

広 幅 プ ラ ネ タ リ 圧 延 設 備

Wide Planetary Mill

原 口 成 人*
Shigeto Haraguchi

谷 口 哲 二*
Tetsuji Taniguchi

馬 場 信 行*
Nobuyuki Banba

要 旨

昭和41年4月、日本冶金工業株式会社川崎製造所に納入された世界第一の規模を有する広幅プラネタリ圧延設備、さらに同年7月、日立金属株式会社安来工場に納入されたプラネタリ圧延設備は、以来順調に稼働し期待以上の品質の製品の生産にその高性能を発揮している。通常の圧延機における圧下率40%以下に比べ90~98%の大圧下率をもつホットストリップミルであり、アメリカセンジミア社、日商岩井株式会社と日立製作所との共同により設計製作されたものである。

1. 緒 言

従来の圧延機では、圧延材は接触弧において常に圧延ロールに接触した状態で圧延されているが、プラネタリミルでは大径のバックアップロールの回りに多数の小径ワークロールを取り付け、バックアップロールを駆動することによりワークロール群を公転および自転させ、図1に示すように個々のワークロールにより少しずつ圧延するものである。したがってスラブはロール間げきを通過中に多数のワークロールにより次々に小さい圧下を加えられ、全体として1回のパスで大きい圧下を得ることができる。

本プラネタリ圧延設備のおもな特長は次のとおりである。

- (1) 個々のワークロールが小径であるため、単位面積当たりの圧下力が大きくとれ、かたい合金材のストリップ圧延ができる。
- (2) 1回のパスによる圧下が大きく、ガスの吸収をきらうチタンなどの特殊金属の圧延にも適している。
- (3) 圧延前の圧延材の温度をそれほど高くする必要がなく、スケールの生成成分が少なく表面品質の良いものが得られる。
- (4) 連続圧延の特性上、ストリップの頭部と尾部の厚み差が少ないものが得られる。
- (5) タンデム式ストリップ圧延ほど、生産能力は高くはないが圧延設備、建設敷地などの設備費は安く、特に少量多品種の圧延に適している。
- (6) ステンレスの場合、巻取温度が通常のタンデム式ホットストリップミルで圧延したものより高い温度で巻き取られるので連続工程の冷間圧延での圧下がよく効(き)く。

現在までに世界で設置稼働されたプラネタリ圧延設備を表1に示

す。日立金属株式会社安来工場納めの PL24-18 では月当たり150余品種ものの圧延実績があり、日本冶金工業株式会社川崎製造所納め PL64-57 では素材スラブの供給量が制限されているため、連続圧延時間は9時間半なるも順調に安定稼働中である。

以下、日本冶金工業株式会社川崎鍛造所納め PL64-57 広幅プラネタリ圧延設備を中心にその特長を説明する。

2. 広幅プラネタリ圧延設備の概要

2.1 圧延材ならびに製品

圧延材ならびに製品は表2に示すとおりである。

2.2 設備の主要機器の仕様

設備の主要機器の仕様は表2に示すとおりである。

2.3 配置ならびに圧延作業

設備の概略配置は図2(a)、図2(b)に示すとおりである。本圧延設備はその特殊性より加熱炉、圧延機、精整設備が一直線上に配置されている。圧延作業を図2(a)に従って説明する。

スラブヤードにてきず取りされたスラブは、スラブデパイラにより1枚ごとにテーブル上に置かれ、バッティングテーブル上で先行スラブに接触し、トンネル式加熱炉に送り込まれる。所要の温度に加熱されたスラブにはエッジャーによる幅の成形後、No.1およびNo.2フィードロールによりプラネタリロールによるバックスラストに対抗できるようフィードロール一台当たり十数%の圧下を加えられ、プラネタリロールで製品厚さまで一挙に圧延される。次いでプラニシングロールにてプラネタリ圧延特有のストリップ表面の細い波打ち(Scallop)を平坦にすると同時に、巻き取りに必要な後方張力を与える。プラニシングミル後方にはストリップの先端およびシートの定尺切断用のフライングシャーが設けられている。ス

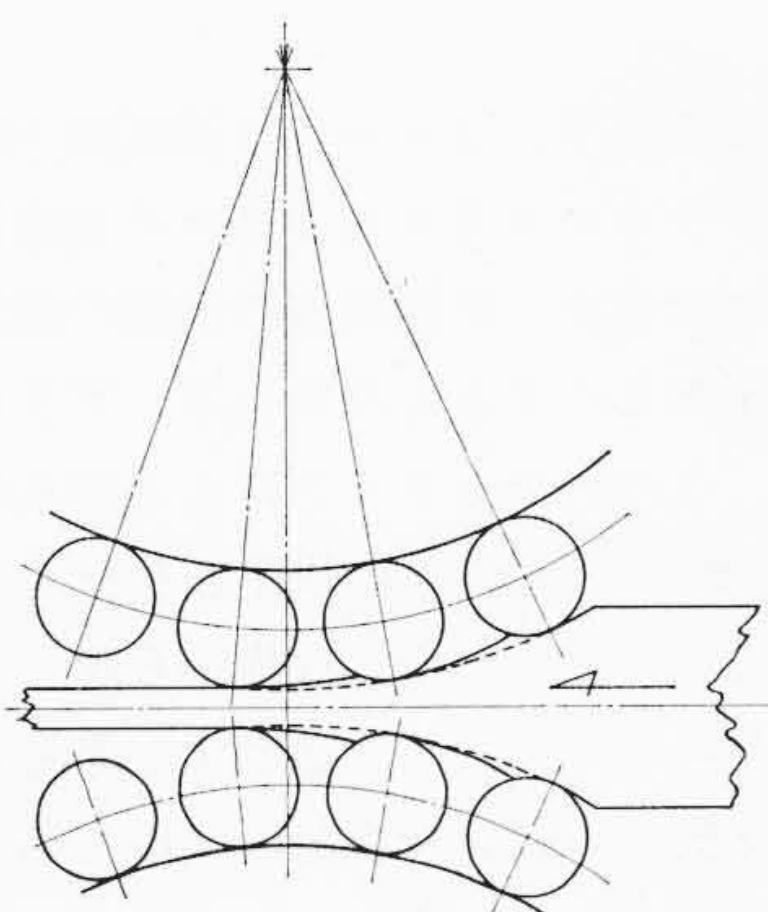


図1 プラネタリミル・
ロールバイトの原理

表1 センジミア式プラネタリ圧延設備一覧表

番 号	形 式	建設年	会 社 名	場 所	圧 延 材
1	PL11-8	1950	八幡製鉄株式会社	日 本	ステンレス, 高炭素鋼
2	PL16-11	1951	Naval Ordnance Laboratory	アメリカ Washington D.C.	合 金 鋼
3	PL32-24	1954	Atlas Steel Ltd.	カナダ Welland	ステンレス
4	PL24-18	1954	Ductile Steels Ltd.	イギリス Willenhall	低炭素鋼
5	PL16-13%	1955	Magnetics Inc.	アメリカ Butler Penn	Electirical Alloys
6	PL16-13%	1955	General Electric Co.	アメリカ Schenectady N.Y.	Electirical Alloys
7	PL24-18	1955	Ductile Steels Ltd.	イギリス Rotherham	ステンレス, 低炭素鋼
8	PL52-44	1955	United States Steel Corp.	アメリカ	普 通 鋼
9	PL52-52	1962	Norbottens Jarnverk	スウェーデン Lulea	低炭素鋼
10	PL32-22	1962	Benteler Werke	ド イ ツ Schloss Neuhaus	低炭素鋼
11	PL24-19	1962	Henry Wiggin & Co.	イギリス Herford	ナイモニック, 特殊鋼
12	PL32-22	1962	Hellefors Jernverk	スウェーデン Hellefors	ステンレス, 低炭素鋼
13	PL32-26		Esteban Orbegozo S.A.	スペイン Zumarraga	ニクロム鋼, 合金鋼
14	PL64-57	1965	Atlas Steels Ltd.	カナダ Tracy	低炭素鋼
15	PL64-57	1965	日本冶金工業株式会社	日 本 川崎	ステンレス
16	PL24-18	1965	日立金属株式会社	日 本 安来	合金鋼, 高速度鋼

* 日立製作所日立工場

表2 圧延材および製品

	PL-64-57 日本冶金工業株式会社納	PL-24-18 日立金属株式会社納
圧延材 圧延材寸法 重量 製品	ステンレス鋼, その他 最大 140厚×1,300幅× 6,500 長 mm 最大 7 t 800 kg ストリップ 6~3.5 mm 厚 シート 25~6 mm 厚 プレート 50~25 mm 厚	合金工具鋼高速度鋼, ステン レス鋼 最大 49 厚×380 幅×5,000 長 mm 最大 750 kg ストリップ 6~1.5 mm 厚
スラブデバイラ 炉 エッジャー	2 フック式トンガ形クレーン トンネル形ローラハース式 (燃料 重油・ブタンガス) 1,030φ×250L×2 本 DC 55 kW 515/1030 rpm	なし ウォーキングビーム式予熱炉 誘導式急速加熱炉 560φ×150L×2 本 DC 11 kW 725/1,450 rpm ×2 台
プラネタリミル No. 1 フィードロール	プレストレス構造, 2 重式 890φ×1,450L×2 本 DC 210 kW 390/780 rpm× 1 台	2 重式 560φ×455L×2 本 DC 55 kW 515/1,030 rpm ×1 台
No. 2 フィードロール	プレストレス構造, 2 重式 890φ×1,450L×2 本 DC 210 kW 390/780 rpm× 1 台	なし
プラネタリロール ワークロール バックアップロール	プレストレス構造 188φ×1,450L×48 本 1,314φ×1,450L×2 本 AC 5,250 kW×500 rpm× 1 台	80φ×455L×40 本 476φ×455L×2 本 AC 930 kW×1,200 rpm× 1 台
プラニシングミル	2 重式圧延機 812φ×1,525L×2 本 DC 600 kW×500/800 rpm	4 重式圧延機 ワークロール 300φ×500L×2 本 バックアップロール 500φ×500L×2 本 DC 246 kW 390/468 rpm× 1 台
シャー 切断能力	ドラム形フライングシャー DC 110 kW 460/920 rpm Max 25 mm 厚×1,300 幅	なし
コイラ ドラム寸法	双胴回転形 (回転木馬式) 610φ×1,650L×2 本 DC 100 kW 280/720/700/ 1,310 rpm	双胴回転式 (回転木馬式) 450φ×680L×2 本 DC 23.4/55 kW 219/420/ 515/800 rpm
レベラ	15 本ロール 2 段矯正式 300φ×1,500L×15 本 AC 100 kW×600 rpm×1 台	なし
パイラ	パイリング能力 15,000 kg 油圧電動併用機構	なし

トリップ圧延の場合, ランアウトテーブル上にて適当に冷却され, 双胴のカルセルコイラに巻き取られ, 圧延ラインとは直角方向に設けられたコイルコンベヤ上で自動的にバインドされコイルヤードへ搬送される。シート圧延では, 定尺切断後レベラにて矯正され, 製品表面にきずを付けないよう設計されたサイドパイラにより自動的にパイリングされ, 製品ヤードへ搬出される。プレート圧延ではシャーの代わりに設けられたパウダーカッティングマシンにより切断後, サイドパイラに送られる。

2.4 主要機器

2.4.1 加熱炉

トンネル式加熱炉で, 初めの 55% の長さは重油により, 残り 45% の長さはブタンガスにより加熱されている。スラブは炉入口よりすき間なく並べられ連続して炉内に送り込まれ, 次第に加熱され炉出口にて所要の温度となる。

2.4.2 デスケーリング装置

ステンレス圧延では, スケールの発生がわずかであるため使用

の必要はないが, 普通鋼などの場合, スケールのロールバイトへのくい込み防止のために本装置が設けられている。炉出口とエッジャーとの間に設けられ, 140 kg/cm² の高圧水噴射ノズルをスラブと直角方向に往復動作させる機構となっている。

2.4.3 エッジャー

エッジャーはスラブの幅方向のわずかな圧下と, 幅の成形を行ないプラネタリミルでの圧延の際に起こる“耳の重なり”を防ぐものであり, スラブ幅に応じロール間げきを調整する構造となっている。またスラブの温度低下とスケールの発生防止のため, 加熱炉出口ときわめて接近しているのでスラブ自身のもつ多大な熱と炉からの熱に対する防熱に特殊な設計を施している。

2.4.4 プラネタリミル

プラネタリミルは図4に示すとおり2組のフィードロールと, 1組のプラネタリロールから構成されている。

フィードロールは No. 1 および No. 2 のそれぞれ上下2本のロールから構成され, プラネタリロールと同一ハウジング内に組み込まれている。ロールは特殊鋼製スリーブロールで, プラネタリ圧延特有の連続長時間圧延にもじゅうぶん耐えられるよう強度, 材質上から特別の配慮がなされている。

プラネタリロールは1本のバックアップロールの回りに多数の小径ワークロールを配し, これを上下1組としてワークロールを公転させスラブを圧延する。各ワークロールの軸受部は両端にバックアップロールと同軸に組み込まれたケーシングにスプリングによって特殊クランプされたワークロールチョックにより支承され, バックアップロールと異なる公転速度をもって回転する。この公転速度はバックアップロール回転数, スラブのフィードイング速度, 各ロール径によって定まる速度で, かつ遊星ギヤを有するピニオンスタンド内にて上下が完全に同調できる機構となっている。また, ワークロールチョックは特殊材質のパットにて衝撃荷重を緩和させる一方, 軸受部は確実に給油されるようくふうされ, 高速高負荷に耐える設計となっている。

本圧延の特性の一つにワークロールがスラブにかみ込む際に発生するおよそ 30~35 Hz の振動と圧延圧力の急激な変動に対して 350 kg/cm² の高圧シリンダによるプレストレス方式, ソールプレート下面の弾性パットのくふう, そして本機の生命であるワークロールチョック回りの各種パットにも材質, 構造上種々検討が加えられている。配管類の防振対策や各機器部品のゆるみ止めにも特別の配慮がなされている。

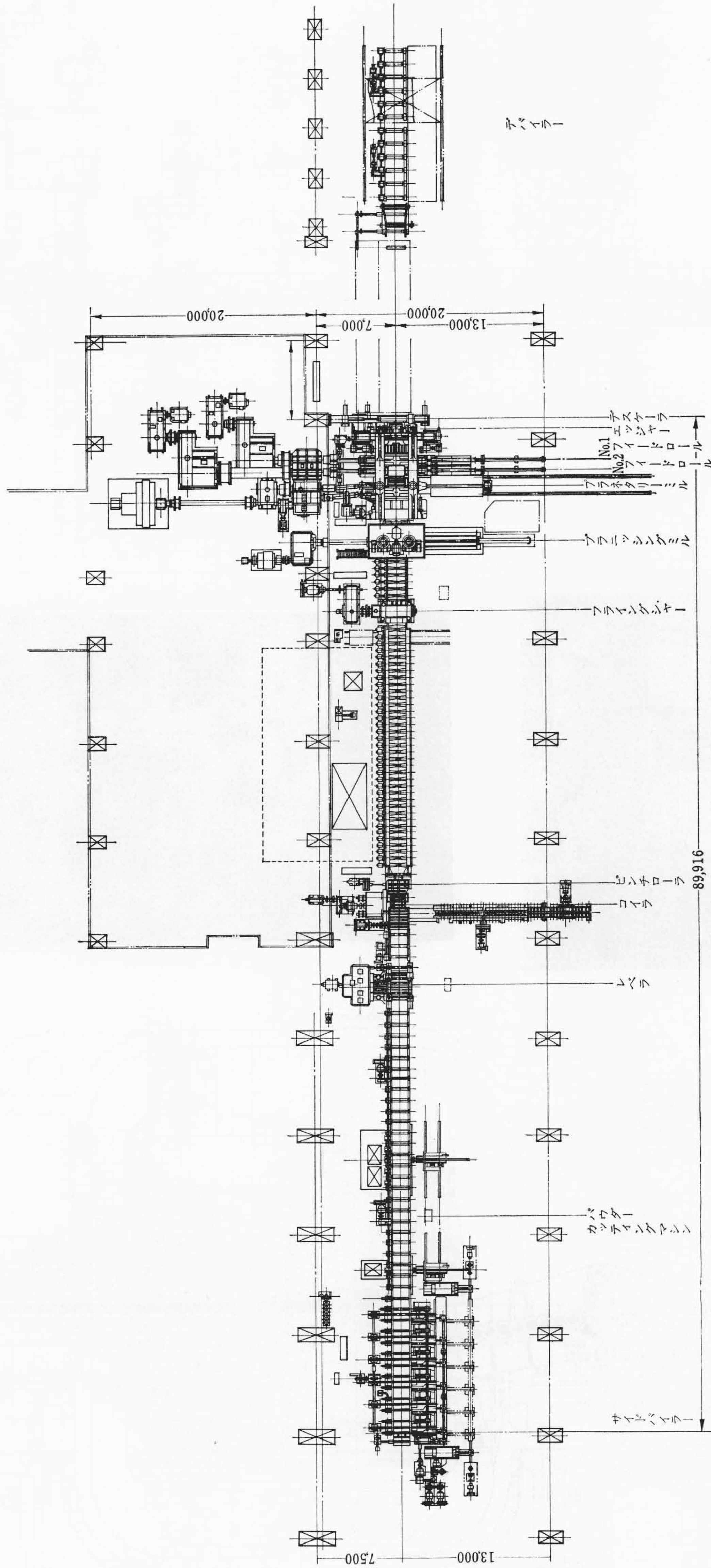
スケールのかみ込み防止のため, 2.4.2 のデスケーリング装置のほか蒸気デスケーリングを行ない, プラネタリロール寸前にて強力な吸引圧力を有するバキュームデスケーリング装置を設けている。

2.4.5 プラニシングミル

上ロールは圧下スクリュウによる圧下, 下ロールは油圧押し上げ方式を有する 2 H ミルである。プラネタリミルおよびコイラ巻き取りに適当な張力を与え, かつプラネタリ圧延特有の表面の細かい波打ちをわずかの圧下により平たんにするものである。プラニシングミルを出たあとの板では, このスキヤロップによる厚みの差は ±0.01 mm 以下であり, 冷延で 30~50% の圧下を加えることにより視覚的にも完全に消えている。また圧延機構から起こるストリップの後端の厚肉部がプラニシングミルを通過する際発生する過負荷を逃げ, 後続ストリップ先端の通過を容易にするためのロールクイックオープン機構を取り入れている。

2.4.6 コイラ

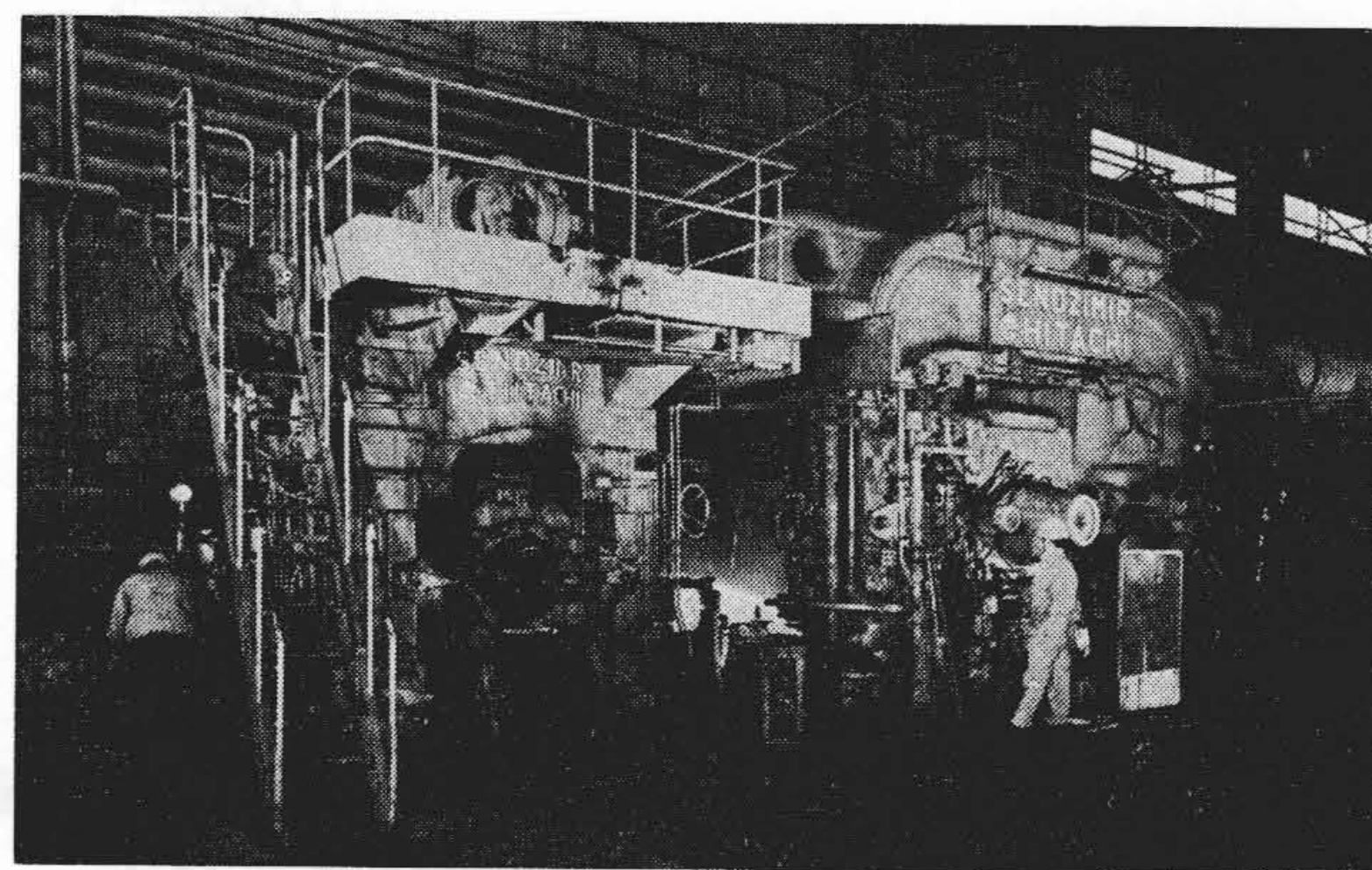
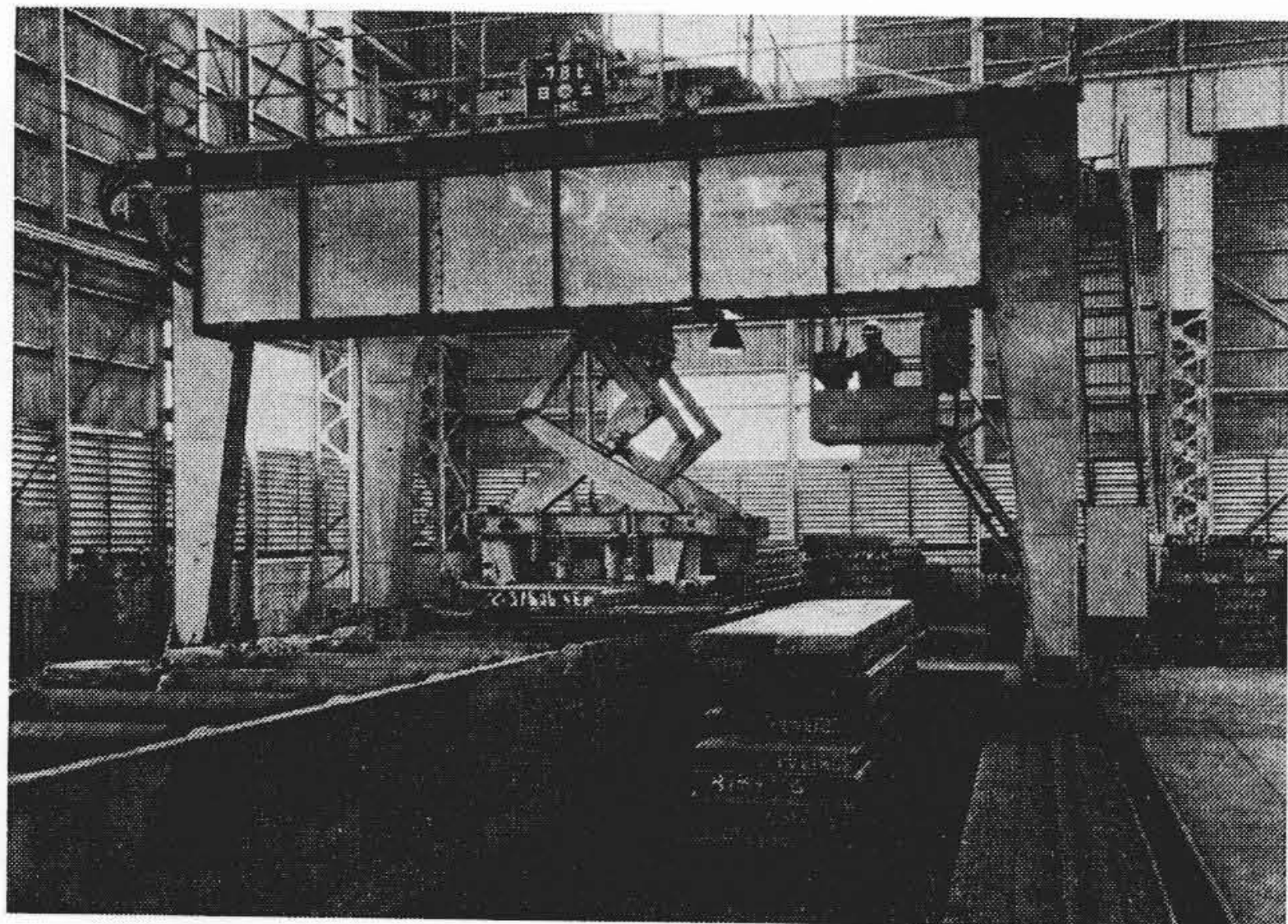
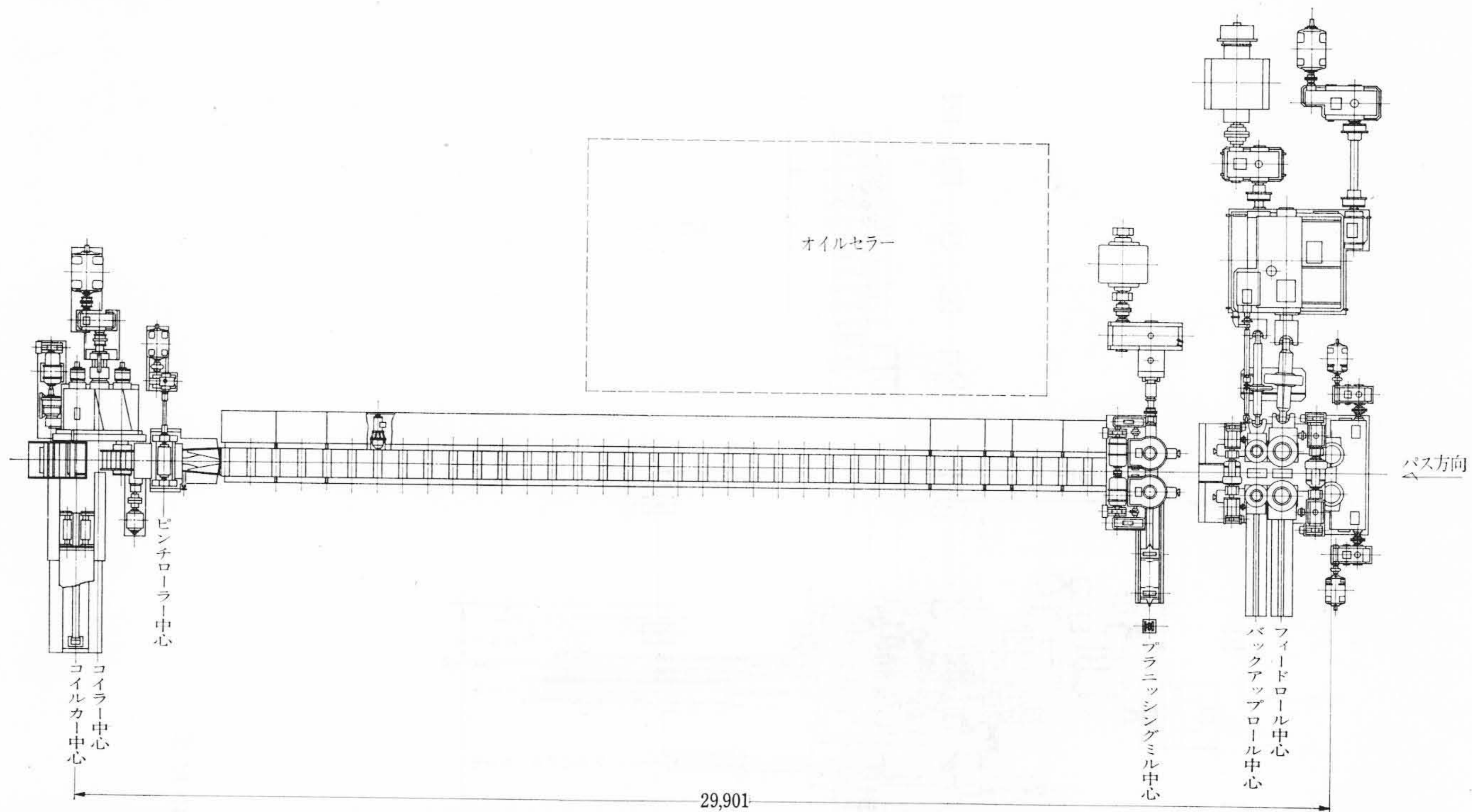
2 個の巻取りドラムが1個の公転可能なコイラハウジングに装備された双胴形のカルセルコイラである。先行ストリップを巻き



(a)

(日本冶金工業株式会社納)

図2(a) PL64-57形プラネタリ圧延設備全体配置



上 :

(日立金属株式会社納)

図 2 (b) PL24-18 形プラネタリ
圧延設備全体配置

中左 :

(日本冶金工業株式会社納)

図 3 デバイラクレーン

中右 :

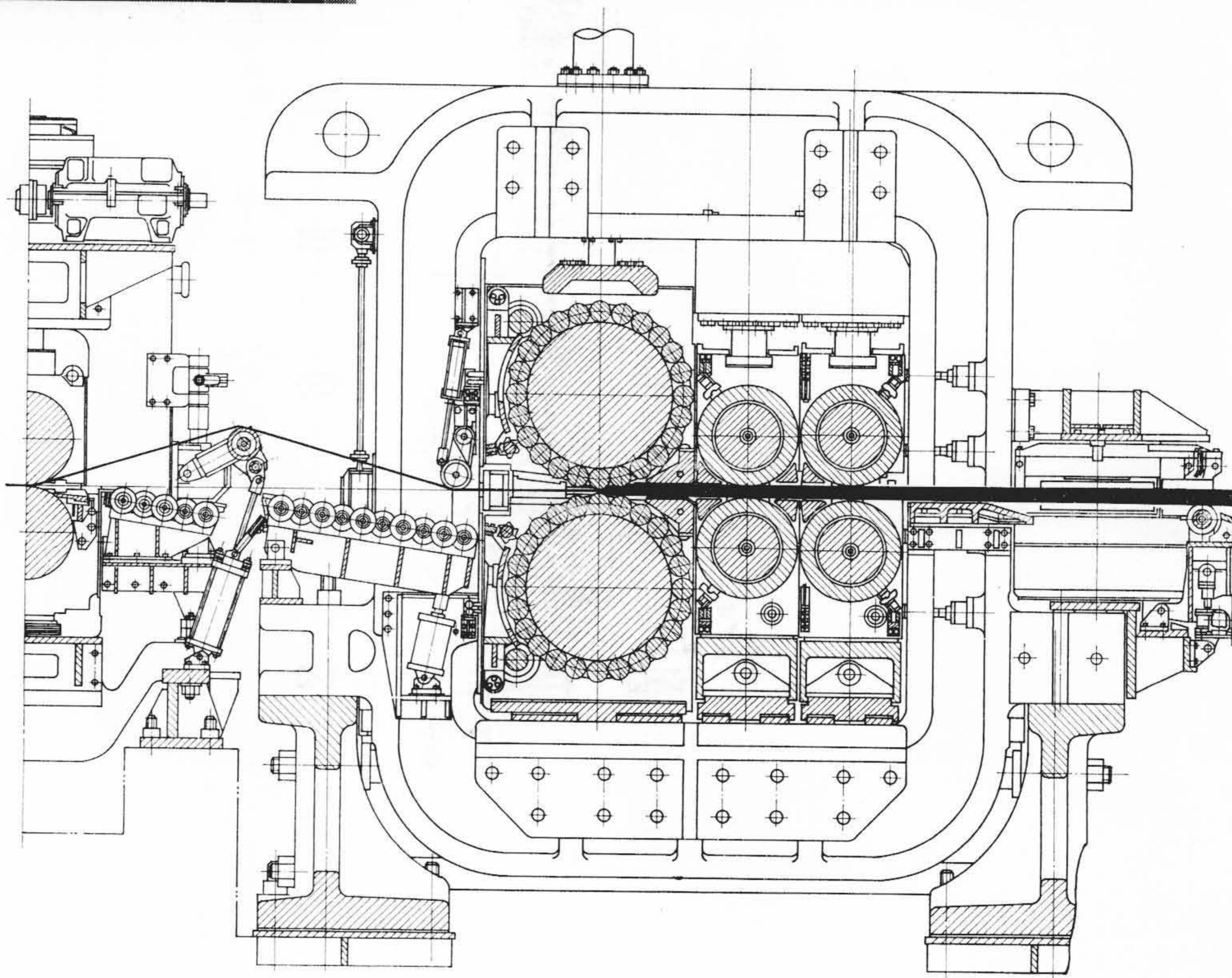
(日本冶金工業株式会社納)

図 4 (a) プラネタリミル全体

下 :

(日本冶金工業株式会社納)

図 4 (b) プラネタリミル断面



取りながら公転し、巻き終わり時にはコイルカー上に位置し自動的に搬出される。この搬出作業中もう一方のドラムにより後続ストリップを巻き取るもので、すべて自動操作となっており、張力制御と合わせ種々検討くふうされたものである(図5)。

2.4.7 サイドパイラ

シートならびにプレートのパイリング搬出において、製品のきず付きを防止し、製品の耳をそろえてパイリングできるよう油圧動作と電動操作とを合わせ、リンク機構を応用した特殊設計となっている。製品をローラテーブルよりわずかに持上げ横方向へ移送し、パイリングする。所要枚数を積み重ねたのち、コンベヤにより製品ヤードへ搬出される。連続して圧延される製品を滞りなく処理できるよう検討が加えられている(図6)。

3. プラネタリミル駆動系のねじり振動

本機の設計に当たりワークロールがスラブに接触するたびに発生する 30~35 Hz の衝撃振動が駆動軸系に周期的な強制振動を与える。プラネタリミルの入力軸、バックスラストによる No. 1, 2 フィードロール駆動軸、エッジヤード駆動軸にその振動が伝えられるので全駆動軸の固有ねじり振動数を算出し、圧延振動サイクルを避けな

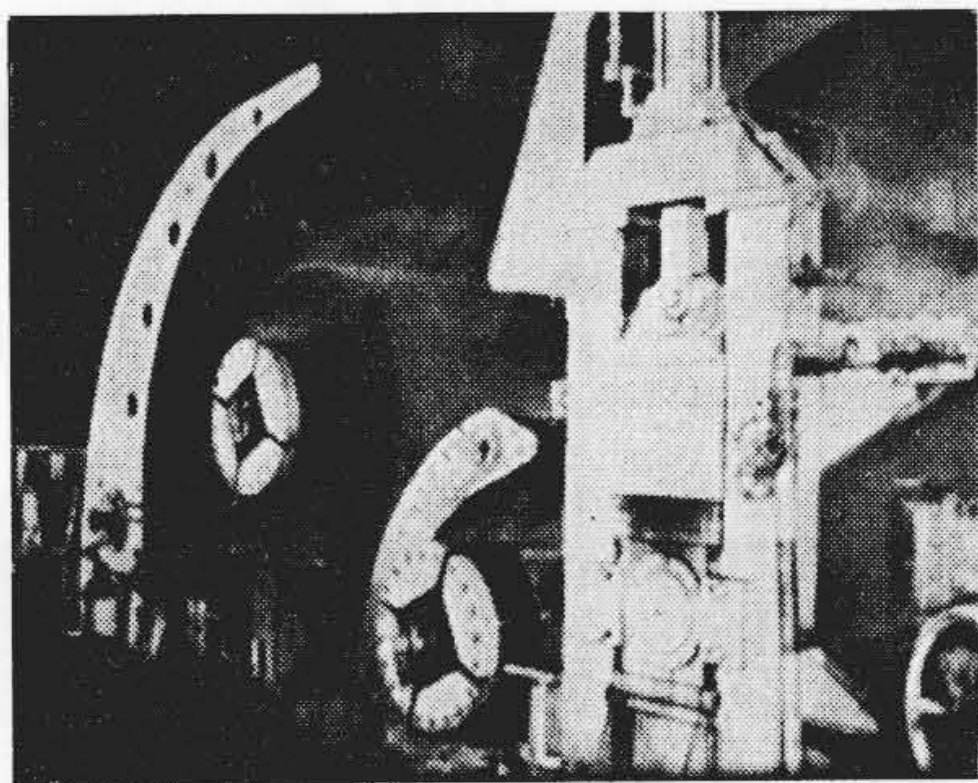


図5 カルセルコイラ

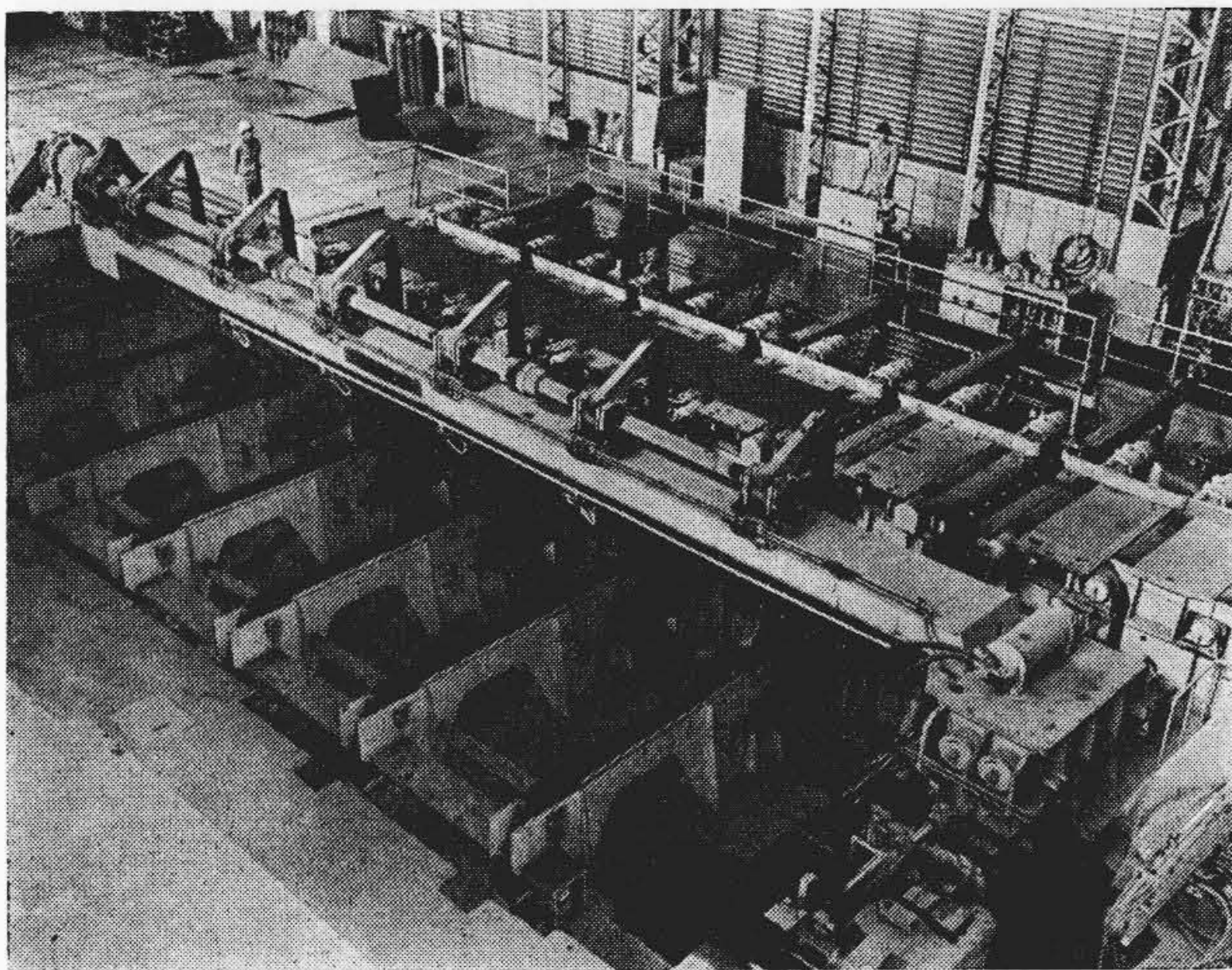


図6 サイドパイラ

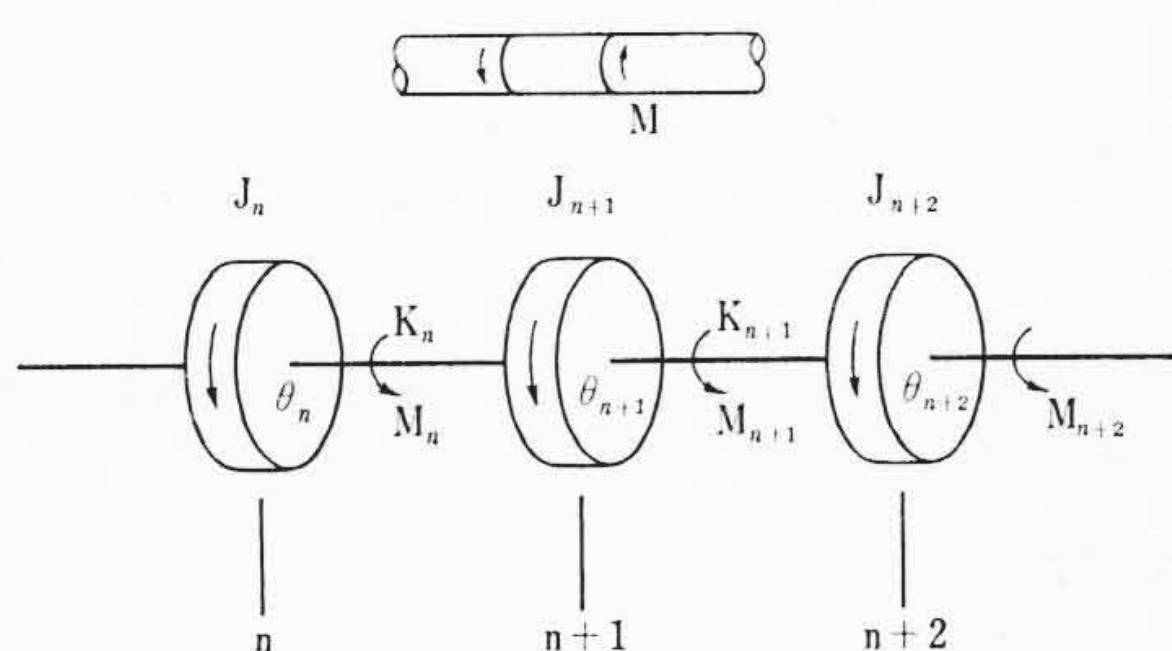


図7 ホルツァ法による計算のための円板と軸

ければならない。この検討は円板と軸からなる軸系の固有ねじり振動数を求めるホルツァの方法によった。図7の軸系において

- θ_n : 円板の振幅 (rad)
- M_n : 軸のねじりモーメント (kg-cm)
- K_n : 軸のねじりバネ定数 (kg-cm/rad)
- J_n : 質量慣性モーメント (kg-cm²)
- ω : 角振動数 (rad/s)
- f : 振動数 (Hz)

とすれば

$$\theta_{n+1} = \theta_n - \frac{M_n}{K_n}$$

$$M_{n+1} = M_n + J_{n+1} \cdot \omega^2 \cdot \theta_{n+1}$$

が成立する。このとき両軸端の境界条件として

自由端にて $M=0$

固定端にて $\theta=0$

を満足するような振動数を求めれば、この軸系の固有振動数となる。各駆動軸の系統と等価振動系は図8(a)~図8(d)に示すとおりで

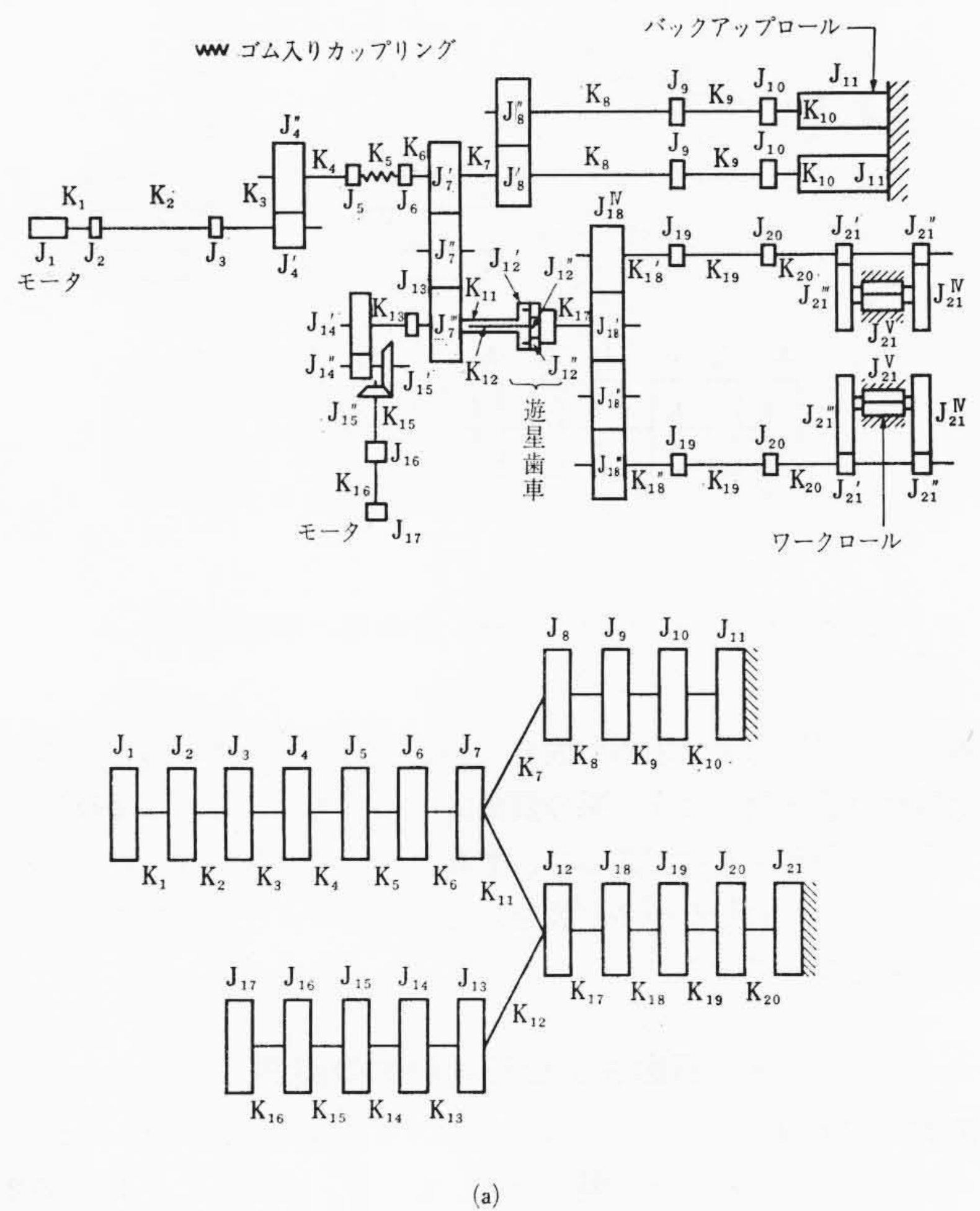


図8(a) ワークロールおよびバックアップロールの軸系と等価振動系

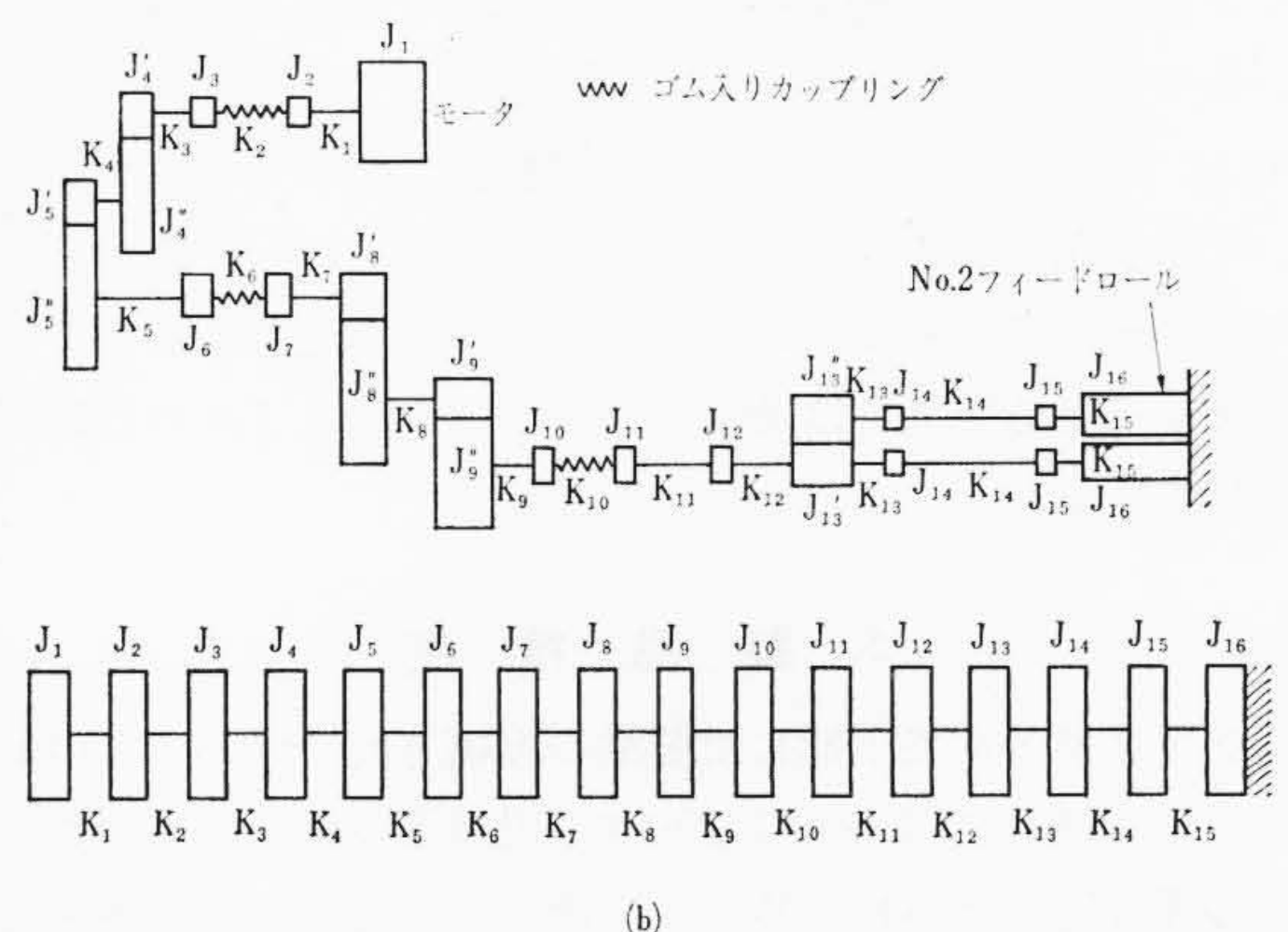


図8(b) No.2フィードロールの軸系と等価振動系

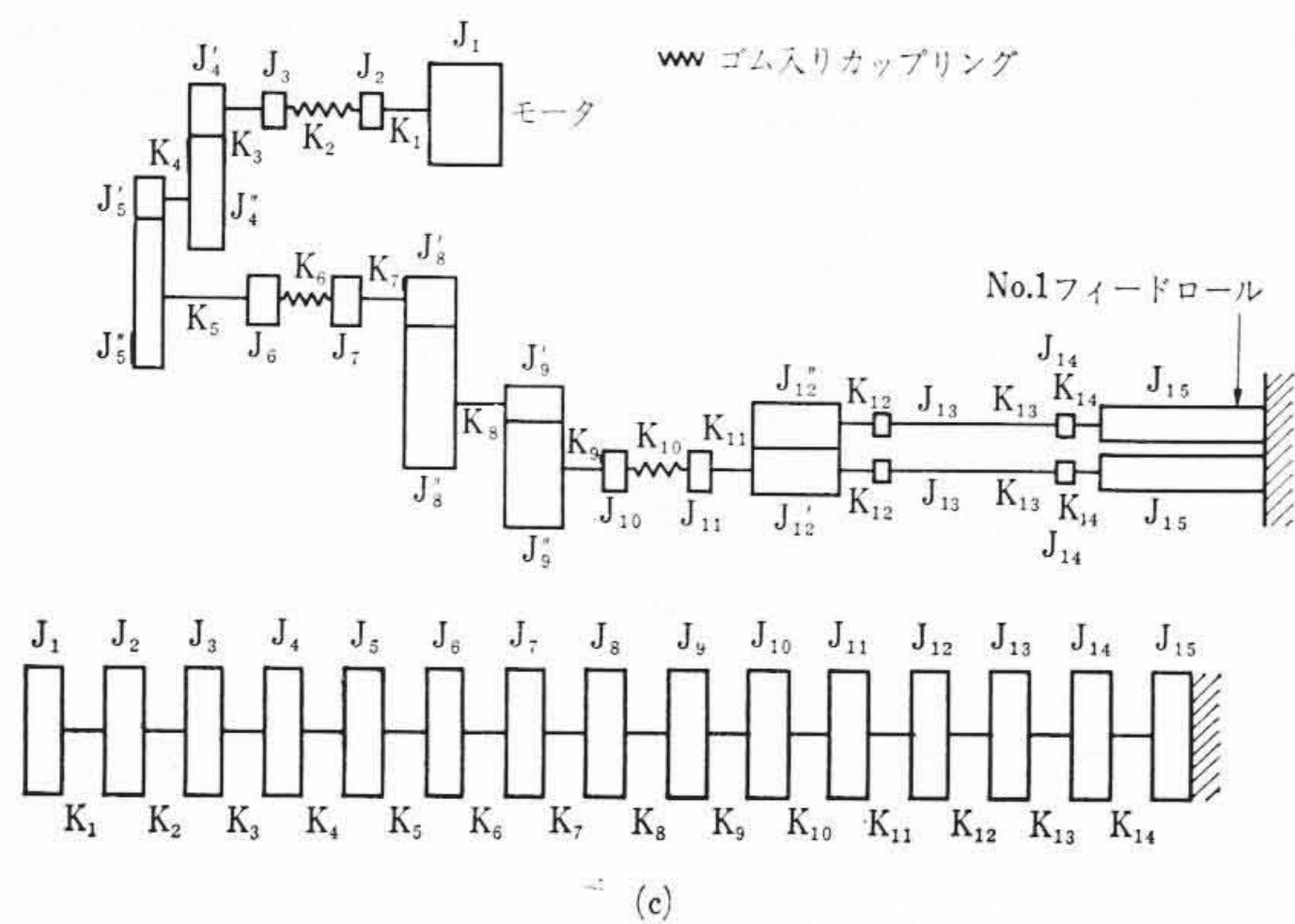


図8(c) No.1 フィードロールの軸系と等価振動系

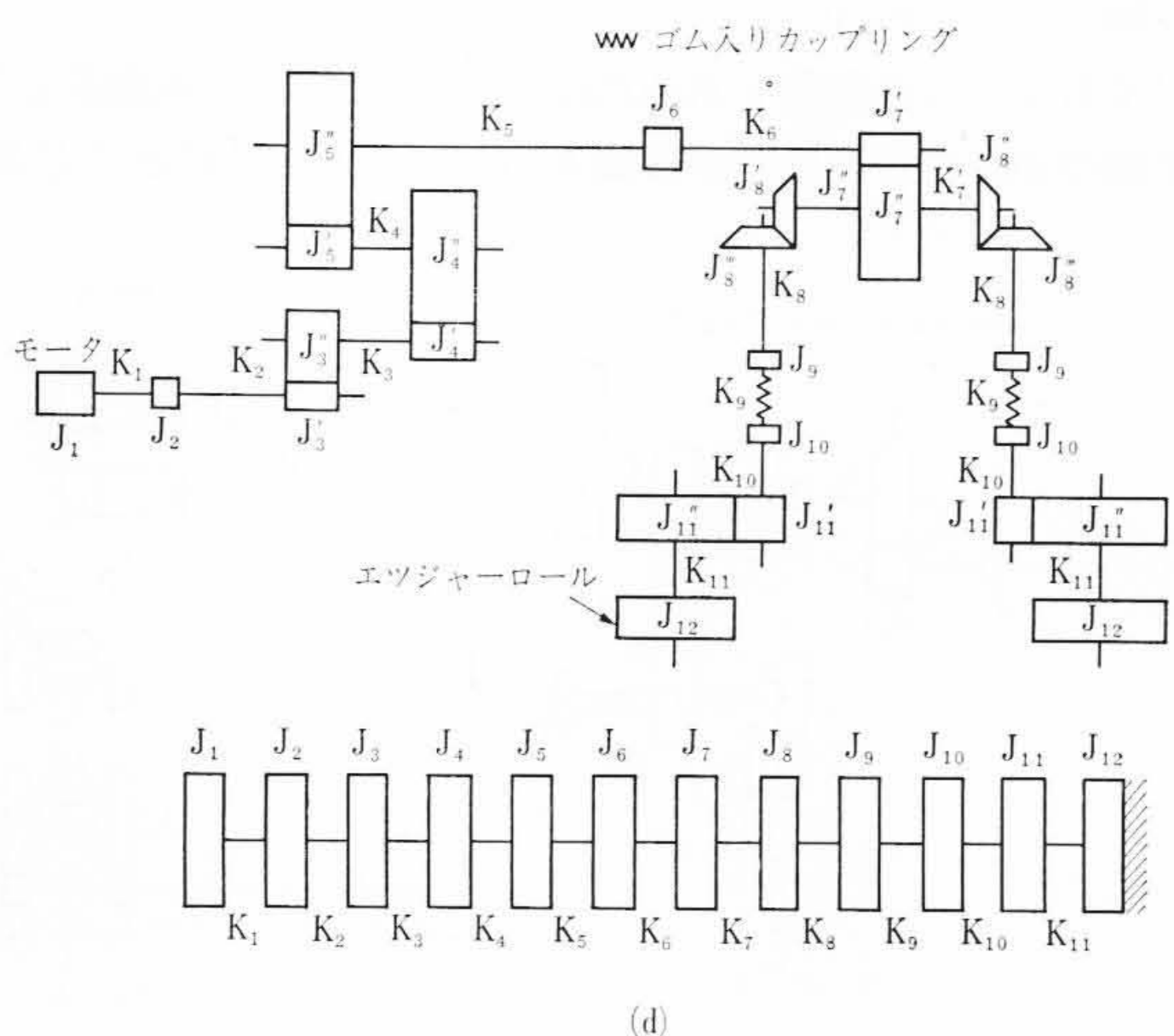


図8(d) エッジロールの軸系と等価振動系

ある。この手法により求めた固有振動数を励振サイクルから $\pm 15\%$ 以上離れた値となるよう、系の質量慣性モーメントもしくはねじりバネ定数を調整するのであるが、本機の場合は特殊設計のゴム入りカップリングのねじりバネ定数を変える方法により、図9に示すような結果となっている。

4. 振動および圧延動力の実測

図10はNo.2フィードロールによりスラブ送り込み、次いでプラネタリロールにかみ込んだ現象を示している。振動サイクルは35.2 Hzで、スラブ先端が正常なロールバイトを形成するに従い振幅が増加し、バックスラストによるフィードロールのねじり振動の増加をとらえている。図11は先行スラブと後続スラブの継ぎ目がロールバイトを通過する状態を示し、圧延動力や振動が短時間だけ減少しているのが認められる。

図12はプラネタリミルによる圧延動力をAISI 304 ステンレス鋼についての実測値を示したものである。なお、ホットタンデムによるパワーカーブを参考までに併記する。これに見られるようにプラネタリミルによる圧延では通常のホットタンデムミルの約70~90%の圧延動力ですむ。

5. 製品精度

本プラネタリミルで圧延した製品の板幅方向の厚みを図13(a)、(b)に、長手方向の厚みおよび幅の変化を図14、15に示す。板厚の変化は耳付近に限られ、耳割れもほとんどなく製品の歩どまりが良いことを示し、長手方向の変化も前後端それぞれ7~10 m以内に

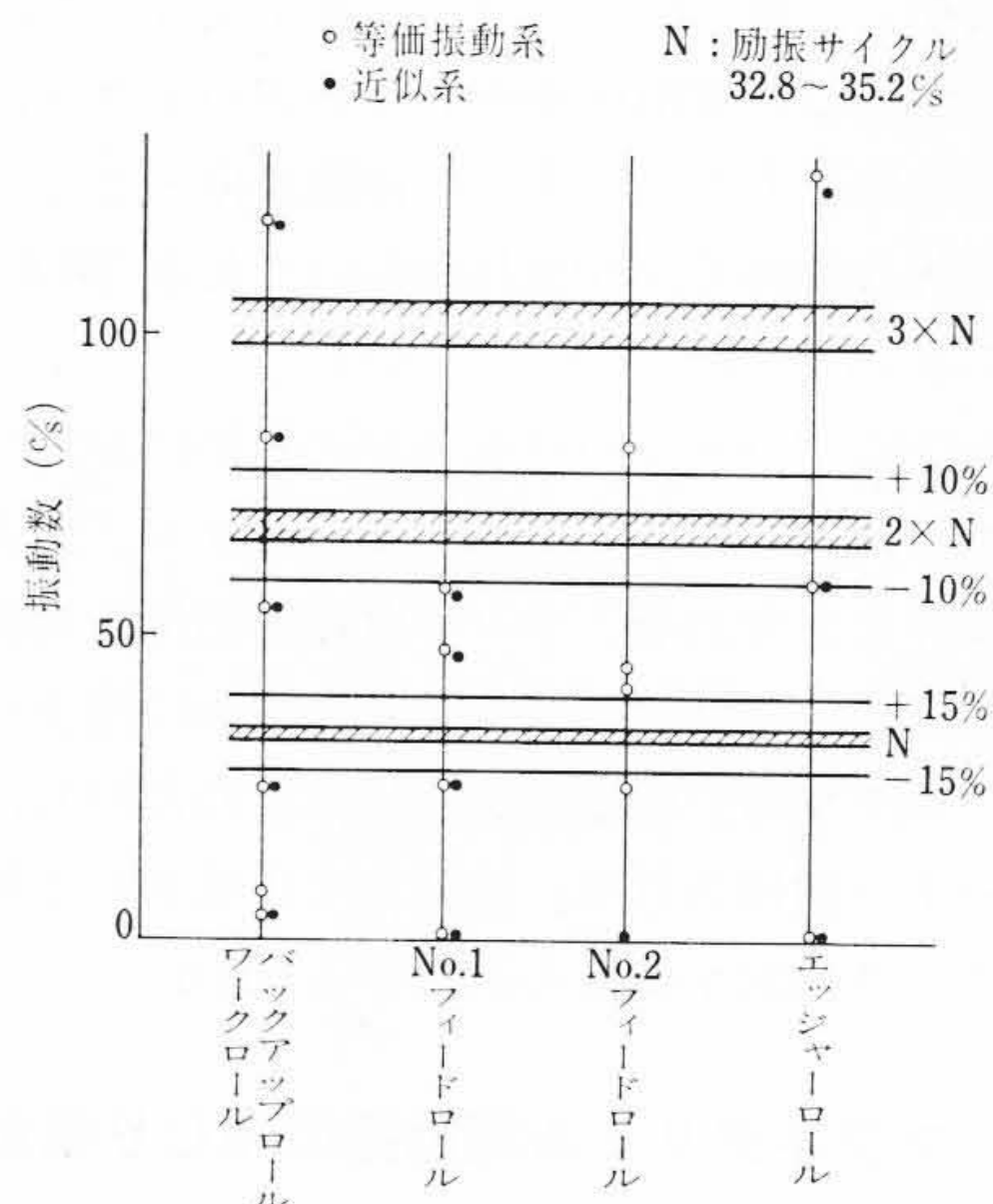


図9 各駆動軸の固有振動数

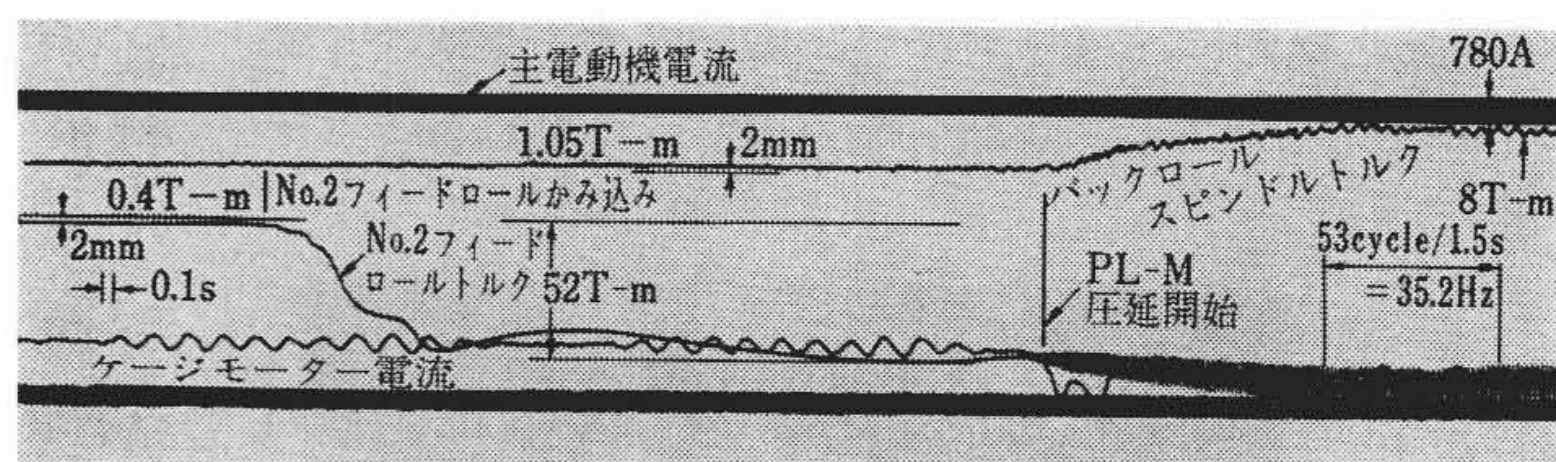


図10 スラブかみ込み開始

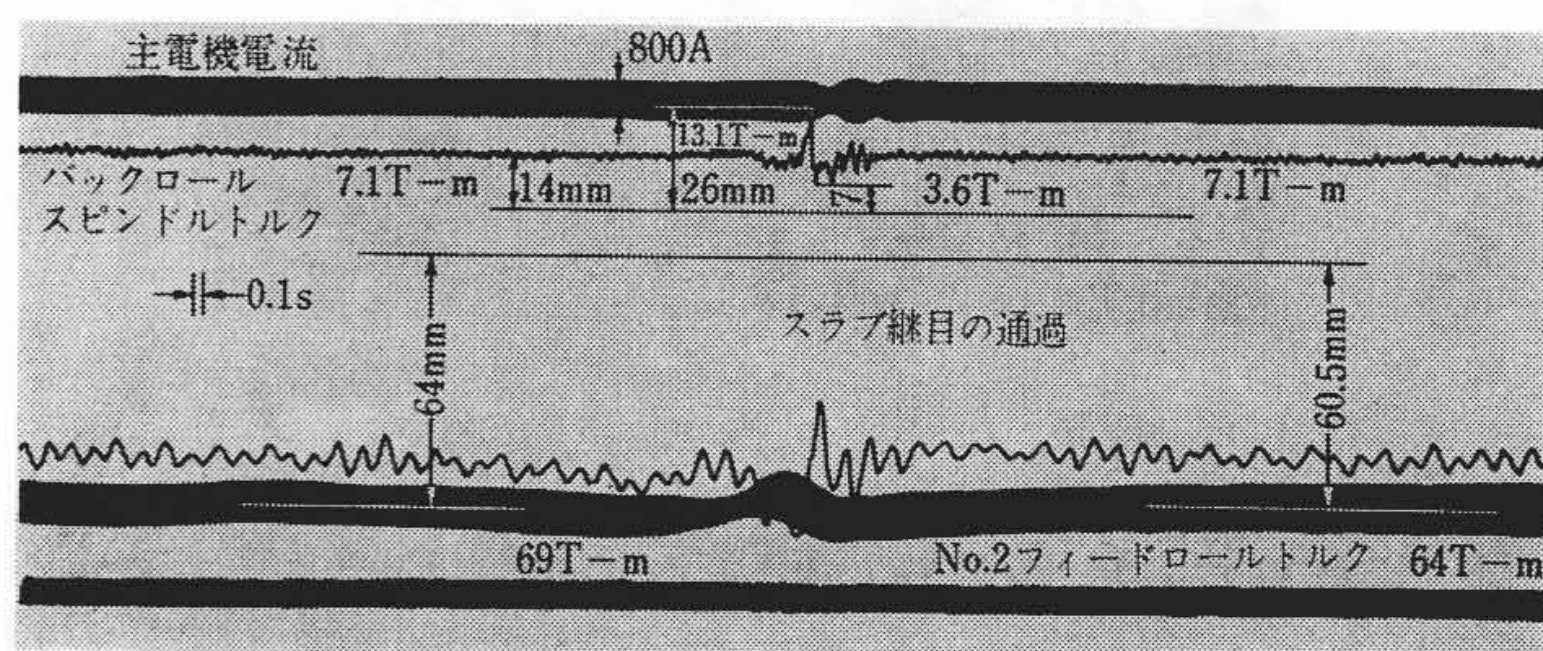


図11 スラブ継目の通過

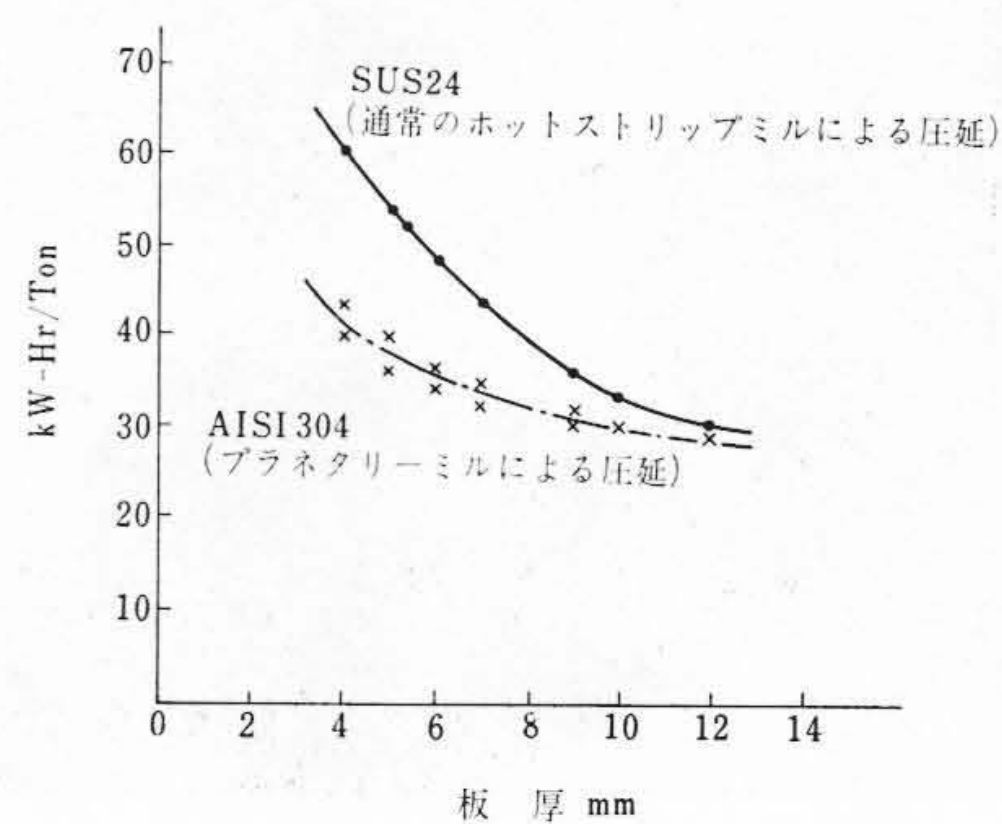


図12 84 mm 厚みより圧延する場合の圧延動力

過ぎず、タンデムミルの圧延の際に起こるステップ状の厚み変化もない。

スケールの発生が少なく、製品表面状態がきわめて良好であり、スキヤロップも冷延にて30~50%の圧下で完全に消え製品として問題はなくなる。

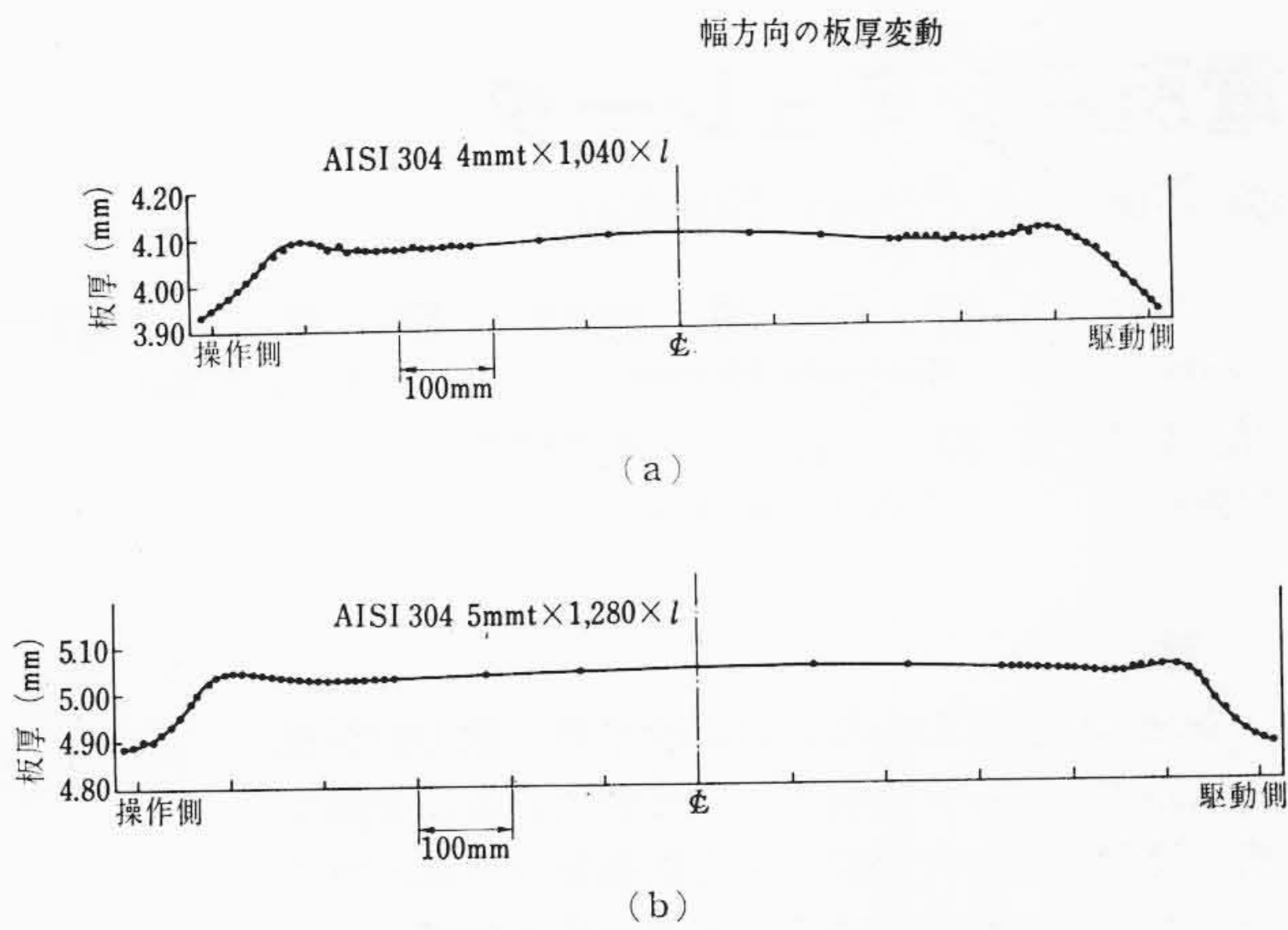


図 13 幅方向の板厚変動

6. 結 言

本プラネタリミルは国産第1号機であると同時に、このサイズでは世界第1号機であり、アメリカセンジミア社、日商岩井株式会社と日立製作所との綿密な共同設計製作により納入されたものである。現在では上下左右の同調機構のトラブルもなく、当初心配された駆動系の共振現象も特殊カップリングの使用により計算どおりの数値

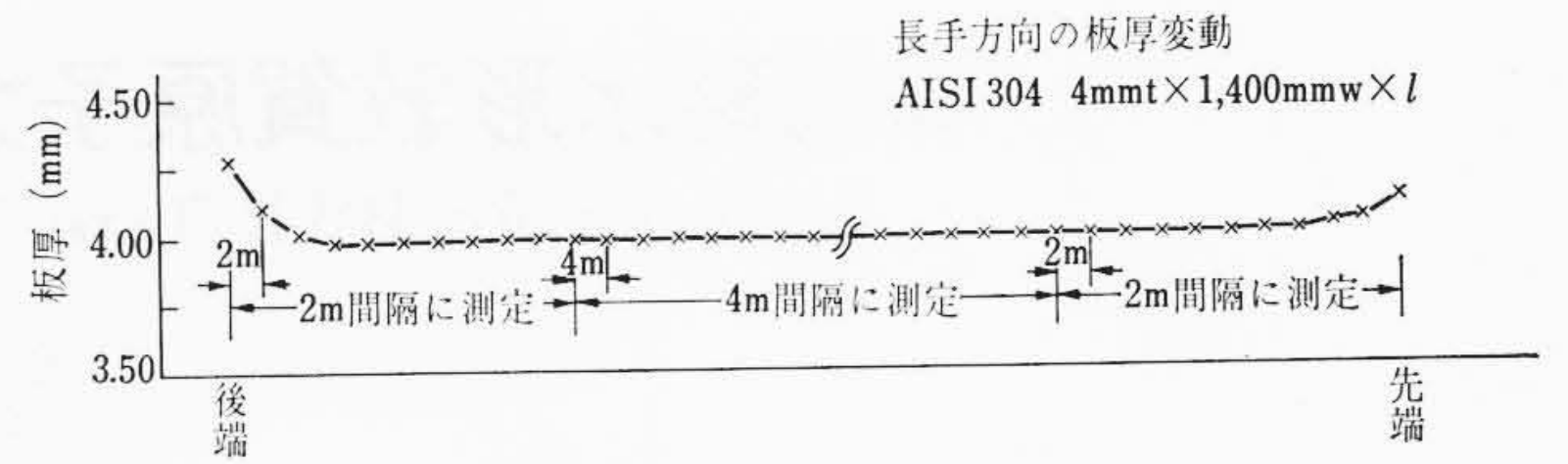


図 14 長手方向の板厚変動

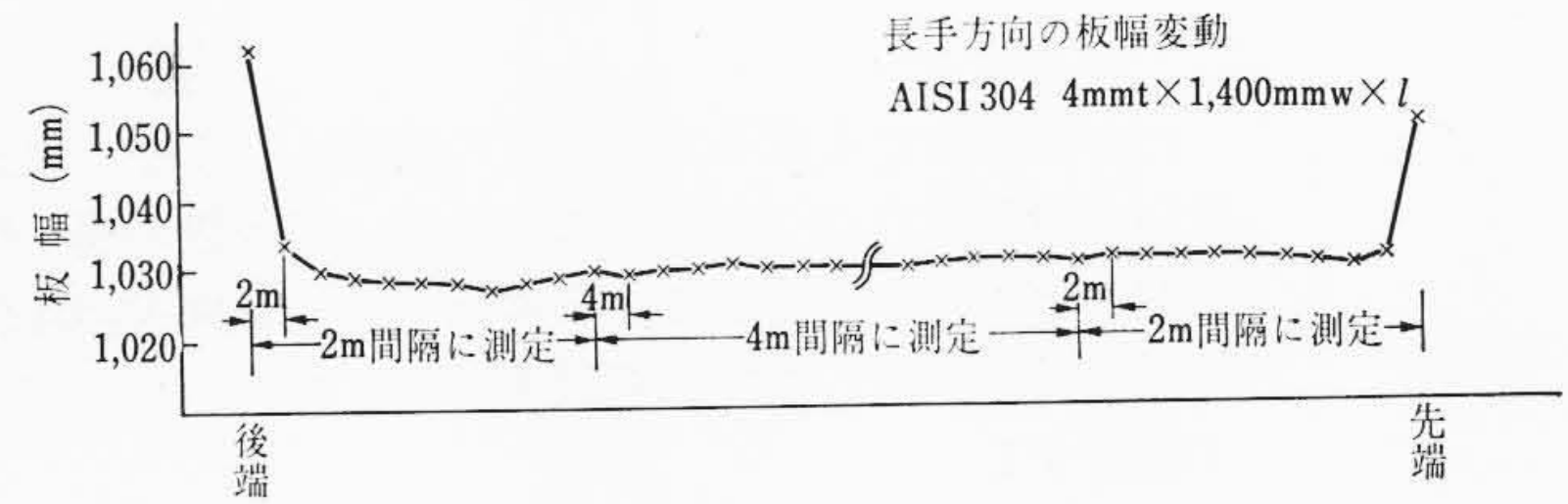


図 15 長手方向の板幅変動

となり、なんら問題なく良好な製品を圧延し、プラネタリミルの特色をじゅうぶんに発揮している。

本稿を終わるに当たり、本設備の製作の機会を与えられ、あらゆる面でご協力をいただいた日本冶金工業株式会社ならびに日立金属株式会社関係各位に対し深甚なる謝意を表する次第である。

Vol. 30

日 立 造 船 技 報

No. 4

目 次

■ 論 文

- ・配管系応力計算の電算化
- ・船尾船橋楼の振動
- ・細長船に対する波浪中船体運動方程式の検討

- ・鋼製高橋脚を有する橋りょうの耐震設計について
- ・斜張橋の還元法による解析および構造特性について
- ・立円筒形加熱炉における熱効率および受熱分布

………本誌に関する照会は下記に願います………

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町 60 郵便番号 554