

高速線材ミル・サンプル採集設備の開発

Development of Sampling Line in High Speed Wire Mill

線材圧延設備では、テストピースのサンプリング自動化、オンライン化が重要な課題となっている。

今回サンプル材を成品から切断分離するディスクシャーと、低速から高速まで幅広い速度をもつサンプル材を一定速度にするため、曲がり部とピンチローラを設けたサンプル誘導ラインとを組み合わせたサンプル採集設備を開発して、新日本製鐵株式会社に納入した。本設備は、線材速度6m/sから最高30m/sに達する線材圧延設備でのサンプル採集が可能である。

本稿は本設備の紹介と、ディスクシャー切断時の問題点、及び曲がり部の減速効果、並びにピンチローラによる減速、増速効果についてその概要を述べる。

今井幸義* Yukiyoshi Imai

長島重和* Shigekazu Nagashima

菊池有二* Yûji Kikuchi

1 緒言

従来、線材設備でのサンプリング線材の形状、表面きずのチェック及び材料試験のテストピース作製用—は巻取機で巻取り後、作業者が鋏で切り取ることで行なってきた。しかし、品質管理に対する迅速な情報提供の必要性からオンラインでテストピースのサンプリングを可能にすることが大きな課題となってきた。また、線材圧延速度は毎秒数十メートルに及ぶ高速のため、走行線材の任意位置から、所要長さのサンプルを得る切断分離作業、及び分離後のサンプル誘導作業は非常に困難なものとなっている。

新日本製鐵株式会社の協力を得て実用化に成功した本設備の特徴は、ディスクシャーを成品ラインに設けてサンプル材(1~10m)を成品より切断分離し、サンプルラインに導き6m/sから30m/sという速度をもつサンプル材を曲がりガイド、あるいはピンチローラで一定速度(10m/s)に減速、増速させた後、分割用ドラムシャーで更にサンプルカット(300~500mm)を行なう、サンプリングを行なおうとするものである。本稿では本設備の概要とディスクシャーによる切断時の問題点と解決法、及び曲がり部の減速効果の理論値と実測値の比較、並びにピンチローラによる線材の速度制御の効果についてその概略を述べる。

2 サンプル採集設備の概要

2.1 サンプリングの方法

線材圧延設備のサンプリング自動化の必要条件は、

- (1) 高速圧延ラインからサンプル材を確実に分離すること。
 - (2) サンプル材にきず付き、変形(特に直径の変化)を生じさせないで誘導すること。
 - (3) 種々の圧延サイズ、圧延速度に対応する設備であること。
 - (4) 圧延材との的確な対応づけ—正確なサンプルのトラッキングシステムの確立—が可能であること。
 - (5) 圧延条件への迅速なフィードバックが可能であること。
- に要約される。これらを考慮して、本設備では次に述べる方法でサンプリングを行なおうとした。
- (1) 圧延材の先端、及び後端を分割シャーで任意長さに切断する。
 - (2) 上記切断片を圧延ラインから分離し、サンプリングライ

ンへ誘導する。

- (3) 切断片を更にサンプリングラインに設ける細分割シャーで取扱い容易な長さに分割後、クロップとサンプルに振り分けてサンプルを採取する。

細分割後にサンプルとクロップに振り分ける理由は、圧延材の最先端、及び最後端部は端割れを含んだ形状不良、組織、成分の不均一などサンプルとして不適当のためである。従って、先端側では最終分割片を、また後端側では先頭分割片を、すなわち成品に近い側をサンプルとして振り分け採取する。

2.2 サンプル採集設備の概要

図1に示すように、サンプルラインは成品ラインから直角方向に配置され、分岐点にディスクシャーを設け、以下、半径約5mの曲がりガイド、ピンチローラ、チョッピングシャー、振り分けガイド及びサンプルコンベヤを設けている。成品の先端、及び後端よりサンプル用として1~10mのクロップをディスクシャーで切断分離し、線材の直径、速度、及び切断長さに応じピンチローラで増速、あるいは減速させて一定の速度(約10m/s)でチョッピングシャーに導く。クロップはチョッピングシャーで更に300~500mmに細分割され、振り分けガイドでサンプル片とクロップ片とに区別されて、サンプル片だけがコンベヤで試験室に送られる。

本設備の仕様を表1に示す。

本設備の全長は、既存設備との取合いの関係上30~40mである。3.で詳しく述べるが、低速材の場合全長は短くできるが、高速材の場合チョッピングシャーまでの距離で減速しなければならずライン長に下限が存在するが、今後は更に短縮化が課題となる。

3 サンプル材の誘導

サンプル材獲得に至る過程での問題は、緒言で述べたように(1)ディスクシャーでの切断、(2)高速材、及び低速材の定速化に集約される。次にこれらの問題について述べる。

3.1 ディスクシャー切断時の問題点と解決法

3.1.1 線材速度とシフトパイプ所要速度の関係

線材設備でのクロップカット、あるいは分割カットに用いられるシャーの形式はドラムシャー、ディスクシャーなど

* 日立製作所日立工場

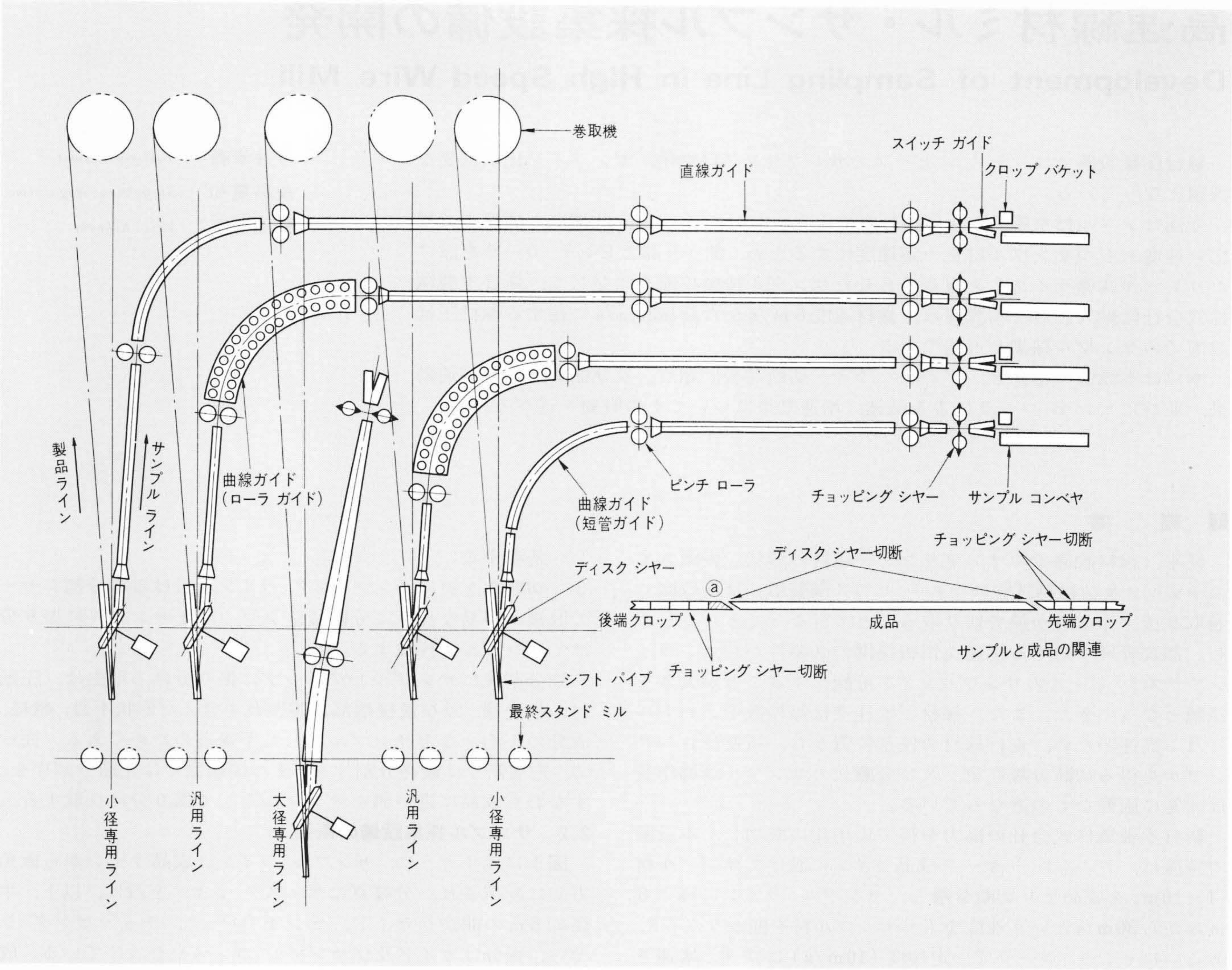


図1 本設備全体配置図 ディスクシャーで切断後、曲線ガイドを経てチョッピングシャーに至り細分割され、サンプルとクロップに振り分けられる。

表1 サンプリング設備の主仕様 取り扱う線材径、圧延速度を高範囲とし、既存設備への適用性を高めることをねらった。

項 目			主 仕 様
被 切 断 材	鋼種及び温度		軟鋼，ステンレス鋼 常用950～1,050℃
	線 径		5.5～30.0φ
	線 速		5.8～30m/s
	成品端末切断長さ		各線径先後端とも max 10m
	テスト ピース		300～500mm
デ シ ヤ ス ー ク	形 式		旋回式（±30度）
	ディスク径		450mmφ
	ディスク回転数		max 1,780rpm
チ グ ヨ ッ シ ン ギ ン	形 式		上下2 プレート ドラム式
	刃物径		350mmφ
	モータ回転数		max 1,600rpm
ピ ロ ン ー チ ラ	形 式		固定式，2 シフト式及び3 シフト式ローラ
	ローラ		250φ 4 キャリバ及び2 キャリバ
	モータ回転数		max 1,800rpm
ガ イ ド	曲ガ イ リ ド	形 式	ローラ式(太物用)，ボックス式(細物用)及び短管式(細物用)
		半 径	4,800mm 半径 4 分円
	直ガ イ 線 ド	形 式	パイプ式
		全 長	16,300～24,000mm

があるが、10m/s以上の高速では構造が簡単で安定した運転を維持できるディスクシャーが用いられるのが一般である。

図2にディスクシャーでの切断原理を示す。

ディスクシャーでの技術上の問題点は、シャー前面のシフトパイプの速度、及び後面の出側ガイド形状にある。後者に関しては圧延速度が高くなるに従い複雑な形状となり、現状は実設備で試行錯誤により決定している。前者のシフトパイプのシフト速度がディスクシャーの切断に及ぼす影響は、図3に示す速度関係から説明できる。

図3より明らかなようにシフトパイプの速度は、切断時回転刃物より線材が受ける速度 v_{DC} と密接な関係がある。圧延速度30m/sの場合 v_{DC} は17m/sに達するが、シフト速度はシフトパイプ内径と線材との遊び及び線材の弾性復元を考慮すれば v_{DC} に等しくする必要はない。上記を考慮すると、 v_{DC} は4～5m/sでよいが、将来60～70m/sの圧延速度では $v_{DC}=9\sim10\text{m/s}$ が必要となり、この速度の達成方法を検討する必要がある。

3.1.2 シフトパイプ作動回路

3.1.1でシフトパイプの所要速度について述べたが、高速圧延では応答時間がもう一つの重要な点である。サンプル設備ではディスクシャーの切断指令は、成品ラインに設けた検

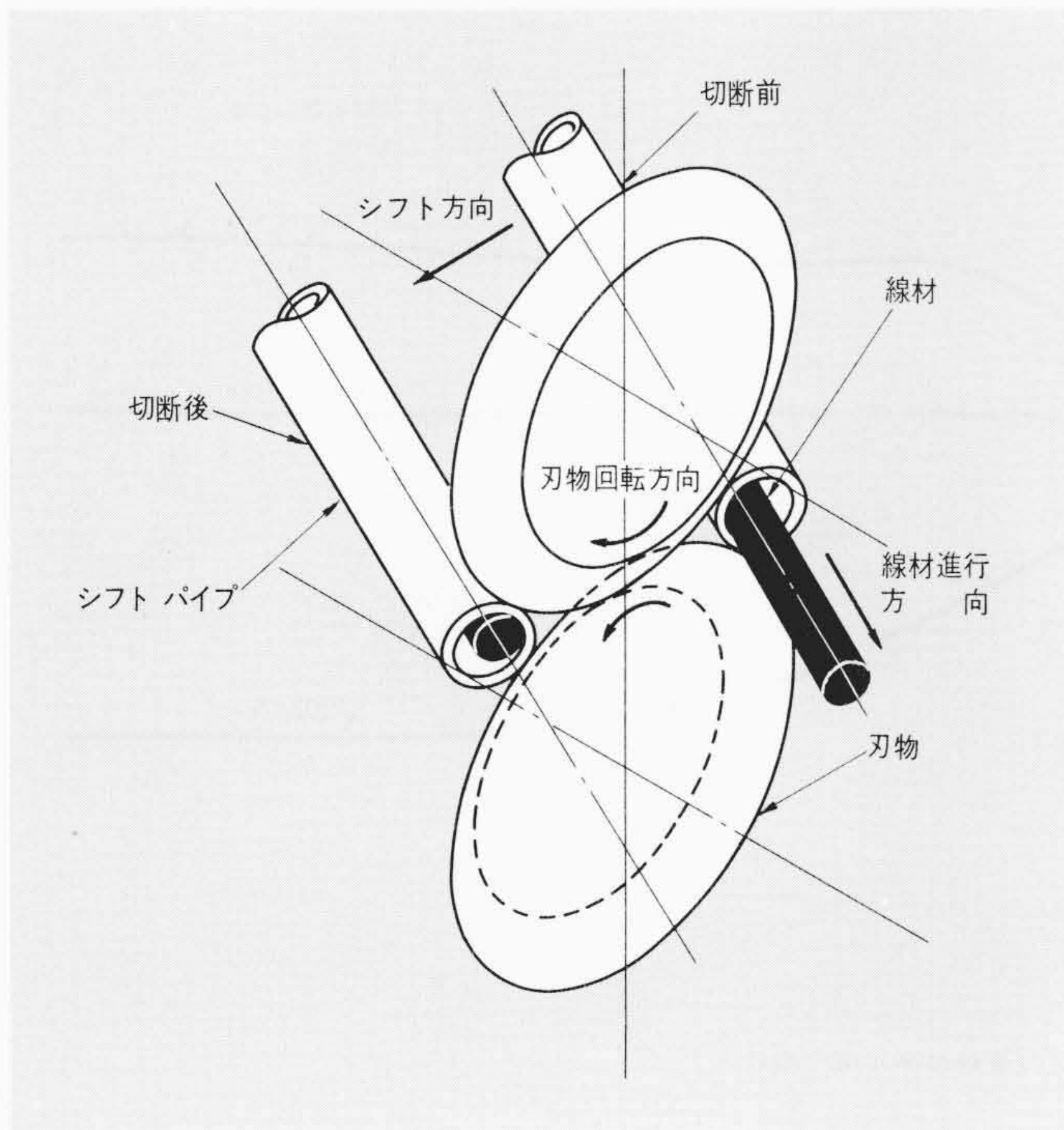


図2 線材と刃物の関係 シフトパイプを矢印の方向にシフトさせ、回転刃物の間を線材が通過することにより切断を行なう。

出器 (Hot Metal Detector: 以下, HMDと略す) で線材の先・後端を検出することにより行なわれる。線材検出から切断完了まで応答性に影響を与える要因は、(1)HMDの検出遅れ、(2)無接点リレーの作動時間、(3)電磁弁コイルの励磁時間、

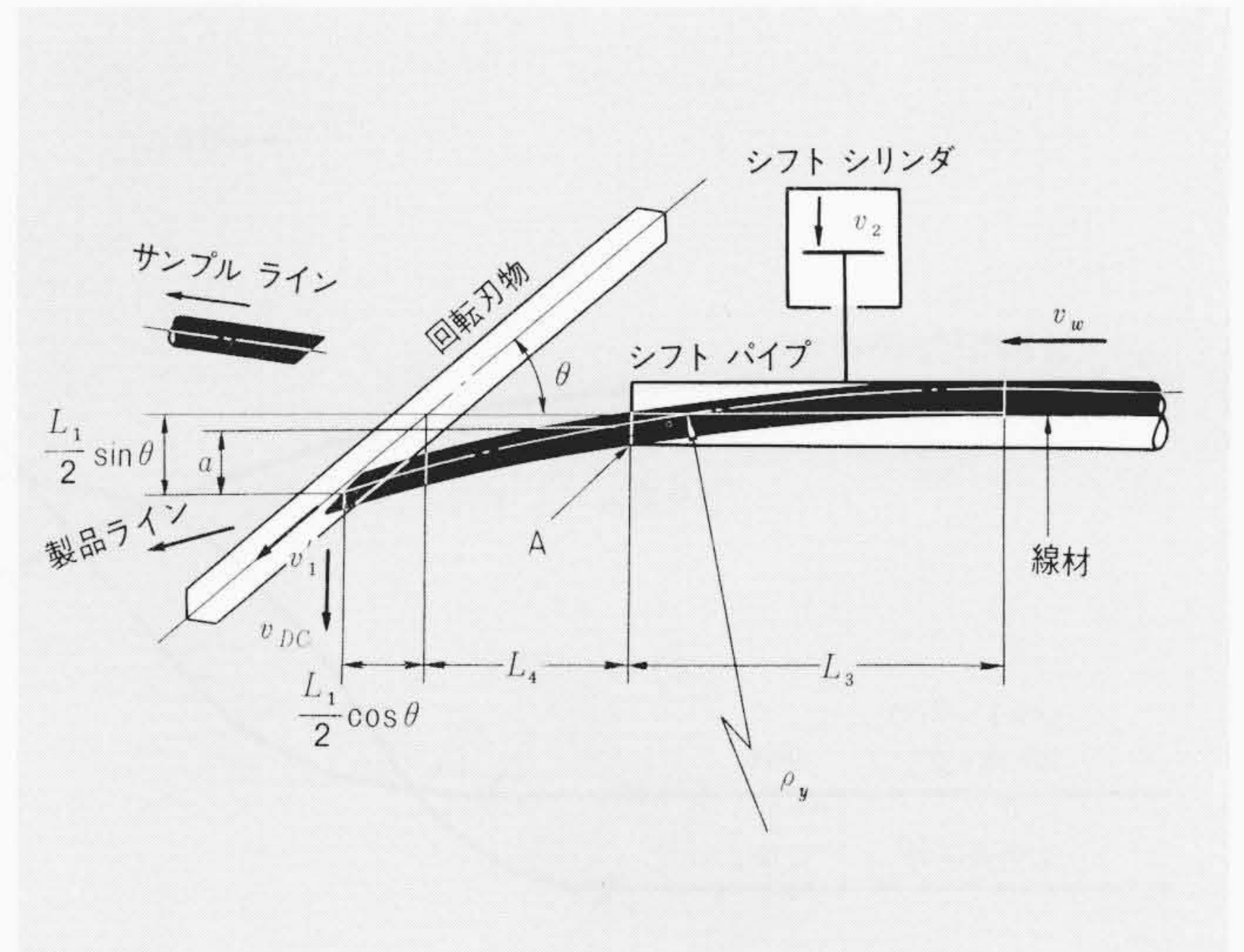


図3 線材、シフトシリンダ及び刃物の速度関係 $v_2 \ll v_{DC}$ の場合シフトパイプA点で線材は折れ曲がることになる。また、スムーズな誘導を可能とするため、 $v_1 \cos \theta > v_w$ の必要がある。

(4)パイプシフト用シリンダ内の空気の給排気時間、(5)シリンダの作動時間などがある。これらのうち、(1)~(3)は $\frac{1}{100}$ 秒以下であるが、(4)(5)項は0.1~0.5秒にも達する。ちなみに30m/sの圧延ラインで0.5秒の作動遅れは線材長に換算して15mとなり、HMDの位置がディスクシャワーより離れることとなり切断誤差要因となる。従って、応答性を良くしシリンダ作動速度を上げるため、本設備では図4に示す作動回路を用いた。

現設備での測定結果を図5に示す。オシログラムから判明するように、給・排気特性、作動速度、及び運動エネルギー

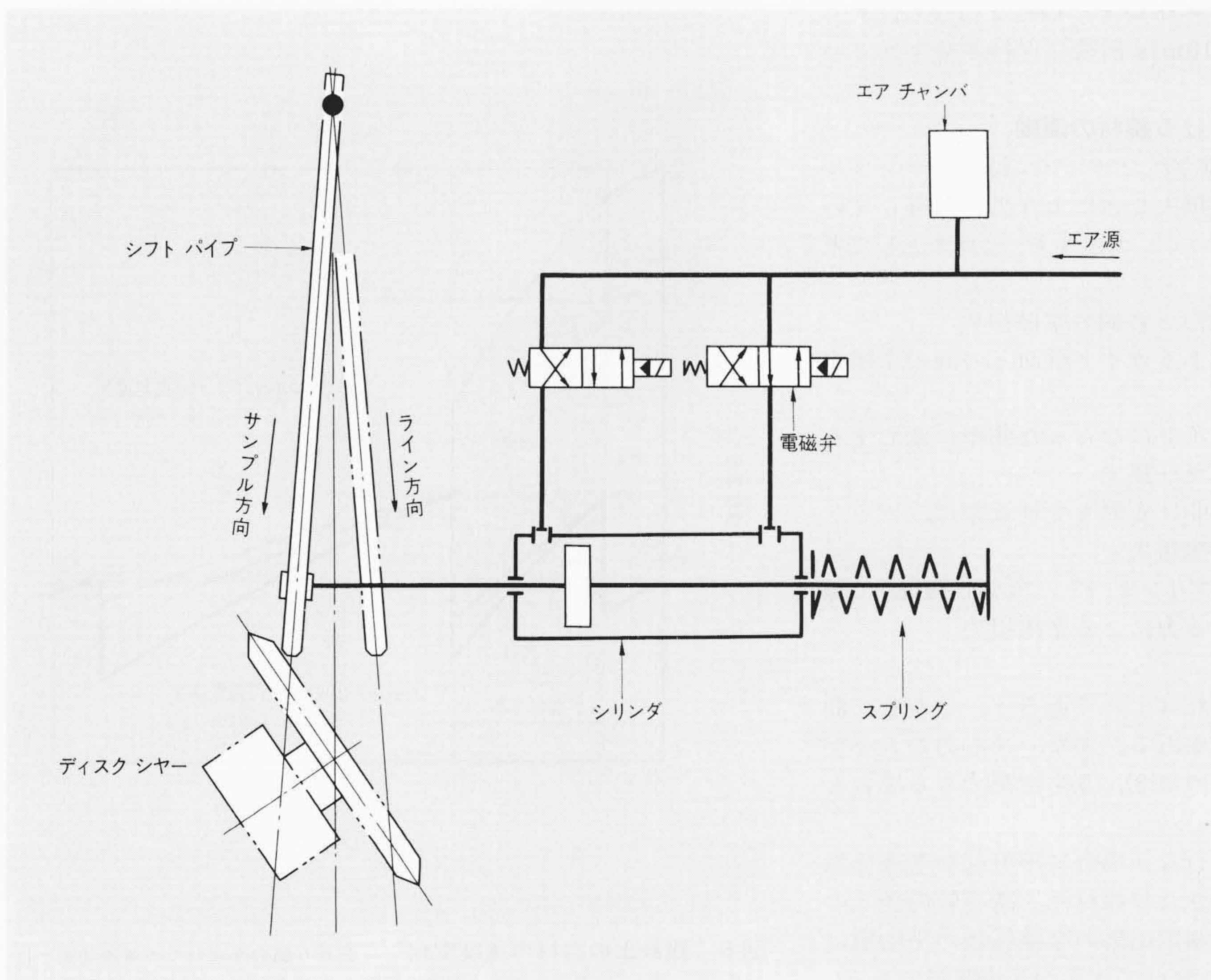


図4 シフトパイプ作動回路 電磁弁の励磁、非励磁の時間遅れ及びスプリングによる衝撃緩和を考慮している。

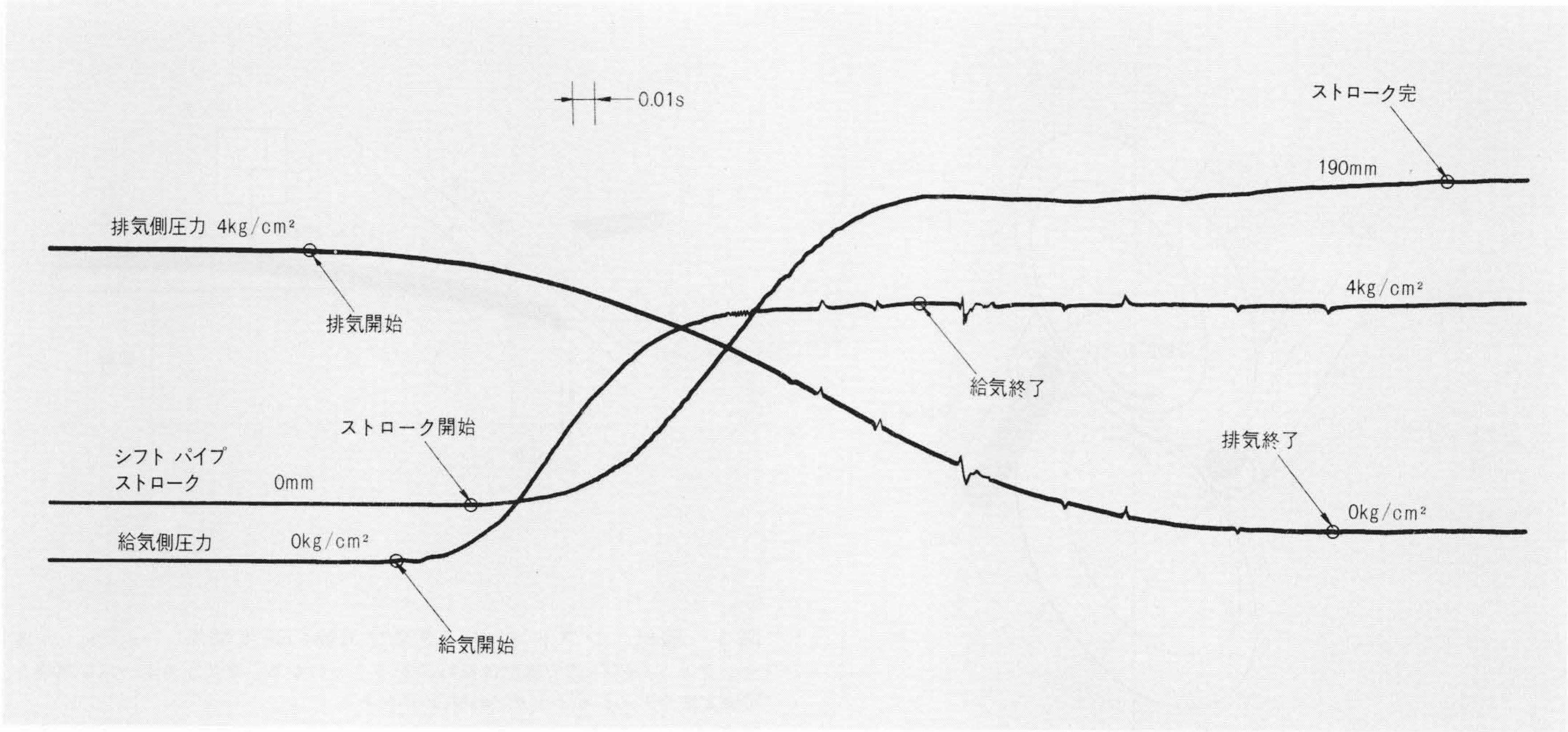


図5 現設備での測定結果 給・排気特性及びスプリングによるシフトパイプの運動エネルギー吸収と、作動時の立上り特性が顕著に現われている。

吸収が顕著となっている。

3.2 線材の定速化

前述したようにサンプルラインに入ってくる線材は、所有エネルギーが千差万別であるため、それぞれに応じたエネルギーの授受を行なう必要がある。本サンプルラインの定速化に対する基本的考え方は、図6に示すように線径の小さい高速材に対しては、エネルギー吸収を曲がり部(P₁, P₂間)及びピンチローラ(P₂)で行ない、また線径の大きい低速材はピンチローラ(P₁, P₂, P₃)でエネルギー補給を行ない、チョッピングシャー(C.S)部で10m/s前後に保持させようというものである。

3.2.1 サンプルラインにおける線材の運動

ディスクシャーで切断分離されたサンプル材は、サンプルラインを移動する過程で摩擦損失などにより当初保有している運動エネルギーを消費していく。エネルギーロスとして考えられる要素は、

- (1) 自重によるガイド(誘導管)との間の摩擦損失
- (2) 曲がりガイドで遠心力によるガイド壁面との間の摩擦損失
- (3) 曲がりガイドで線材がガイドにならった曲率に変形する際に消費されるひずみエネルギー損失
- (4) 曲がりガイドの出入口で曲げ変形を受ける際に、ガイド壁面より受ける反力による摩擦損失
- (5) 曲げ変形を受けた後、スプリングバック(弾性復元)で線材が、ガイド壁面を押し付ける力による摩擦損失などがある。

直線部は上記(1)だけ考慮すればよいであろう。しかし、曲線部は(1)~(5)を検討する必要がある。また、遠心力の大小が影響し、線材速度の大きいものは(3), (5)を無視できる場合もある。

またエネルギーロス計算を行なう場合に不可欠な摩擦係数は、線材の切口形状、切断長さ及び線材径と誘導管内径とのすきまの影響を受ける。現地測定結果の摩擦係数の平均値は $\mu=0.28$ であるが、曲がり部においてばらつきが顕著である。

これはガイド継目で、線材の先端がガイド入口に衝突していく場合の損失割合が非常に微妙なため、安定した状態を得るには連続した壁面であることが望ましい。上記(1)~(5)を考慮して種々の線径、線速をもつサンプル材の運動解析を行なった結果を現地実測値と比較して示したのが図7である。同図で45度の直線上にあるものが計算値と実測値が一致する点であり、ばらつきは見かけの摩擦係数のばらつきとも取れる。

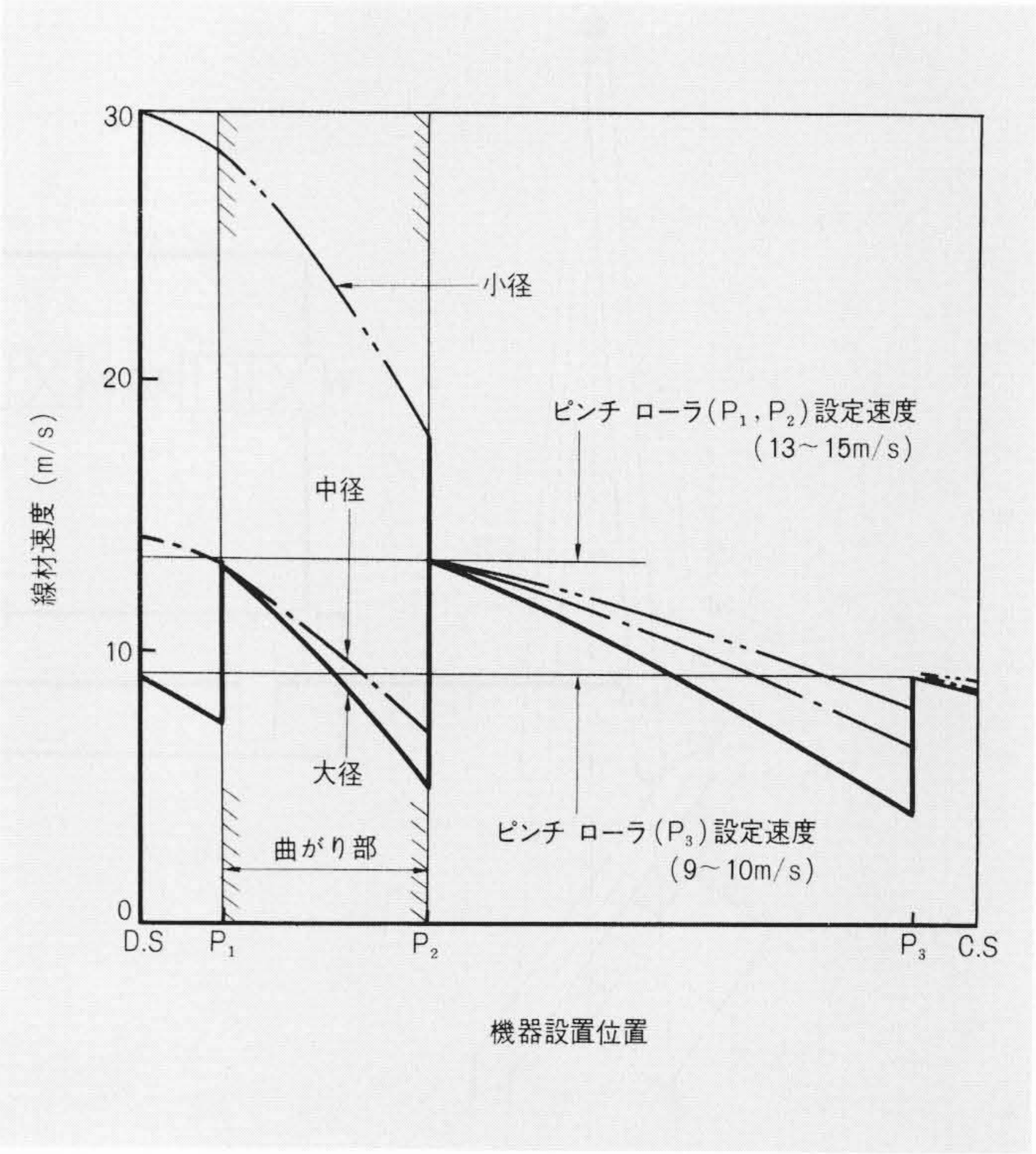


図6 設計上の線材の速度変化 曲がり部の高速材での減速効果とピンチローラを、減速及び増速の両方の役割をさせようとしていることが分かる。

3.2.2 高速材の定速化

サンプルの振り分けは、ディスク シヤーのシフト パイプと同様エア シリンダ作動で行なうのが一般であり、シリンダの作動速度の関係で線材速度が10m/s程度で安定したサンプルを得る一つの目安である。本設備の重要な特徴の一つである曲がりガイドは、遠心力を利用し最高30m/sに達する高速材を短い誘導ラインで振り分け可能な速度まで減速させようとする意図から設けたものである。

図8に曲がりガイドの効果を示す。曲率半径が小さければ小さいほど減速効果は大きいが、3.2.3で述べる線径の大きい、線材速度の小さい材料の誘導を考慮し、最適値を決める必要がある。また1/4円周は設備配置上の問題であり、曲率半径と併せて検討する必要がある。本設備は上記2点を考慮に入れ半径4.8m 1/4円周の曲がりガイドとしており、結果は良好である。なお図1の本設備概要の曲がりガイド出口にピンチローラを設けてあるのは、線材速度大のサンプル材の場合でも切断長が1m程度のものは、曲がり部において先端がガイド継目と衝突するエネルギー損失が大きく、曲がり部を出た所で停止するおそれがあるためであり、実測においても本ピンチローラの有効性を確認している。

曲がり部の代わりにピンチローラによる減速も可能であるが、ピンチローラ圧下による径変化、きず付き、バックリングの発生などの問題があり、サンプルとしての価値を損ねぬことを考慮すれば、ピンチローラの設置台数は少ないほうがよいことは言うまでもない。

3.2.3 低速材の定速化

3.2.2で曲がり部の有効性について強調したが、線径の大きい圧延速度の小さい材料にあつては、曲がりガイドは逆効果作用を及ぼす。すなわち、速度小のため遠心力が期待できず、

しかも3.2.1の(3)~(5)のエネルギー損失が過大で曲がり部の出口、あるいは途中で停止する可能性がある。

本来低速材は、直線部だけのガイドで十分線速を制御し、サンプルを獲得できるものである。しかし、広範囲の線径、線速に適応し得る設備ということで、高速材に効果の大きい曲がり部を確実に誘導させるため、上記エネルギー損失に見合ったものを補給する必要がある。本設備の曲がり部の出入口に設けたピンチローラは、この目的を果たすためのものである。また曲がり部には、低慣性のローラを設け線材との間の摩擦係数を小さくする考慮を払っている。一方、ピンチローラの押付け力はキャリバー形状にもよるが、線材の径変化を誘起する。そのため、線材の弾性変形内に抑えるのが得策であり、この押付け力に限界があるため補給エネルギーに制限を受け、曲がり部の曲率半径、各ピンチローラ間の設置距離に制約を受ける。

3.2.4 実設備での測定結果

新日本製鐵株式会社光製鐵所に今回納入した実設備での線材の運動の測定結果を図9に示す。図6に示す設計時の基本的パターンとほぼ一致する傾向にあるが、実機の結果から特筆すべきことは、

- (1) 同一の線速、線径のサンプル材でも切断長によってエネルギーロスの状態が異なること。
- (2) ディスクシヤー出口ガイド部でのエネルギー損失が切断時の衝突により摩擦という観念でとらえにくいこと。
- (3) 切断長が長い場合、ディスクシヤーから曲がりガイド入口までの距離に関係するが、曲がりガイドの効果が半減すること及び出口ピンチローラの減速が効果的であること。

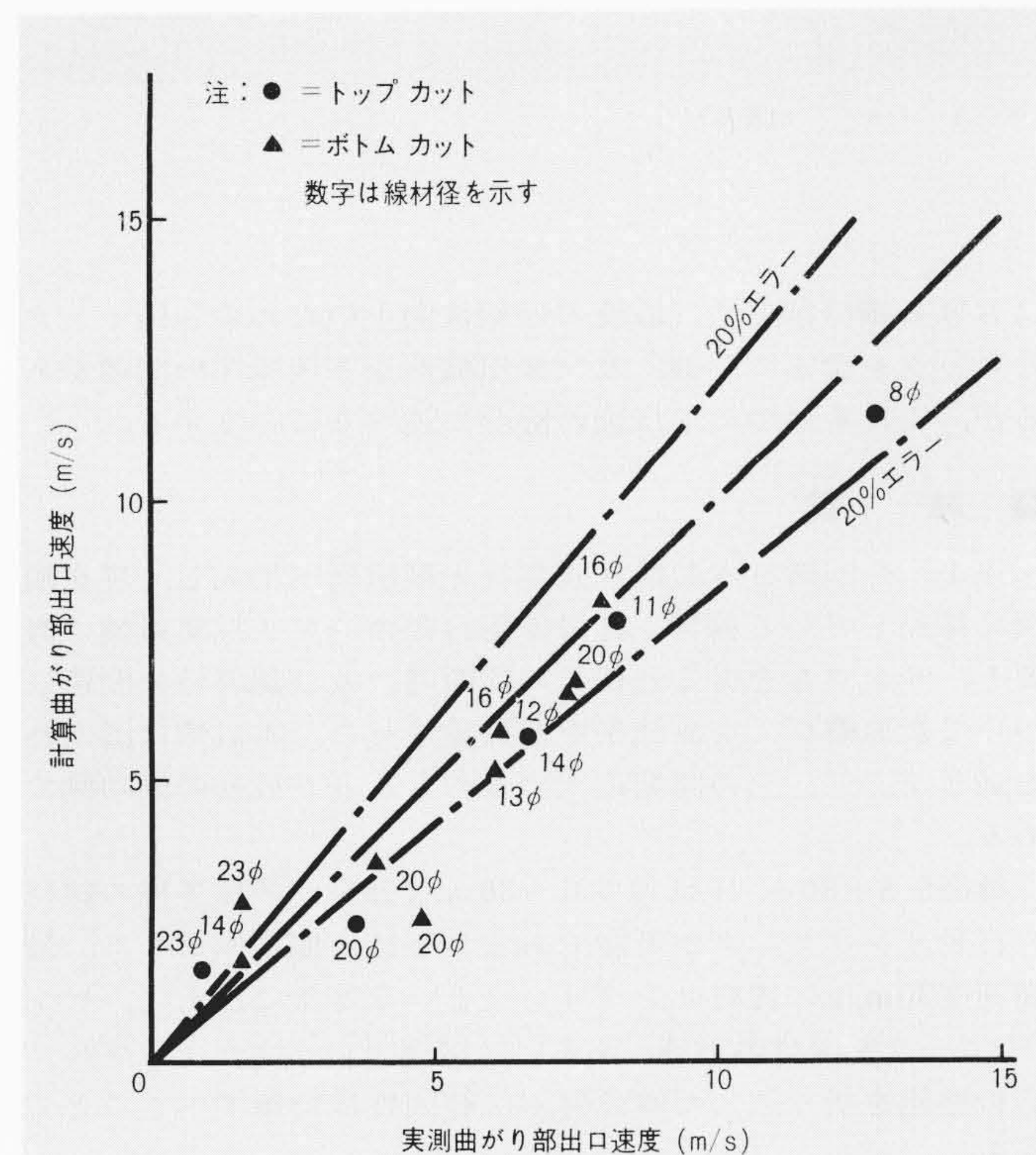


図7 曲がり部出口速度計算値と実測値比較 線材径の大きいほど（線速の小さいものほど）誤差が大きいことが分かる。

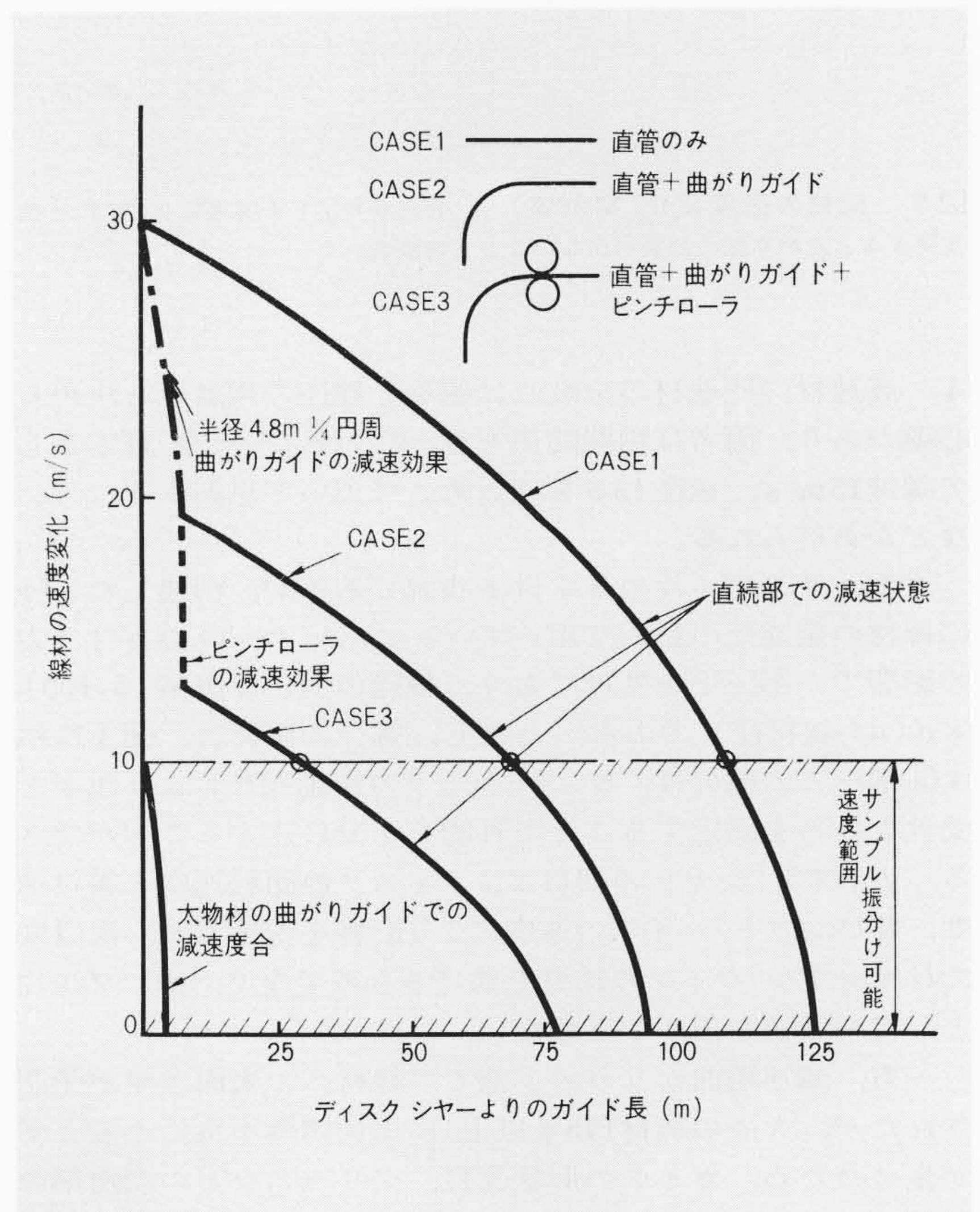


図8 ガイド長—線材速度関係 曲がりガイドとピンチローラによる減速効果により、直線ラインだけの誘導ラインの場合の1/4の長さに短縮できることが分かる。

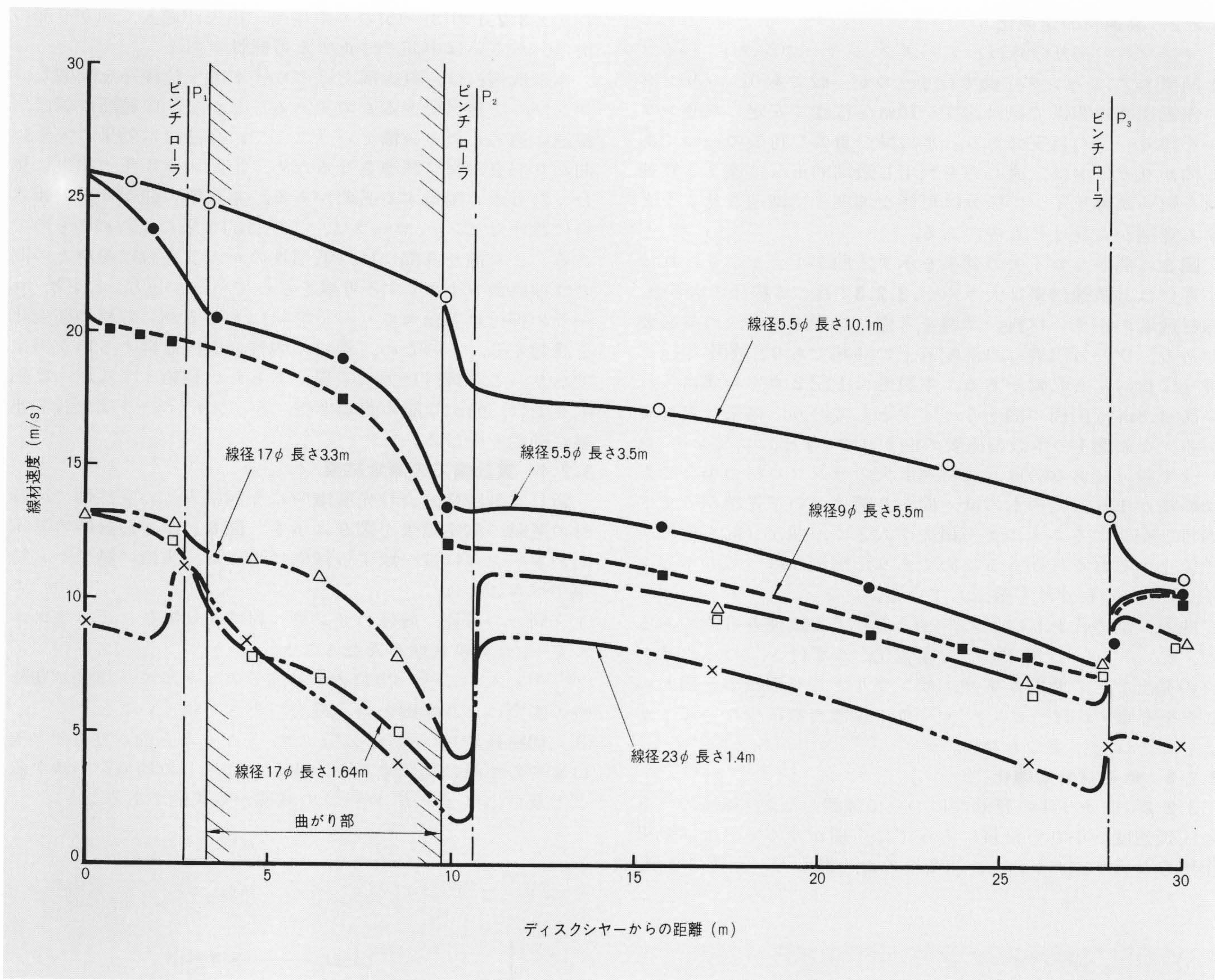


図9 線材の速度変化(実測値) 設計時意図した速度変化(図7)が実証されている。しかし、切断長が長過ぎると曲がり部の効果が出ないことも確認された。

(4) 高速材、低速材の分岐点は線速と線径の両者から決める必要があり、両者は相関関係をもっているが一つの目安として線速 15m/s 、線径 13ϕ を境と考えてよいと思われること。などがあげられる。

また、サンプル片のきず付き状況であるが、前述したように線材の定速化の目的で用いているピンチローラの押付け力の影響で一部圧下を受けており、線径の変化は概略 $(5/100) \times d$ (d : 線材径) である。しかし、線径の確認は、図1に示す①部—この部分は、ピンチローラの作動遅れにより圧下を受けない—を測定することで目的を十分に達することができる。ディスクシヤーの切口は、ディスクの回転速度と線材速度、及びシフトパイプの速度により影響を受けるが、現設備ではサンプルラインの誘導を妨げるものでなく、サンプル片としての価値を損うこともない。

一方、減速用曲がりガイド部での線材への表面きずが予想されたが、大径の線材(16ϕ 以上)に当初誘導不良によるきずが生じたため、ガイドの形状改良、グリースなどの潤滑剤の壁面への塗布の対策を行なって、現状ではほとんどきず付きが無くなっている。

本稿では特にディスクシヤーでの切断分離と線材のライン誘導について述べてきたが、これ以外にチョッピングシヤー

における細分割方法、設備の信頼性向上のための各種インターロックを含んだ制御、及び検出機器など興味深い問題があるが、これらについては別の機会に述べることにする。

4 結 言

以上、今回新日本製鐵株式会社光製鐵所へ納入し、現在順調に稼動している線材圧延設備用自動サンプル採集設備の概要と、サンプルを得る過程での切断時、及び誘導時の問題について数値解析、実測結果を基に論述した。本設備は国内外を通じて、二、三の開発途上のものもあるが最初の成功例である。

線径 $5.5 \sim 30\phi$ 、圧延速度 $6 \sim 30\text{m/s}$ という多種多様の線材の自動サンプリングが可能であることは、他に例がなく、最高速度 30m/s の線材サンプリングという特徴に加えて、ピンチローラを線材の加速、あるいは減速というフレキシブルに富む機能を折り込んだ本設備の広範囲性は特筆すべきことである。

このサンプル採集設備を採用し完成に至る間、種々の御指導並びに納入後の測定に際し多大の御協力をいただいた新日本製鐵株式会社光製鐵所の関係各位に対し深く感謝の意を表わす次第である。