態の認識は、実際の操業に伴う制御機器よりの信号、またはコンピュータデスクよりの手動設定信号でトラッキングが起動される。

連続鋳造では操業の流れがシーケンシャルであるために、各種トラッキング信号は、シーケンシャルにはいることが必要である。しかし、連続鋳造では異常操業が行なわれる場合があり、このような場合には、各種トラッキング信号は全くはいってこなかったり、または無秩序な順序ではいつてくる。このような異常操業時には、トラッキング修正をコンピュータデスク上で設定する。このような方法が最も簡単なシステム設計法であり、また最も有効である。異常操業が行なわれていることを、プロセス入力信号により判断し、トラッキングの修正を自ら行なうことも可能であるが、すべての場合を考慮するという事は容易なことではない。不完全な判断ロジックのため判断ミスを生ずることが多いので、手動による修正機能を持たせている。トラッキングは各段階の把握を行なうとともに、各段階で必要なプログラムを起動する役目を有している。また、各種プログラムにとって基礎となる情報を提供する。

6 連々鋳処理

同一サイズ、同一鋼種が連続して転炉より出鋼する場合、連々鋳操業を行なうことが多い。連々鋳を行なう場合には、転炉よりの出鋼時間が正確に連続鋳造サイドで把握されねばならない。このために転炉計算機HIDIC 100とのリンケージが必要となってくる。転炉の出鋼時間に合わせて、連続鋳造の操業の速度を決定し、オペレータガイドとして表示を行なう。この速度の決定には、転炉吹錬時間の予測、レードル内

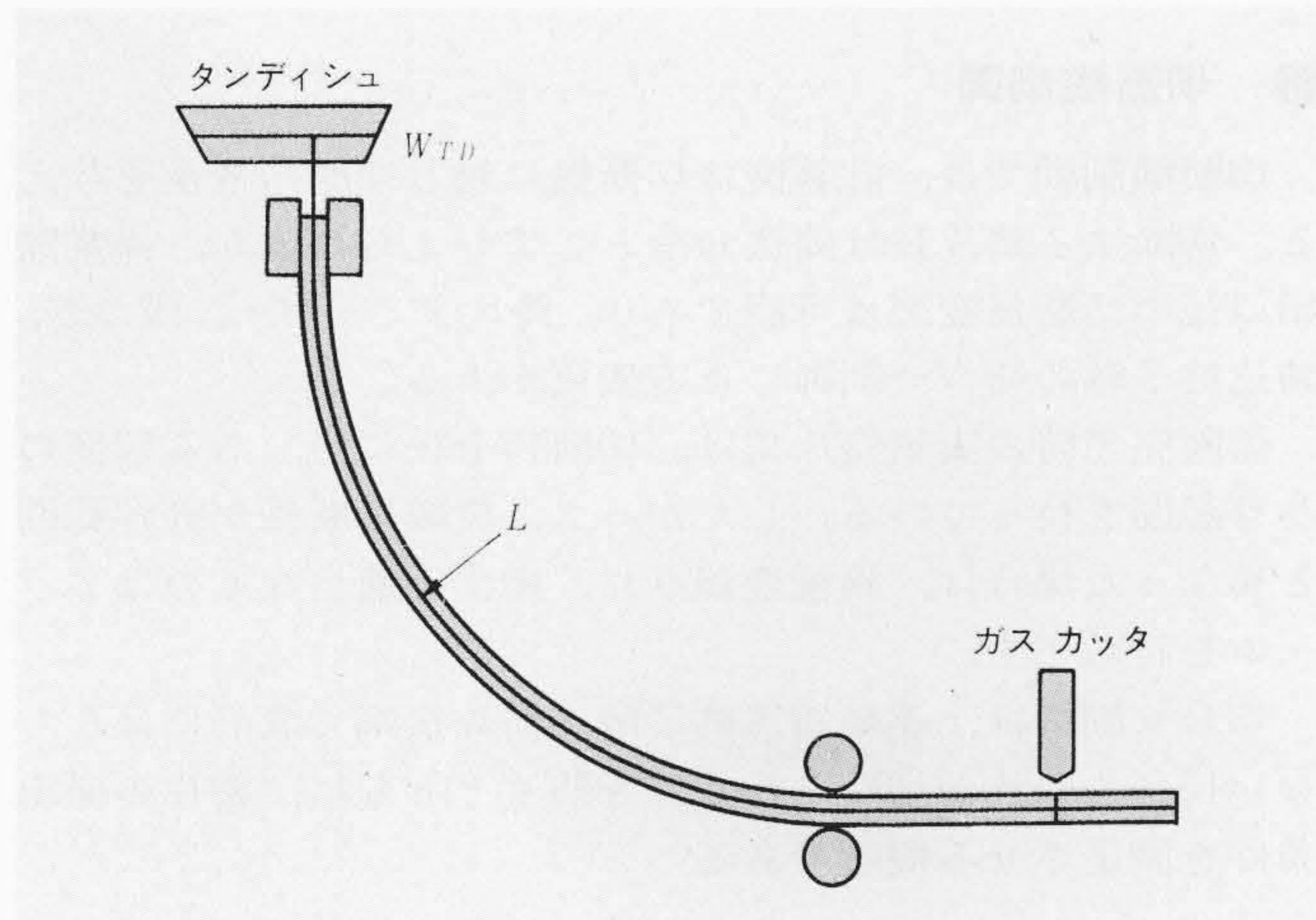


図3 連々鋳継目管理 連々鋳時のストランド鋳片長の算定法を示す。

Fig. 3 Schematic View of Continuous-Continuous Casting

溶鋼重量、モールドサイズの正確な認識が必要となる。

連々鋳操業時、トラッキングとしては自動入力で連々鋳操業を判断しにくいので手動入力設定でトラッキングに知らせねばならない。このとき、トラッキングの段階の変化としては、レードル注入終了より次のレードル注入開始となる。

連々鋳の場合、制御については単連鋳と全く同じであるが、生産管理としてとりべきの実績集計を行なう。実績集計は各ストランドにおいてとりべきの継目のトラッキングを行ない、切断機のエリアを継目が通過した時点で実績集計を行なう。この継目のトラッキングは次のようにしてなされる。

まず、前とりべのレードル注入終了により図3に示しているタンディッシュ溶鋼重量 W_{TD} が取り込まれる。この W_{TD} がゼロになった時点が前とりべの鋳込終了であるが、通常は W_{TD} はゼロとはならない。したがって、 W_{TD} を各ストランドに分配して長さに換算せねばならない。今、 i ストランドに分配された W_{TD} を W_{TDi} とすると、 W_{TDi} は全ストランドの体積速度の和に対する i ストランドの体積速度の比によって求まる。図3の鋳片長 L と W_{TDi} を鋳片長に換算したものとの和が、そのストランドにおける前とりべの残存鋳片長となる。したがって、その長さをカウントしてゆけば継目はトラッキングできる。この実績集計は、誤差がはいってくる場合があるが、3連鋳、4連鋳の場合には誤差が累積してゆくので、集計の修正を行なっている。

7 プリセット

プリセット項目は、図1に示すとおりであるが、スプレイ冷却水のプリセットについては8.で述べる。

連続鋳造設備での計算機によるプリセットは、自らをフィードバックループ内に組み込んだものである。制御対象の特性を十分知ったうえで制御方式を決定している。一般に連続鋳造では高度な制御装置、検出器を設置することはないので制御対象の非線形性は大きい。たとえば、ガイドローラプリセットでは、ギヤのバックラッシュがある。また、矯正機加圧力、モールド冷却水プリセットでは、バルブのむだ時間、応答の非直線性、ヒステリシスなどがあり、制御としては困難な対象が多い。したがって、バルブの特性は計算機制御が容易となる特性のものを決めている。

8 切断機制御

切断機制御では、計算機は切断機に対し切断指令長を与える。切断する鋳片長は鋳造命令として与えられるが、操業開始以後の切断長変更は可能であり、鋳片ダミーバー、段つき、鋳込終了時の切合せ制御による変更がある。

切断完了時の実績鋳片長は、切断指令長に対しある程度の許容範囲を持っている。したがって、実績切断長が許容範囲と異なった場合は、異種登録され、搬出不適当なものはアラームを打ち出す。

切合せ制御は、連続鋳造終了時に鋳片後端で成品にはならない長さの鋳片が切断されるのを防ぐとともに、鋳片の搬出条件を満足させる機能である。

9 スプレイ冷却水制御

連続鋳造設備におけるスプレイ冷却水は、鋳片の品質に大きな影響を与える。したがって、引き抜き速度、鋼種、断面サイズにより最適の冷却水量を与えるように配慮されている。

スプレイ制御の構成方法としては、

- (1) 各ヘッドに対して流量値を与える。
- (2) 各ヘッドに対して弁開度指令値を与え、元弁の全流量値を与える。

の2方式が考えられるが、計算機にとっては(1)の方式が最も簡単であるが、流量制御系としてマイナーループを構成しなければならぬので、費用の面でストランド数、ヘッド数が大きいと(2)に比べて不利となる。(2)の方式は、計算機のプログラムの負担が大きくなるが、ストランド数、ヘッド数が増加してもプログラム容量はほとんど変わらないが、ハード構成がやや増加する。

ここでは、本システムで採用している(2)の方式による流量制御について述べる。スプレイ弁開度特性は図4に示すような特性となり、一般に非線形特性を示す。図中Aはある特定のヘッドのみの特性曲線であり、元弁の全流量一定の場合である。図中Bの曲線は、同じ弁の特性曲線であるが、このとき他のヘッド弁は少し開いた場合の特性曲線である。このように、弁開度特性は元弁の全流量一定のときは相互に影響を受けるし、また元弁の全流量を変化させた場合、各ヘッド弁の特性が変化する。スプレイ冷却水弁の選定にあたっては、弁開度特性が直線であるものを選ぶのが第一条件であるが、

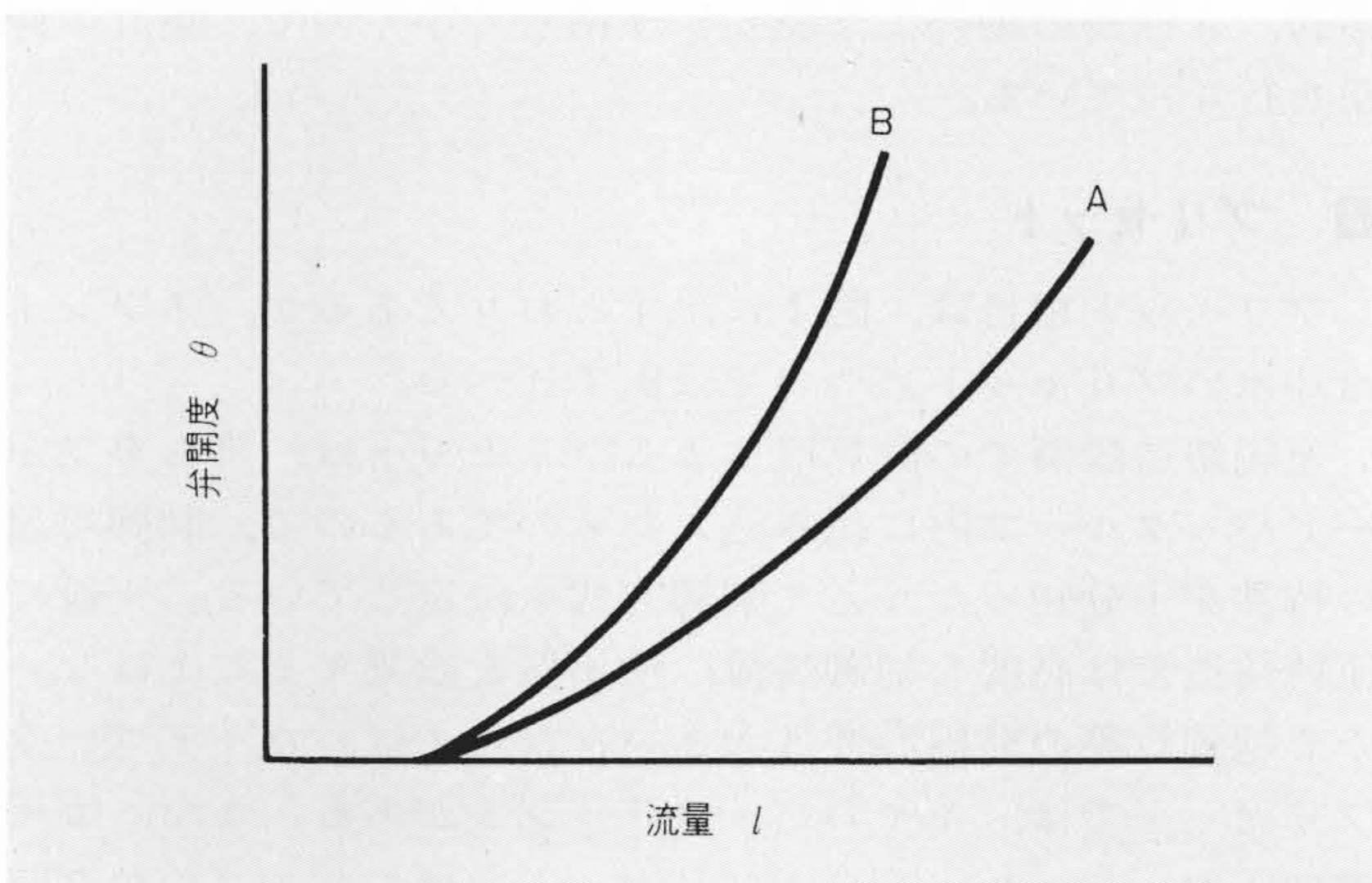


図4 スプレイ弁開度特性 AおよびBは同スプレイ弁の特性であり、他の弁の流量変化によりAまたはBのように異なる特性を示す。

Fig. 4 Characteristic of Spray Valve with Non-Linearity

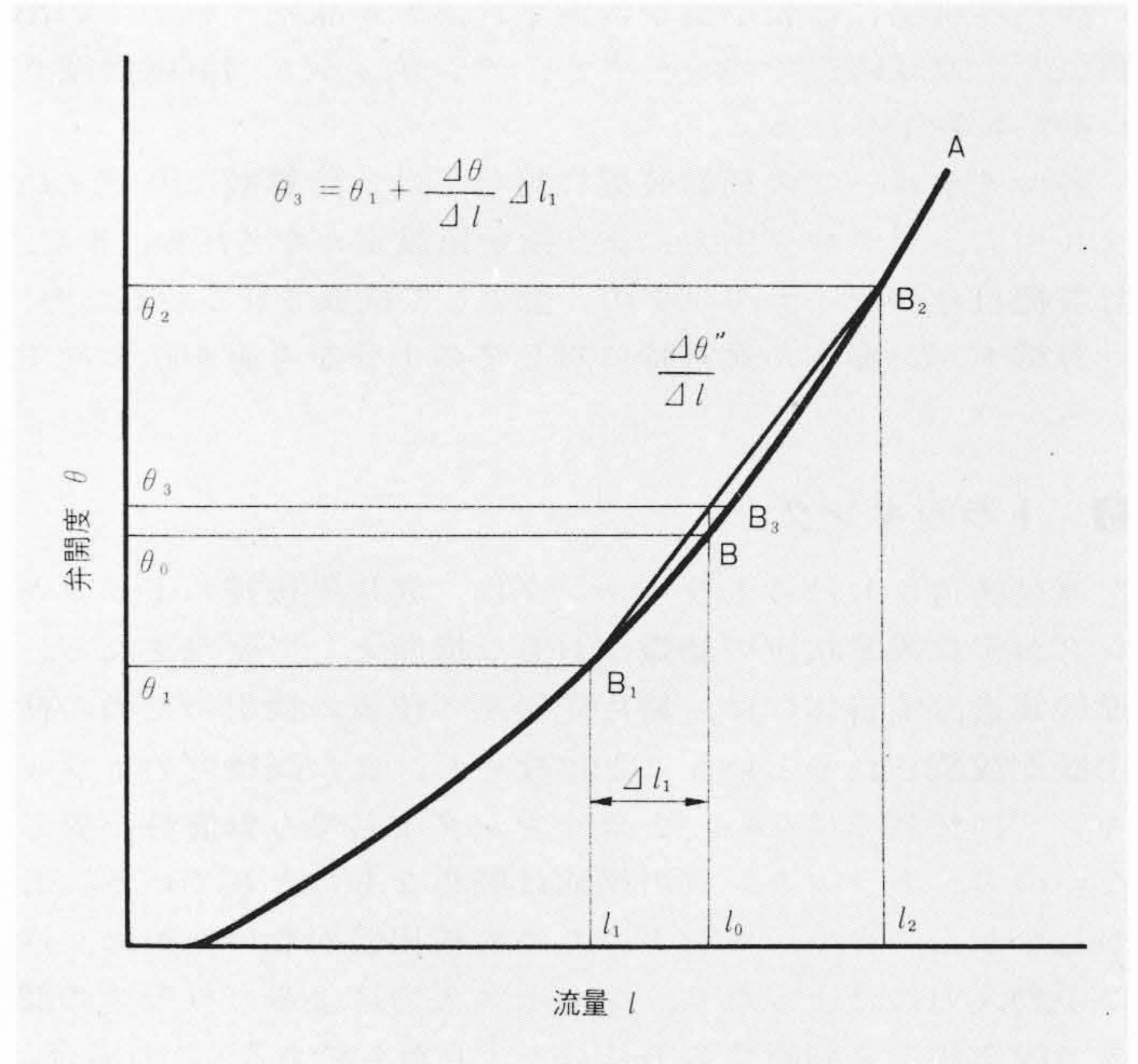


図5 弁開度制御方式 非線形性を持ったスプレイ弁の制御方法の一例を示す。

Fig. 5 Control Program of Spray Valve

実際には非線形と考えてよい。また元弁の全流量の値によって特性が変わるので、特性曲線をモデル化することは困難である。

このような特性を持ったスプレイ冷却水弁の制御は、図5に示す方法で実現している。図中曲線Aは弁開度特性曲線であり、B点が所要の流量値を満足する曲線上の点である。まず最初に設定すべき弁開度は不明であるので、適当にB点をはさんだ点B1、B2を捜してB1、B2点間の特性曲線の傾き $\frac{\Delta\theta}{\Delta l}$ を算出する。B1、B2の内B点に近いほうの点を選び、この点と目標点Bとの流量偏差 Δl_1 を求める。これより、次に出力すべき弁開度は、B1がBに近いとして、図中にある式により θ_3 が求められる。

弁開度 θ_3 の出力により特性曲線上にB3が求められる。以下B点をはさんだ2点より次々と弁開度が決まりB点に収束してゆく。

10 結 言

以上、今回開発された連続鋳造設備の計算機制御について述べたが、使用する中央処理装置としては、今回のシステムでは、HIDIC 100が採用されているが、その後新たに開発したHIDIC 350を用いれば、種々の制御を実現するために必要な処理速度も有しているので、ここで述べた以外の機能を実現することは可能である。

現在の連続鋳造計算機制御システムは、まだ種々の改良すべき点があるが、今後の大きな課題としてスプレイ温度制御がある。現在のスプレイ冷却水制御は、鋳型サイズ、引き抜き速度で全流量を決定するオープンループ方式であるが、品質上の一つの要素である鋳片仕上温度については十分な考慮が払われていない。仕上温度制御モデルによるスプレイ冷却水制御が今後の進むべき方向と思われる。

終わりに本システムの開発に際し、ご指導いただいた新日本製鐵株式会社室蘭製鐵所の関係各位に対し、厚く感謝する次第である。