

冷間圧延機張力および巻太り制御装置

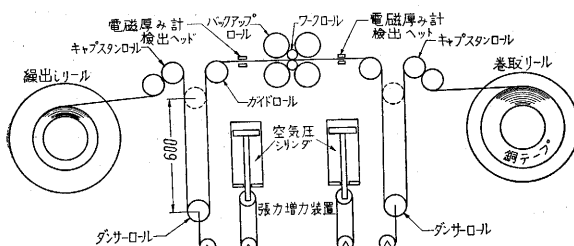
佐 藤 武 彦・伊 藤 敬 之 助

1. は し が き

冷間圧延機による圧延行程において、製品の板厚を一定にする目的で各種の制御方式が試みられている。鉄鋼工業における大型高速圧延機の場合は、放射線厚み計によりロールの圧下電動機あるいは駆動電動機を操作する方式が最近に至り採用されているが、ここに述べる精密圧延機の場合は、ロール圧下量、駆動電動機速度はそれぞれ定値制御し、電磁厚み計により前方および後方張力を同時に操作して製品板厚を極めて高い精度で制御しようとするものである。張力制御装置としての空気圧シリンダに供給する空気圧力を制御するのに、従来の Air-O-Line およびパワー・シリンダポジッショナによる方式と違って、空気圧精密減圧弁をサーボ機構により高速度で電氣的に操作する方式をとり電気式圧力検出器と併用して mV 信号に応ずる圧力の電気式追従制御を行なっている。また付属制御装置としての巻太り制御装置では同様な空気圧力の電気式操作機構を使用して角度信号に応ずる空気圧力の追従制御を行なっている。ここにその装置の概略を紹介する。

2. 圧延機および仕様

本機は単スタンドのレバース・ミルでその系統図を第 1 図に示す。幅 30 mm、板厚 0.3 mm の銅テープの粗



第 1 図 圧延機系統図

材を数回行き帰り通すことにより 20μ の板厚まで圧延するもので、材料の駆動速度は最高 36 m/min である。材料は繰出しおよび巻取りリールとワーク・ロールの間でそれぞれたるませ、そこのダンサー・ロールに張力を加える。バック・アップ・ロールおよび左右のキャプスタンロールはそれぞれ超分巻整流子電動機で駆動され、繰出しおよび巻取りリールはキャプスタンロールから空気圧力で加圧される摩擦変速接手により間接に駆動される。ワーク・ロール出口で電磁厚み計の検出ヘッドにより材料の板厚を測定する。電磁厚み計はこれ为目标板厚と比較し、その板厚偏差を $\pm mV$ 信号として張力設定調節器へ送る。張力制御装置の仕様は次の通りである。

- (1) 張力範囲 2~20 kg
精度 各設定値に対し $\pm 5\%$ 以内
- (2) ダンサー・ロール有効行程 600 mm
- (3) 計器は単独でもダンサー・ロールに加える張力を上記範囲内で設定かつ調節しうるものであると同時に、電磁厚み計からの板厚偏差信号により 2 台の計器の張力設定値が、カスケード、設定され得るものであること。

次に巻太り制御装置の仕様は次の通りである。

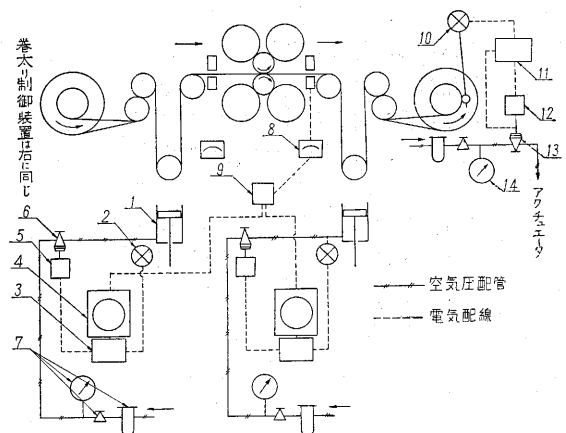
- (1) リールの巻太り径に対応して摩擦接手に加える空気圧力を次のように操作できること、すなわち、
 - (イ) 1 回の圧延でリール外径が 300 mm ϕ から 600 mm ϕ に巻き太る時、空気圧力を 1:2 の割合で変える。
 - (ロ) 圧延材料の板厚により、同一巻太り寸法に対し、最低基準空気圧を 1:7 の割合でこの間無段階に変える。
- (2) 巻太り検出に使うライダー・ロール測定荷重は 200 gr 以内であること。

3. 制 御 装 置

(1) 構 成

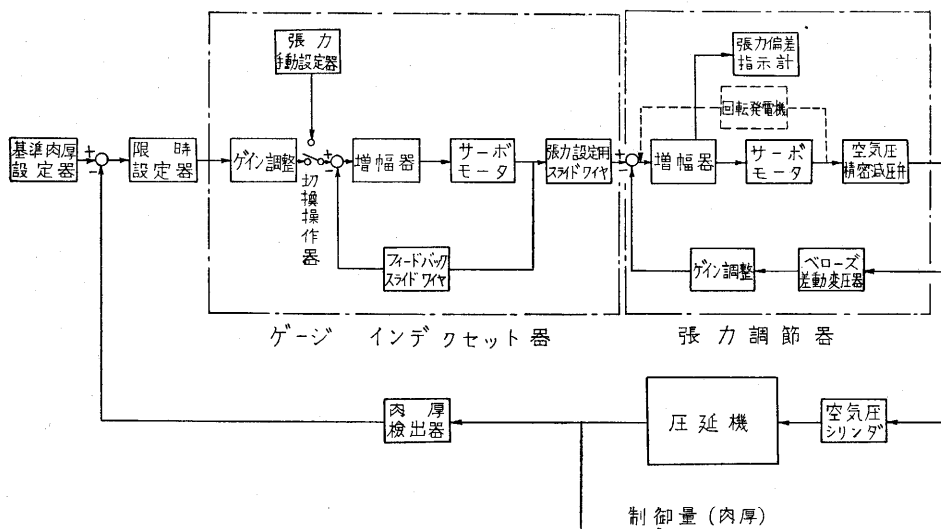
圧延機および制御装置の系統図を第 2 図に示す。また各制御装置のブロック・ダイアグラムを第 3 図、第 4 図に示す。

第 2、3 図にしたがって張力制御装置の構成を説明す

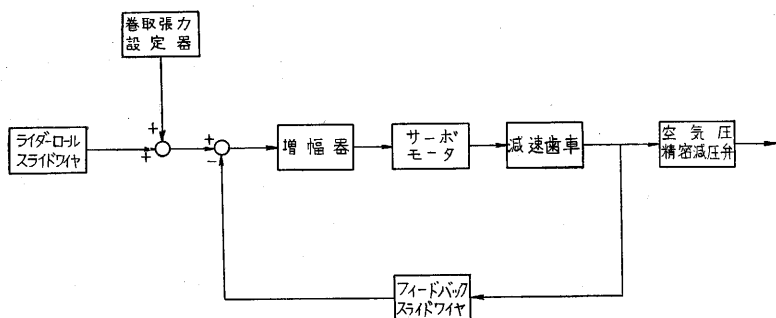


- 1. 空気圧シリンダおよび付属機構
- 2. 圧力検出器
- 3. 張力調節器
- 4. ゲージ・インデックス設定器
- 5, 12. サーボモーター
- 6, 13. 精密減圧弁
- 7, 14. エアー・セット
- 8. 電磁厚み計
- 9. 限時設定器
- 10. ライダー・ロール・レベル検出器
- 11. 巻太り設定器

第 2 図 精密レバース・ミル張力および巻太り制御装置系統図



第3図 張力制御装置ブロック・ダイアグラム



第4図 巻取り制御装置ブロック・ダイアグラム

ると次の通りである。

ダンサー・ロールを介しての張力負荷装置には空気圧シリンダを用いる。この空気圧シリンダのピストン・ストロークを減らし、併せて許容摩擦力をふやすために増力装置を採用し、ピストン・ロッドにかかる力を増力装置からワイヤを介して減力、方向反転してダンサー・ロールに伝えている。このシリンダ内の圧力は圧力の定値制御系で制御される。すなわちこの圧力をペローズと差動変圧器より成る圧力検出器で検出し、これを計器内の発信用スライド・ワイヤの設定電圧と比較し、偏差信号を増幅してサーボ・モータを駆動することにより空気圧精密減圧弁を操作している。電磁厚み計からの $\pm mV$ 信号は繰返し型タイマーを通った後二系路に分けられ、二台の張力設定器の設定用円板を電子管自動平衡計測法で動かしている。前記発信用スライド・ワイヤは張力設定用円板に連動されてカスケード制御が行なわれる。次に、2, 4図にしたがって巻取り制御装置の構成を説明すると次の通りである。

摩擦接手に加える空気圧力を操作するには空気圧精密減圧弁を用いる。この減圧弁の出口圧力は調圧ハンドル

の角度位置に対応するので、リールの巻太りをリール巻太り検出器で角度位置に変え、この二つの角度位置をスライド・ワイヤで表わし、張力制御の場合と同様なサーボ増幅器およびサーボ・モータにより、検出器スライド・ワイヤに操作器スライド・ワイヤを追従させる。操作器スライド・ワイヤと精

密減圧弁調圧機構とはケーブルで結ばれているので精密減圧弁出口空気圧力は検出端スライド・ワイヤの回転角に追従する。この際既述の空気圧力操作条件を満たすために、巻太り設定器内のポテンショメータ回路にスパンおよび零調整用の機能を持たせてある。

(2) 主要機器の説明

(A) 張力制御装置

(1) 空気圧シリンダおよび増力

装置 (写真1)

ピストンストローク	600 mm
ボア・サイズ	65 mm ϕ
負荷範囲	4~40 kg
静摩擦力	200 gr 以内

上記の仕様を満たす空気圧シリンダをつくることは難しいので、増力装置として2個のワイヤ・シープにワイヤを二重にかけることにより、シリンダに要求される性能を次のようにしている。

ピストン・ストローク	150 mm
負荷範囲	16~160 kg
静摩擦力	600 gr 以内
ボア・サイズ	132 mm ϕ
ピストン・ロッド径	20 mm ϕ
空気圧力範囲	0.05~1.13 kg/cm ²

静摩擦力を減らすためシリンダ内壁はホーニング仕上げおよび硬質クローム・メッキしており、ピストン頭には0リングをつけず螺旋状油溝を施してある。

(2) 空気圧力操作機構 (張力サーボ・ユニット)

(写真2)

本器はフォース・トランスミッタ、調圧スプリング操作機構、サーボモータにより構成される。一般に空気圧

の手動操作に使用される精密減圧弁をサーボ用に利用する場合、その調圧システム機構はヒステリシス特性および連続駆動による摩耗の点から適当でないので精密減圧弁から調圧システム機構を取り除いたフォース・トランスミッタを利用している。その構造を第5図に示す。これは力平衡式のパイロット弁を持つ減圧弁で、その調圧スプ

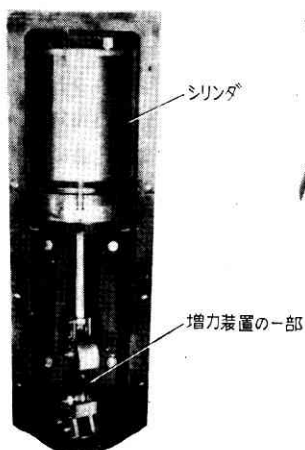
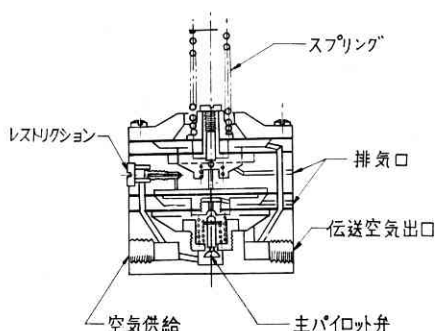


写真1 空気圧シリンダと増力装置1部分

リングへの荷重と出口空気圧は第6図に示すように比例する。(ヒステリシス特性をも含む)サーボモータ出力軸



第5図 フォース・トランスミッタ構造図

の回転運動を調圧スプリング圧縮子の直線運動に効率良くかつ滑かに伝えるために、特に設計されたボールねじを使用している。ボールねじの仕様は次の通りである。

型 式	椿本鋼球製 CN 10		
ねじ外径	10 mmφ	ボール径	1/16"
ストローク	15.5 mm	ピッチ	3 mm
効 率	93~95%		
バックラッシュ	5/100 mm 以内		
偏 芯	ナット部	2/100 mm 以内	
	軸 部	5/1000 mm 以内	

サーボ・モータとしては空気圧操作速度を 0~1.2 kg/cm²/4秒の高速にし得る出力トルク、および回転数を持つ。ESAT-5 型 (K 社製) を使用しており、圧力定値制御系の安定化をはかるために回転発電機も内蔵している。サーボ・モータでボールねじに直線運動をさせる時ボールねじがストロークエンドに達する前にサーボ・モータ励磁電源を切るようにリミット・スイッチが2個取り付けられている。第7図に示すようにフォース・トランスミッタは流量が増すと出口空気圧は下がるが、空気圧シリンダを出口に付けた時と付けない時の出口空気圧操作範囲は次の通りである。

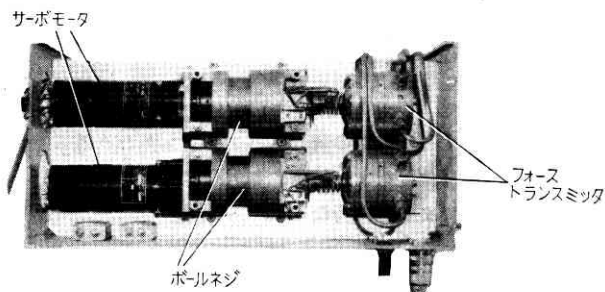
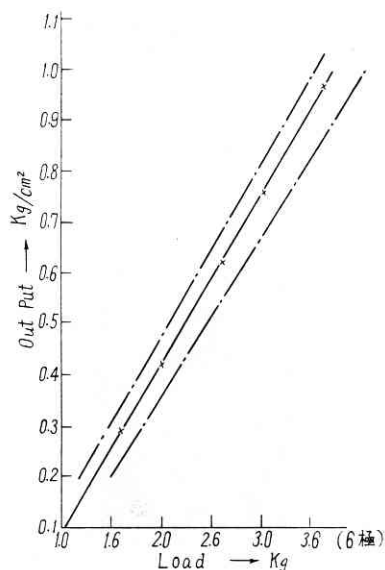


写真2 空気圧力操作機構 (張力サーボユニット) (2セット)



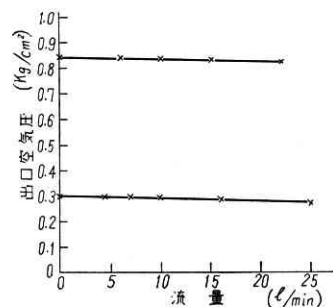
Load (kg)		Out・Put (kg/cm ²)		Hysteresis
4 極	6 極	UP.	Down	
2	1.6	.293	.295	.002
3	2.0	.422	.425	.003
4	2.6	.626	.626	0
5	3.0	.763	.765	.002

第6図 フォース・トランスミッタ・テストカーブ

	流 量 l/min	入口空気圧 kg/cm ²	出口空気圧範囲 kg/cm ²
シリンダ取付時	約 50	2.5	0~1.27
シリンダ無い時	0	1.8	0~1.6

(3) 圧力検出器 (写真3)

本器は片持はりとベローズの複合剛性により空気圧力を変位に変換し、その変位を4コイル型差動変圧器で交流の電圧に変換するものである。



第7図 フォース・トランスミッタ流量特性

差動変圧器	FCDT-010-CM
圧力測定範囲	0.05~1.13 kg/cm ²
変位	約 360 μ
出力電圧	A.C. 11 mV
精度	$\pm 0.25\%$

写真3においてペロースの隣にあるスプリングで差動変圧器コアの零位置を微細調整する。測定回路の説明については次項でまとめて行なう。

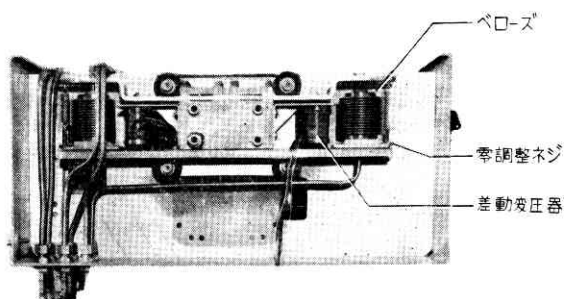


写真3 圧力検出器 (2セット)

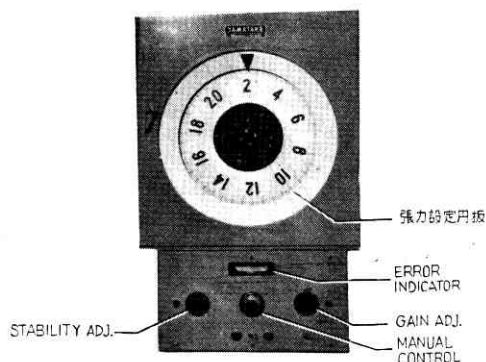


写真4 張力設定調節器

(4) 張力設定調節器 (写真4)

本器は回路上からもまた計器としての機構上からも二つの部分に分けられる。すなわち張力設定器と張力調節器である。いま写真4および第8図にしたがって説明すると次の通りである。

張力設定器 (以後回路上はゲージ・インデクセット回路と呼ぶ) は、アジャスタブル・スパンおよびアジャスタブル・サブプレッションの自動平衡電位差計でその型式および性能は次の通りである。

型式	N-156×16 V (S) 電子管式円形目盛板指示計 (S)………発信用スライド・ワイヤ付き
目盛	2~20 kg 360 等分
電位差計	mV スパン 16 mV
目盛板回転速度	60 cps でフルスケール 4.5 秒
精度	$\pm 0.25\%$
電池	定電圧ユニット (CVU)

安藤電気製の電磁厚み計からのフィード・バックを必要としないときは切換スイッチ Sw_1 を Manual 側に倒し、 VR_3 に取り付けられた設定用ダイヤル (Manual Control) を回して円形目盛板を動かす、張力設定値 (Rws_2) を変える。この Manual Control による操作範

囲は張力範囲全域である。次に厚み計からのフィード・バックを必要とするときは Sw_1 を Auto 側に倒すと、リング・デモジュレータ回路で取り出される $\pm mV$ の板厚偏差信号 ($\pm 24.6 mV$ フルスケール) が VR_3 により設定された張力設定値に加えられて、板厚偏差の大きさに応じて円形目盛板は回転する。板厚偏差信号は基準板厚に関係なく同一板厚偏差 ($\pm 5 \mu$) で同一信号レベル ($3 k\Omega$ 負荷時で $\pm 24.6 mV$) である。圧延条件により板厚偏差率と張力偏差率の関係が変わるので、電位差計回路に入れる前に VR_1 , VR_2 のゲイン調整減衰器をつけてある。板厚偏差信号は上記 VR_1 , VR_2 により分岐されて2台の電位差計回路に加えられる。

バランス・モータの入力切換については限時設定器の項で説明する。以上の説明でも判る通り円形目盛板は張力設定値を表わすと同時に切換スイッチ Sw_1 を Auto 側に倒すと板厚偏差指示計となる。次に張力調節器は第8図において FCDT 計測回路とサーボ増幅器回路および偏差信号同期整流回路とから構成され、機構上は N-156 の下に取り付けられるケース内に納められている。これは構成上からは一種のブラインド・コントローラであり、また従来 1/4 秒電子管計器に使用されていた増幅器を差動変圧器計測回路と組み合わせしかも調節信号の増幅器として使用している。この増幅器を選定した理由は次の通りである。フォース・トランスミッタ調圧機構の静摩擦トルクに加速トルクを加えた値の約2倍に相当する出力軸トルクを持つサーボ・モータ ESAT-5 を駆動するには従来の電子管計器のサーボ増幅器では電力が不足である。1/4 秒電子管計器の増幅器は上記サーボモータを駆動するに十分な電力を持っている。この 1/4 秒電子管計器用増幅器の改造に当たっては次の諸点に考慮が払われている。

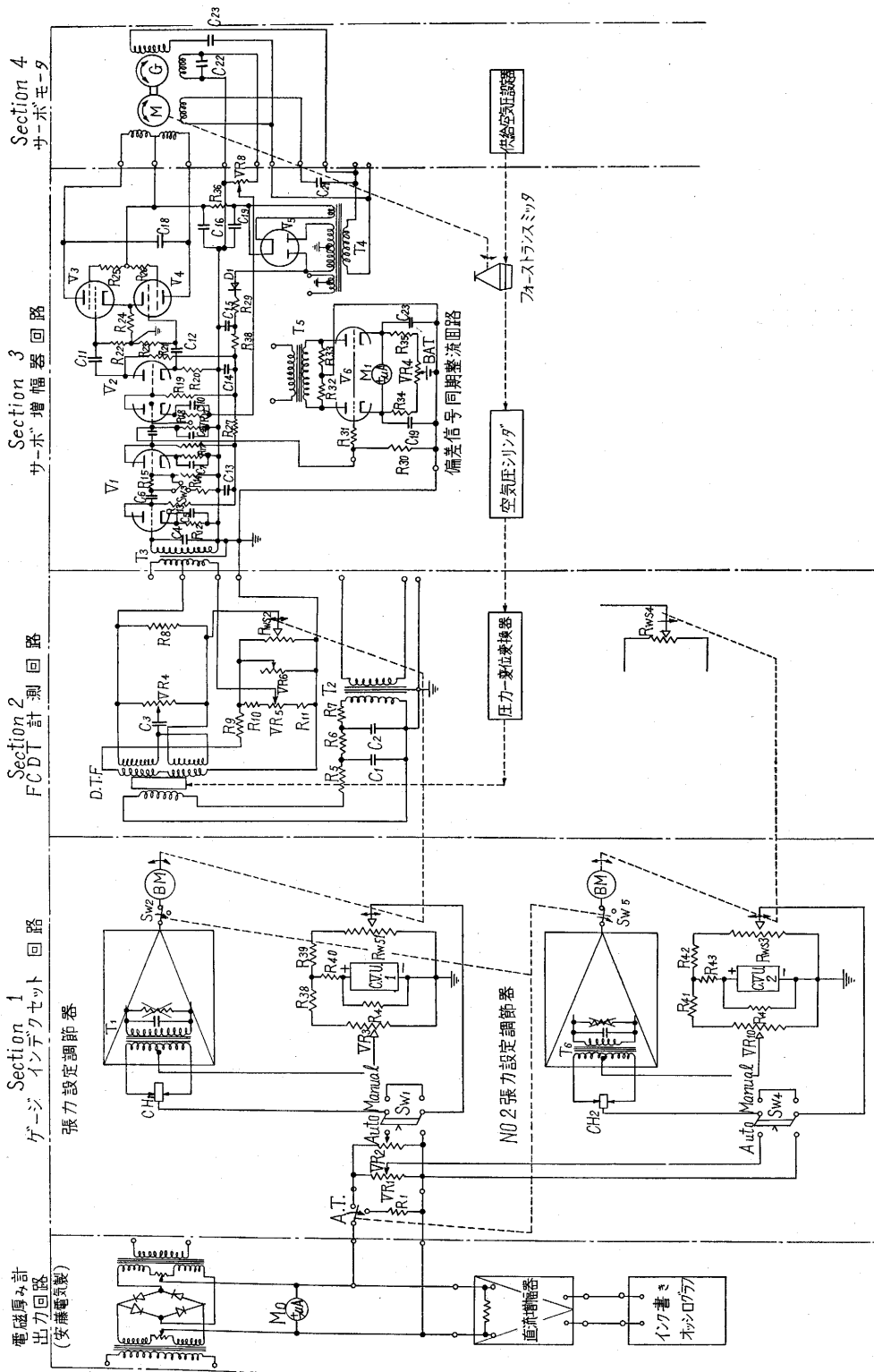
(1) FCDT 計測回路と組み合わせるため、入力回路の一部を変更した。

(2) サーボ・モータ ESAT-5 の連続使用による過熱を防ぐために電力増力段への直流供給電圧レベルをおとした。またサーボ・モータを入力信号のないときでも微小振幅で往復回転をさせるための特殊回路が電力増幅段に設けてあったが、これによる直流電流の不均衡がサーボ・モータ過熱の原因になっているのでこの回路を除いた。

(3) 偏差信号取出しのレベルとして電圧増幅二段後の段階をえらんでいる。

(4) 電力増幅段の並列共振回路を変更した。

次に FCDT 計測回路の説明を含みながら圧力定値制御系を説明すると次の通りである。張力設定器の円形目盛板を回すと発信用スライド・ワイヤ Rw_2 が連動され FCDT 三次回路 (中段の回路) 出力電圧 (Rws_2 のアース端子とセンタータップ間の電圧) が変化する。FCDT

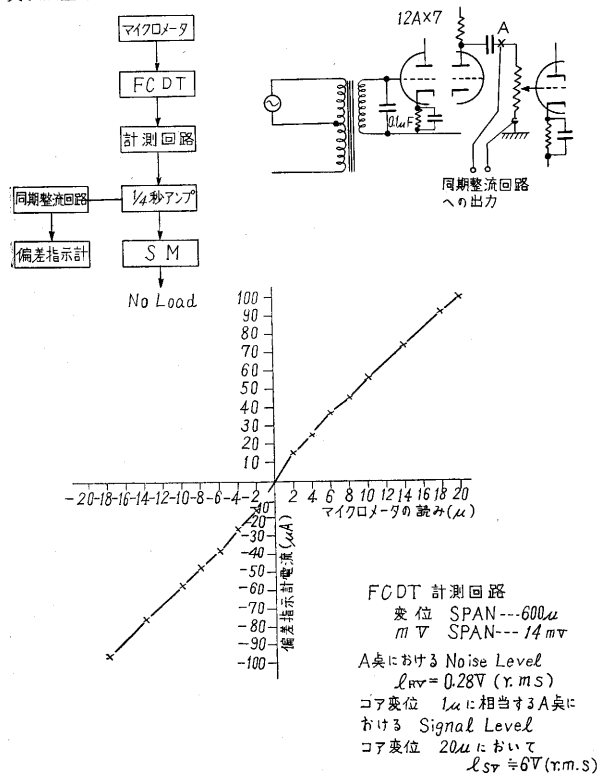


〔註〕 No. 2. 張力設定調節器の Section 2, 3, 4, は No. 1 張力設定調節器と同じになるため省略する。

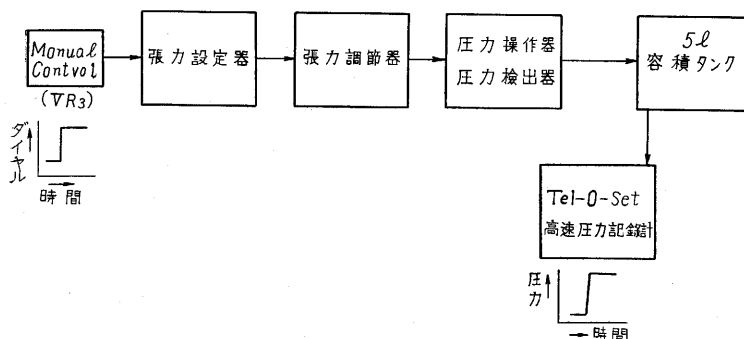
第 8 図 張 力 設 定 調 節 器

二次回路（上段の回路）の出力電圧は変わらないので偏差電圧が増幅器入力にかかり、増幅されてサーボ・モータしたがってフォース・トランスミッタ調圧スプリングを動かす。フォース・トランスミッタ出口空気圧は変化しこれが空気圧シリンダを通して圧力検出器に伝えられる。したがって圧力変位変換器を介して FCDT のコア位置がコイルに対して変化し、FCDT 二次回路の出力電圧が変化し、三次回路との偏差電圧を零にし平衡に達する。すなわち発信用スライド・ワイヤ回転角に差動変圧器コアの軸方向の位置を追従させるサーボ系が結果としては圧力の定値制御系になるわけである。偏差信号同期整流回路は張力設定器の円形目盛板設定張力値と空

実験装置系統図



第 9 図 偏差信号同期整流回路特性



第 10 図 張力制御装置応答試験方法

気圧シリンダによる負荷張力値との偏差を偏差指示計で示すための回路で偏位法の測定回路のため、電源電圧変動の影響を受ける。偏差指示計は写真 4 に示すように水平型の零センタ μA 計でその計器指示値と偏差信号との関係は第 9 図に示す通りである。

(5) 限時設定器

本器は電磁厚み計からの板厚偏差信号を間歇的に抽出して張力設定器に伝えるものである。オンタイムは板厚の最大偏差信号に対し必要とされる N-156×16V(S) の目盛板回転時間より長くなるように設定される。この時間は圧延粗材の板厚が厚いときは最高 4.5 秒にも達するが、ゲージ・インデクセットを必要とする薄い板厚のときはこれより短い。オフ・タイムは圧延後の材料板厚偏差のドリフトの状況により適当に設定される。本器の型式および仕様は次の通りである。

型式	北陽電機製	ATMR-3 型	オート・タイマー
オンタイム	2~20 秒	この間連続可変	
オフタイム	2~120 秒	同上	
電源	AC 100 V	60 cps	

なお第 8 図に示すようにオフ・タイム中は二台の N-156×16 V(S) のバランシング・モータの制御巻線入力をタイマーにより連動して遮断し、オンタイム終了時の整定状態のまま張力設定値をホールドさせておく。

(6) 性能

張力設定調節器、圧力検出器、圧力操作器全体としての応答試験を行なった結果は次の通りである。まず試験方法は、第 10 図に示す。フォース・トランスミッタの負荷としては空気圧シリンダ容積の約 2.5 倍に当たる約 5ℓ の容積タンクを使用し、圧力記録計としてはチャート駆動速度 0.75 mm/sec の Tel-0-Set 高速記録計を使用している。この方法での応答試験結果を第 11 図に示す。図中 [A] はフォース・トランスミッタ手動時、[B] はサーボ・モータ駆動時の特性で [B] の 1, 2, 3 の記録にみられる減圧時のオーバー・シュートは、[A] の記録にもみられるようにフォース・トランスミッタ自体の特性でサーボ・モータ駆動によるボールねじストロークのオーバー・シュートではない。[B] 4 にみられるようにサーボ増幅器ゲインを低くすると応

答速度は遅く ($1 \text{ kg/cm}^2/8 \text{ sec}$) なり、したがってフォース・トランスミッタ自体の減圧時オーバー・シュート特性も現れない。[B] の記録の中、1, 2, 3 はそれぞれ回転発電機によるフィード・バック量を次第に減らしていったときの特性を示す。[B] 1 の場合応答速度は $1 \text{ kg/cm}^2/4 \text{ sec}$ である。これは実際には張力設定器 (N-156×16 V(S)) の円形目盛板回転速度が測定時で、 $1.4 \text{ kg/cm}^2/5.5 \text{ sec}$ であ

るため、その速度で制限されている結果で張力調節器、圧力操作器としての応答速度は $1 \text{ kg/cm}^2/4 \text{ sec}$ より遅いことはない。これは設計上の応答速度目標値 $1.2 \text{ kg/cm}^2/4 \text{ sec}$ にはほぼ一致している。

〔B〕 巻太り制御装置

(1) リール巻太り検出器 (写真5)

本器はライダー・ロールを一定の接触圧で材料に押しつけながらリールの巻太りによ

るライダー・ロール・レベルの変化をスライド・ワイヤの回転に変換するものである。写真5ではライダー・ロ

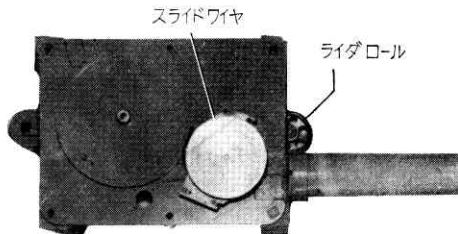


写真5 リール巻太り検出器

ールの一部分が見えるだけでこれを取り付けてあるアームはまったく見えないが、アームの自重によるモーメントは平衡重錘により平衡をとり、別に写真の円筒内に重錘を吊して一定の接触圧をライダー・ロールに与えている。その仕様は次の通りである。

第 11 図 張力制御応答試験

ライダー・ロール・ストローク	150 mm
スライド・ワイヤ回転角	280 deg
スライド・ワイヤ非直線性	$\pm 0.15\%$
" 抵抗値	560 Ω
ライダー・ロール測定荷重	200 gr 以内

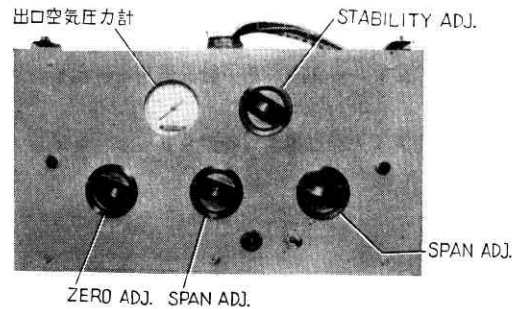
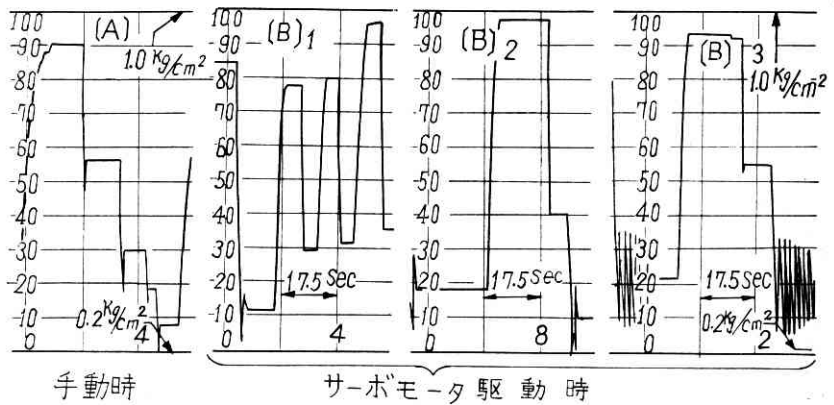
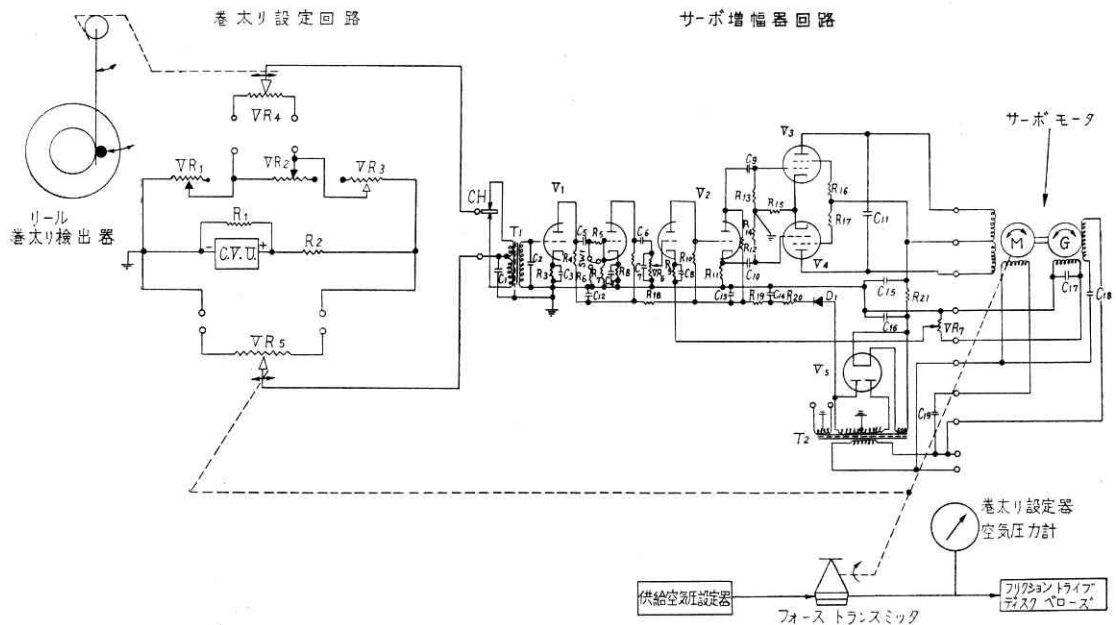


写真6 巻太り設定器



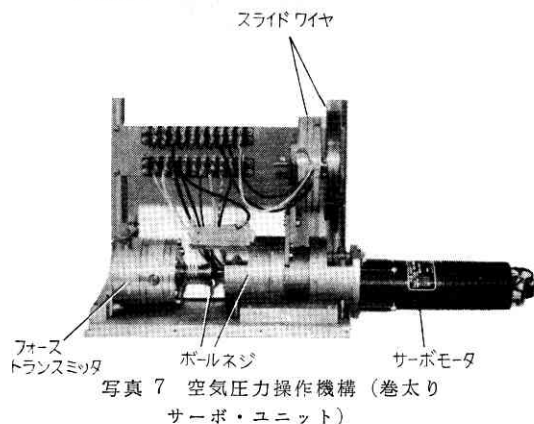
第 12 図 サーボ増幅器回路

(2) 巻取り設定器 (写真6)

本器は第12図に示すように巻取り設定回路とサーボ増幅器回路から構成される。巻取り設定回路は電位差計回路で VR_4 は巻取り検出器に取り付けられ、 VR_5 は圧力操作機構に取り付けられる。電位差計 mV スパンは 140 mV である。 VR_1 を回して最低基準空気圧 (第13図において直線Aの縦軸上の截片の長さ) を設定し VR_2 および VR_3 を回して第12図における直線Aの傾斜を巻取り比 (出力空気圧比) が 2:1 になるように設定する。 VR_1 は Zero Adjuster であり VR_2, VR_3 は SPAN Adjuster 1, 2 である。

サーボ増幅器回路は一部入力回路を除いて張力調節器のそれと同じである。これは圧力操作機構に張力制御装置のサーボ・モータと同じモータを使用しているため、駆動電力の必要から 1/4 秒電子管計器用増幅器を使用している。

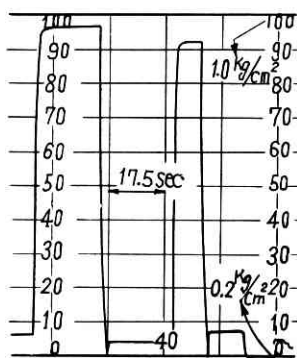
(3) 空気圧力操作機構 (巻取りサーボ・ユニット) (写真7)



本器は写真に示すように張力制御装置の空気圧力操作機構にフィード・バック・スライド・ワイヤを取り付けたもので空気圧力操作上の機構および性能についてはまったく同じである。

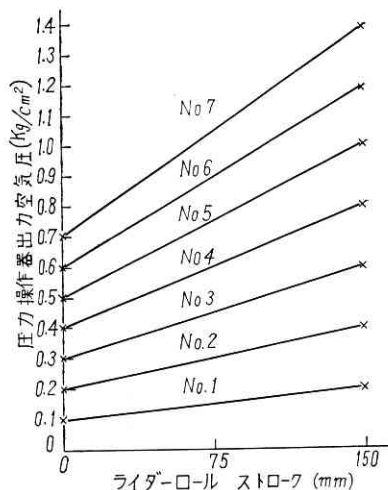
(4) 性能

巻取り検出器、巻取り設定器、圧力操作器



第14図 巻取り制御
応答試験

全体としての応答試験結果を第14図に示す。これは巻取り検出器スライド・ワイヤ回転角にステップ入力を与えた時の圧力操作器出力空気圧を Tel-0-Set 高速記録計で記録したものである。応答速度は約 1.4 kg/cm²4 sec で張力制御装置のそれよりも速い。これは圧力操作系単独の応答速度である。次に静特性として巻取り設定器内の Zero Adjuster および SPAN Adjuster 1, 2 の設定ダイヤル目盛に対する空気圧力操作範囲を第15図に示す。



第15図

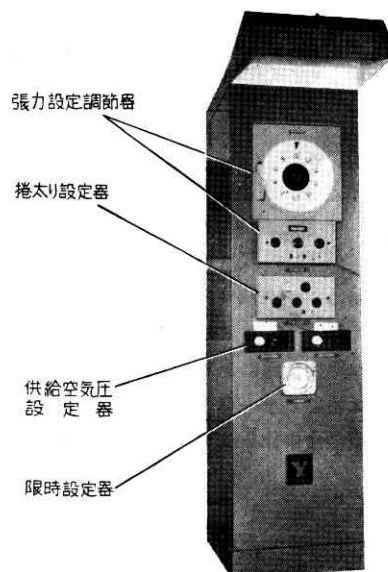


写真8 計器盤

4. 結 び

ここに装置の概略を紹介したが、内容が多岐にわたったため、各機器とも要点の説明だけに止めている。制御装置としての仕様はおおむね満たされていると考えられるが、板厚のカスケード制御の実験結果が今の段階では得られていない。この結果は実験報告として別の機会にまとめる予定である。

各機器とも圧延機の一制御装置を対象としてたまたま作られたものであるが、空気圧力を高速度で電氣的に操作する方法として考えると他にも用途があるように思われる。

終わりに本制御装置の設計および製作に関しご協力いただいた精研工業赤城氏に感謝する。

(1961年10月12日受理)