

日立 600BG-1 かさ歯車連続研削盤について

Hitachi Type 600 BG-1 Bevel Gear Continuous Grinder

明 山 正 元* 松 本 源 次 郎** 石 岡 昇 三**
Masamoto Akeyama Genjirō Matsumoto Shozō Ishioka

内 容 梗 概

本機はさきに日立製作所中央研究所における局所接触形かさ歯車の研究によって確立された基礎理論の実用化の一環として今回製作されたものである。

本機の切削方式は、歯面にふくらみを持ったかさ歯車切削法の一応用であって、従来の加工法のように工作物に間歇割出し運動を与えることなく、終始これに連続回転を与えながら歯車のすべての歯面を研削するものである。

本機の目的は、はすばかさ歯車の研削にあるが組立後の研削試験は、機械セッティング精度の確認のため、まず、はすばかさ歯車の研削から開始し、ついでのはすばかさ歯車の研削試験にはいった。

本稿では連続切削法の基礎理論の概要、構造、本機の特長、研削試験の成果などについて概要を述べる。

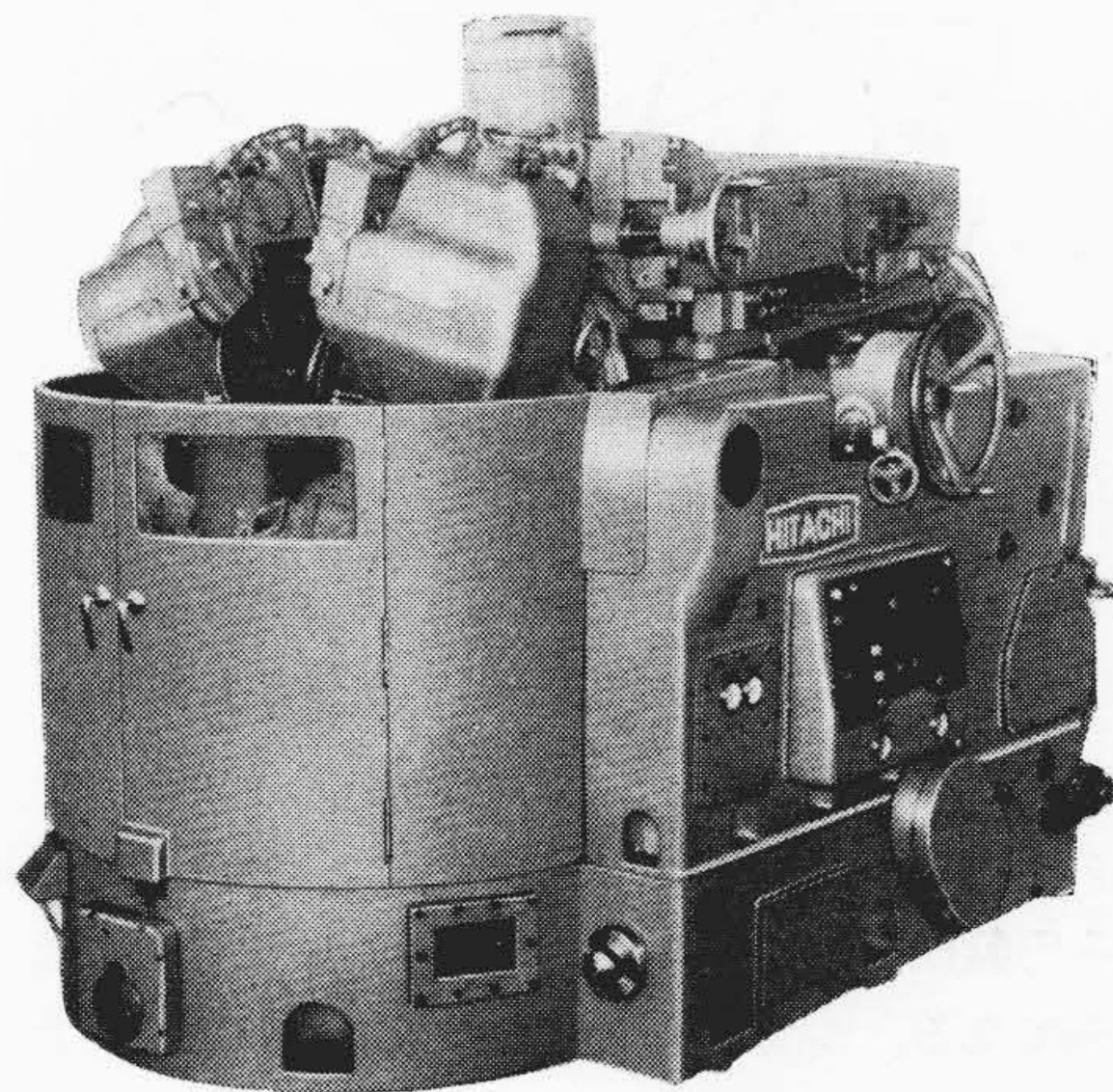
1. 緒 言

かさ歯車の切削または研削加工を実施するにあたって、工作物に一歯切削されるごとに割出し運動を与える従来の間歇割出し歯切法は、複雑な割出し機構を必要とするため、能率的にも精度的にも再検討を加える余地があるものと考えられる。

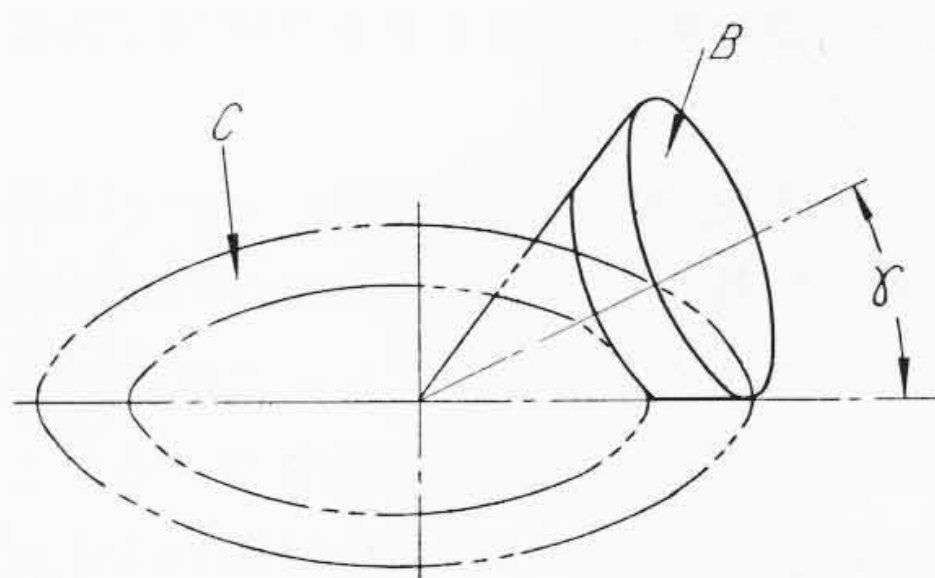
日立製作所は新潟大学工学部の協力を得て、ここ数年来歯面にふくらみを有するかさ歯車の共同研究を続けてきたが、そのうちのかさ歯車連続切削法の一応用として、既製ホブ盤を改造した研削盤を試作し基礎的な実験を重ね一応の成果を収めることができた（昭和29年度通産省応用研究補助金を受けて試作した）。

続いてこの成果を基礎として、はすばかさ歯車の研削可能な本格的かさ歯車連続研削盤の設計製作にかかり、さらにこれと並行して行ってきたテーブル早遅回し装置の研究などの実験結果を取入れ、昭和31年10月設計を完了し、昭和33年1月初旬本機の組立てを完了した。

以来各種の研削試験とこの結果に基く各部構造機能の改良、機械精度の向上などを行い、ついに本機の完成を見ることができた。なお本機の製作にあたっては昭和31年度通産省工業化試験補助金の交付を受けた。第1図は本機の全容である。



第1図 日立 600BG-1 かさ歯車連続研削盤



第2図 オンセンター切削原理図

2. 本機の切削原理の概要

2.1 連続割出し切削法

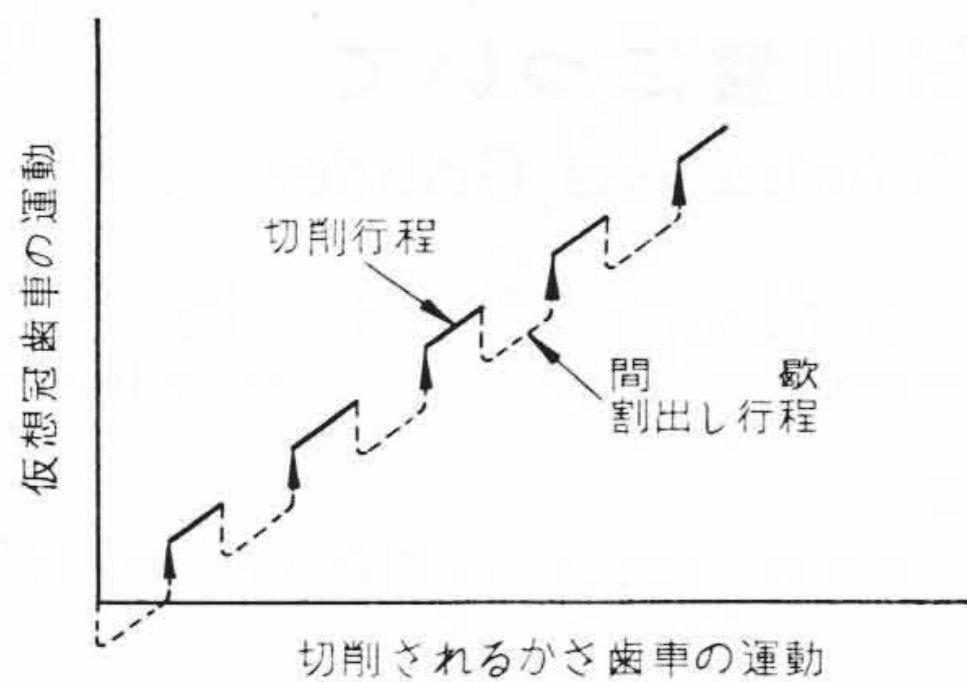
従来、かさ歯車に関する理論はもちろん、加工法についても仮想冠歯車の刻み円盤上にピニオン、またはギヤの刻み円錐を両者の頂点を一致するように接触せしめ二つの刻み曲面の間ころがり接触運動を行わせる状態を基礎としている（第2図参照）。

仮想冠歯車Cの歯面はカッタまたは砥石の運動によって実現される。しかし切られるべきかさ歯車Bの一円周ピッチに対応する仮想冠歯車の刻み円盤面上の角度は必ずしも仮想冠歯車の全円周360度を整数値に割切るとはかぎらず、割切れる場合はきわめてまれである。したがって工具が一歯面を加工し終ったならこれを加工状態から離脱せしめ、その間に素材を一歯分だけ割出す必要がある。

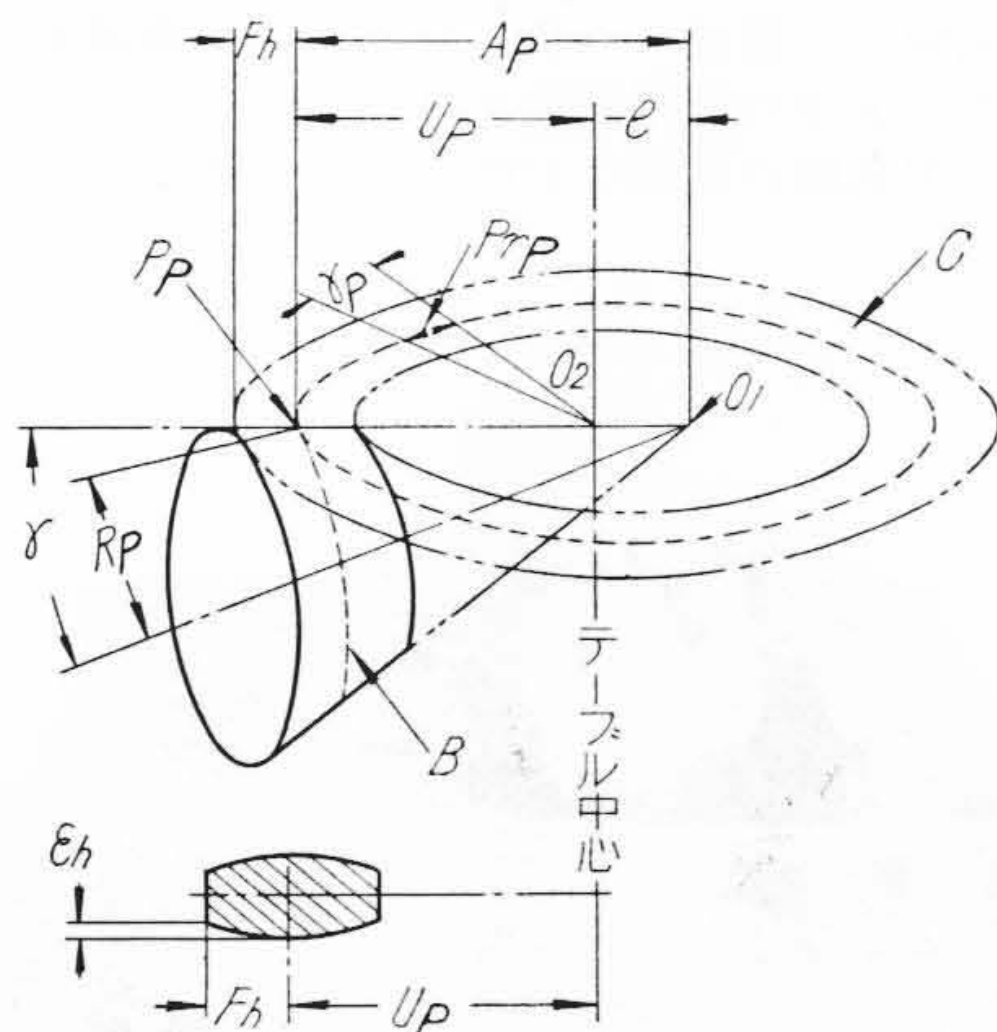
すなわちこの状態を線図で示すと第3図のようにな

* 日立製作所中央研究所 工博

** 日立製作所川崎工場



第3図 オンセンター切削法の切削行程図



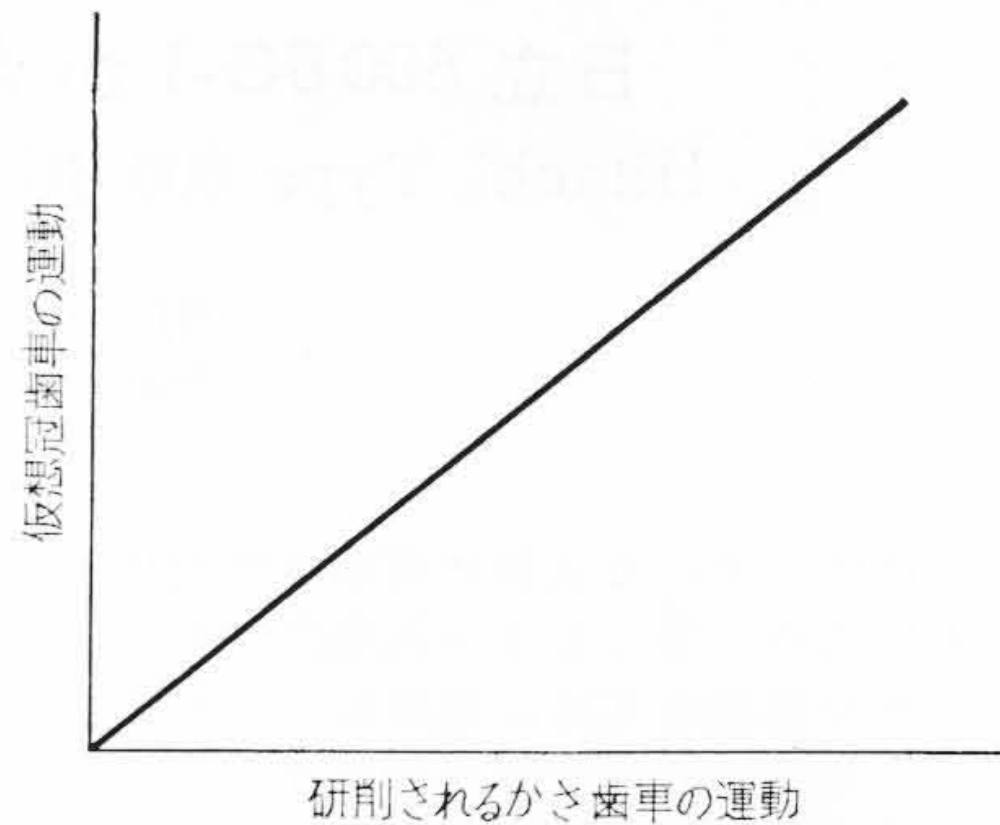
第4図 アウトセンター切削原理図

る。このことは、たとえ素材の歯底円錐を仮想冠歯車の刻み円盤面に接触せしめる方法をとる場合でもまったく同様である。つまり従来の加工法は、以上述べたように加工状態が不連続であって、平歯車、はすば歯車のホブ切りに見られるようなカタナらびに歯車材を連続的に回転して全円周の歯形を加工する連続加工方式には異なるものである。

これに対し本機の切削法は従来の方法とは異なる新しい切削原理* に基くもので、歯車素材の刻み円錐の頂点を仮想冠歯車の中心から多少ずらせた位置に取付け、両者の間に適当な再速度の回転運動を与えることにより冠歯車の歯形に相当するカタまたは砥石によってかさ歯車を加工する方法である。

仮想冠歯車と被切削かさ歯車の中心位置をずらせる量をアウトセット量と名付け、この加工法をアウトセンター加工法と名付け、従来の加工法(オンセンター加工法)と区別する(第4図参照)。

このようにして加工されたピニオン、ならびにギヤの歯面は歯筋方向にわずかのふくらみを生じ(いわゆるクラウニングがつく)、その啮合状態は歯面全体が接触せず、局所接触形かさ歯車となる。このふくらみの箇所



第5図 アウトセンター切削法の切削行程図

において被切削歯車と仮想冠歯車の刻み面はころがり運動を行うのである。したがって被切削かさ歯車のアウトセット量とふくらみの位置を適当に考慮することによって、このころがり箇所における被切削かさ歯車の一円周ピッチ \$P\$ に対する冠歯車の刻み円盤上の角度 \$\gamma\$ が丁度仮想冠歯車の全円周 360 度を整数値に割切るようにすることができる。

この場合、仮想冠歯車の一部に置換えられる工具に削り運動を与えたまま、切削されるかさ歯車を仮想冠歯車との関係角速度で連続的に回転せしめておいても、次々に歯面が工具によって切削されてピッチの誤差を伴うことなく連続的に加工することができる。第5図に見るように第3図のような割出し行程がなく連続的に割出しと切削が行われる。このような切削法をワンウェイ切削法と名付ける。

2.2 ワンウェイ切削法の原理

切削されるピニオンのピッチ円錐と仮想冠歯車のピッチ円盤面の回転角速度をそれぞれ ω_P , ω とし、被切削ピニオンのピッチ角を γ とすると次式(1)の関係がある。

$$\omega_P = \frac{k_P}{\sin \gamma} \omega \dots\dots\dots (1)$$

(1)式中 k_P は符号正なる任意の常数であって、これを回転係数(Rolling Factor)と名付ける。回転係数 k_P は任意の常数であるといっても実際その値をむやみにとるわけにはいかない。後述するとおり仮想冠歯車の歯数の決定およびクラウニング量の決定に直接関連があるからである。

第4図は切削されるピニオンの円錐が仮想冠歯車のピッチ円盤面に接する場合を示し、それぞれの記号は下記の意義をもつものとする。

p_P : ころがり点を示し、歯面のふくらみの頂点であってピニオンと仮想冠歯車のピッチ面とがころがり運動を行う。この箇所以外にころがり位置はない。

R_P : 切削されるピニオンのピッチ円半径。

* 昭和28年4月 日立製作所中央研究所明山正元、新潟大学山田金雄により機械学会で発表した。

e_P : アウトセット量であって符号を有す。第4図の場合は負である。

ここでピニオンの歯数を N_P とすると、半径 R_P なるころがりピッチ円上で測ったころがりサーキュラーピッチ P_{rP} は次式(2)で与えられる(第4図参照)。

$$P_{rP} = \frac{2\pi R_P}{N_P} \dots\dots\dots (2)$$

この値は仮想冠歯車のころがりピッチ円上で測っても同じ値になる訳である。

したがってこのピッチ P_{rP} に対応する仮想冠歯車のピッチ円盤面上の中心角を第4図に示すように γ_P ラジアンとすると

$$\gamma_P = \frac{P_{rP}}{U_P} = \frac{2\pi R_P}{N_P U_P} \dots\dots\dots (3)$$

ここに回転係数を k_P で表わせば

$$k_P = \frac{U_P}{A_P} = \frac{U_P}{U_P - e_P} = \frac{U_P}{R_P} \sin \gamma \dots\dots\dots (4)$$

したがってこれを(3)式に代入して

$$\gamma_P = \frac{2\pi \sin \gamma}{N_P k_P} \dots\dots\dots (5)$$

さて切削するピニオンについて勝手に e_P , U_P , k_P などの値を選べば上式の角度 γ_P は必ずしも仮想冠歯車の全円周角 2π (すなわち 360 度) を整数値に割切らないであろう。したがってワンウェイ切削法が実施できるようにするには e_P , U_P , k_P などの値を適当に選定する必要がある。

$$\frac{2\pi}{\gamma_P} = \frac{N_P}{\sin \gamma} k_P = \text{整数}(n_{cP} \text{とする}) \dots\dots\dots (6)$$

つまり $\frac{2\pi}{\gamma_P}$ が整数値になるように決定しなければならない。したがって順序としてまず適当な整数 n_{cP} を選んで回転係数 k_P を

$$k_P = n_{cP} \cdot \frac{\sin \gamma}{N_P} \dots\dots\dots (7)$$

から定め、次にアウトセット量 e_P と仮想冠歯車のころがり半径 U_P とを

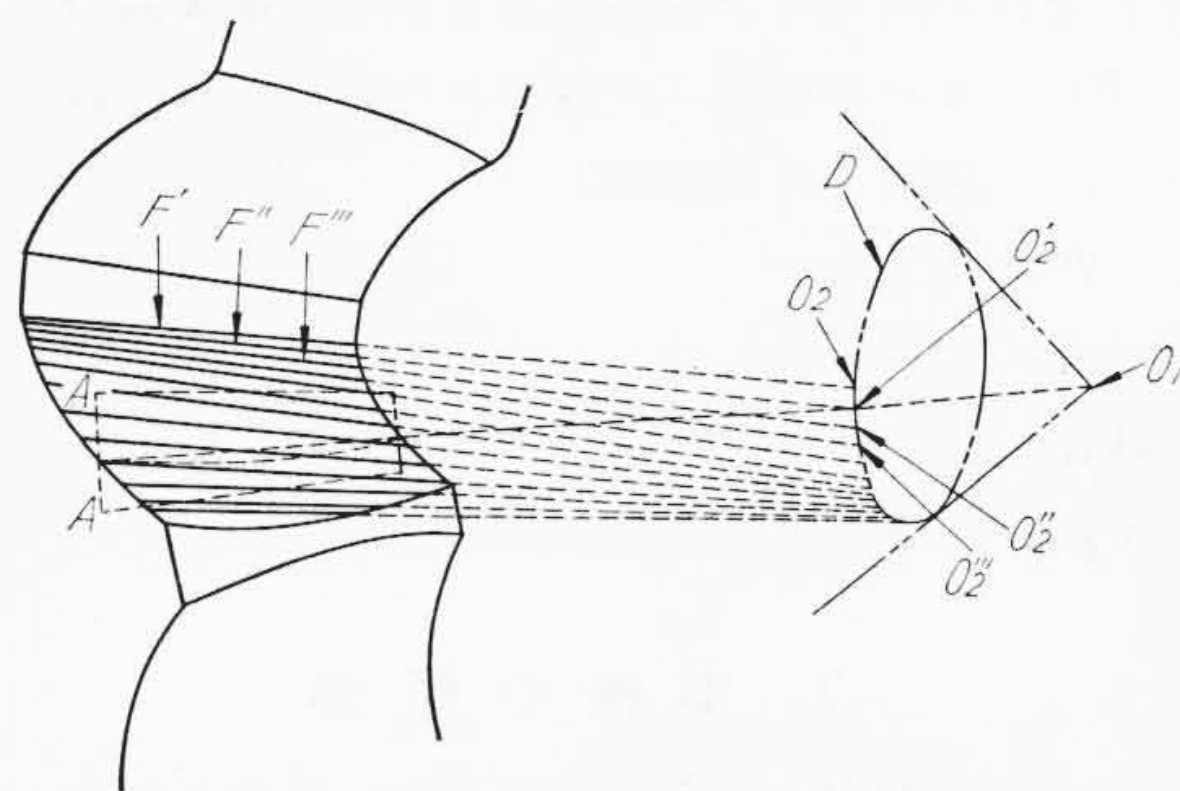
$$\frac{U_P}{U_P - e_P} = k_P \dots\dots\dots (8)$$

なる関係を満足するように選べばよい。

以上はピニオンについて述べたのであるが、ギヤの場合についても同様にして決定すればよい。

次に整数 n_{cP} (ギヤの場合は n_{cG}) の値は切削される歯車の歯数 N_P または N_G のおのおの と互に素 (Relatively Prime) にする必要がある。つまり加工中同じ歯面を重複して加工することのないようにするためである。

なおこのようにセットされた歯車は素数比の値によって1枚とび、あるいは2枚とびと歯面が加工されながら



第6図 点接触かさ歯車切削原理図

全歯数だけテーブルが回転すれば全部の歯面が加工を終るわけである。

このようにして加工された歯面にはその歯筋方向にふくらみが形成されるが、その加工原理の概要を次に述べる。

2.3 点接触かさ歯車加工原理の概要

第4図に見るように、被切削かさ歯車Bのピッチ円錐の頂点 O_1 を仮想冠歯車Cの中心 O_2 からアウトセットして加工すると、被切削かさ歯車Bは仮想冠歯車Cの回りを自転しながら公転し、仮想冠歯車の中心に接する被切削かさ歯車の円錐面上の O_2 点は第6図に示すように順次 O_2' , O_2'' , O_2''' と移動し、その軌跡は刻み円錐面上において円周を作り、刻み円錐面上の O_2 点はD軌跡上を順次変位しながら回転する。したがって加工された個々の微小加工面 F' , F'' , F''' はD軌跡上の互に異なる点 O_2' , O_2'' , O_2''' , に指向するので歯筋方向に対しそれぞれ傾角を持った個々の加工面が連続的に集成せられた包絡面となり、その歯筋方向の断面A—Aにはふくらみが形成される。このふくらみの量、つまりクラウニング量はアウトセット量によって算出することができる。

本機は連続研削盤であるから、まず主として連続切削に必要なアウトセット量を求め、従としてそのアウトセット量によるクラウニング量を算出する段階をとる。

クラウニング量の算出は次の三式により求めることができる(明山, 山田算式)。

$$e_P = \pm \frac{A_P}{(b)} \dots\dots\dots (9)$$

$$(b) = \frac{F_h}{(a)} \pm 1 \dots\dots\dots (10)$$

$$(a) = \sqrt{A_P \varepsilon_h \tan \phi \sin 2\gamma} \dots\dots\dots (11)$$

まず(9)式により (b) を求め、これを(10)式に代入して (a) を求める。次に(11)式にこれを代入して ε_h を算出する。

$$\varepsilon_h = \frac{(a^2)}{A_P \tan \phi \sin 2\gamma} \dots\dots\dots (12)$$

それぞれの符号は下記の意義を示す（第4図参照）。

F_h : ヒール歯幅（大端部からふくらみ位置までの歯幅方向の距離）

ϕ : 圧力角

γ : ピッチ角

A_P : ころがりコーンディスタンス

e_P : アウトセット量

3. 本機の構造

本機の構造を大別すると次の三つに区分される。

- i) 加工されるかさ歯車を取付ける大小二つのワークヘッドと、これをささえるテーブル、このテーブルは切削のための仮想冠歯車ともなる。
- ii) 仮想冠歯車の一部となって被研削かさ歯車の歯面を研削する砥石および砥石駆動機構、またこれらを歯筋方向に往復運動（交互）させるラム構造。
- iii) テーブルおよびワークスピンドルを公転自転させる駆動機構そのほかを内蔵する本体構造。

これらの主要部分について構造の概要を次に述べる。

3.1 テーブル関係

本機の仮想冠歯車は回転テーブルがこれに相当し、被削歯車との回転比はテーブル上に備えた割出しチェンジギヤによって変換する。第7図（歯車系統図）に示すとおり回転テーブルは公転用マスタウームおよびホイールによって駆動され、テーブル外周に備えたリミットスイッチとドックによって研削時に遅回しとなり、研削以外のアイドルタイムは早回しとなってこれを繰り返す。

テーブル上にはさらに被研削歯車用のスピンドルをピニオン側、ギヤ側各1セット備え、それぞれの自転用マスタウームおよびホイールによって割出し運動を行う。

回転テーブルに対するワークスピンドルの回転は遊星歯車機構をとり、その割出しチェンジギヤ比は次のように定めた。

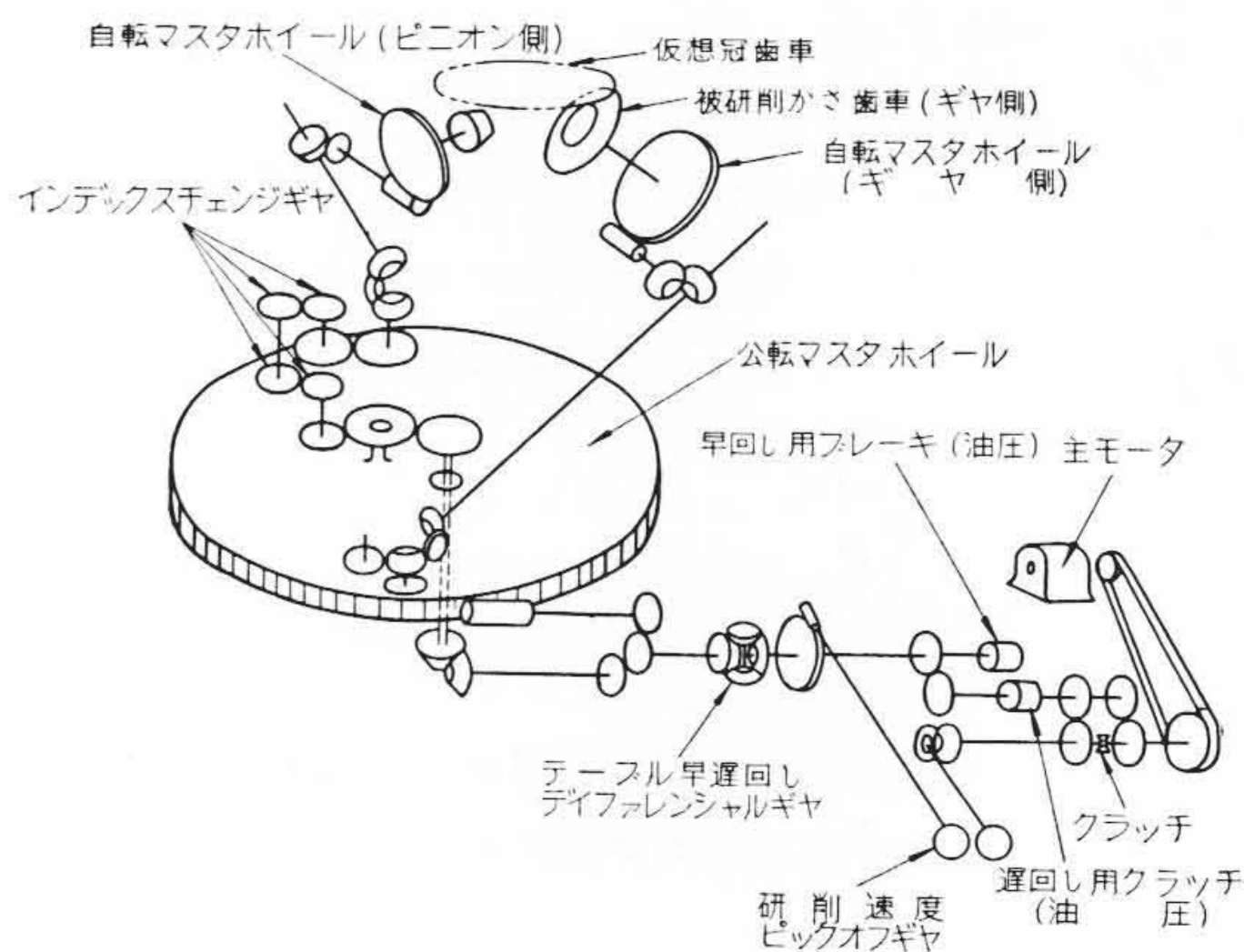
$$\frac{ac}{bd} = \frac{1}{2} \cdot \frac{n_c P}{N_P} \dots\dots\dots (13)$$

$n_c P$: 仮想冠歯車の歯数

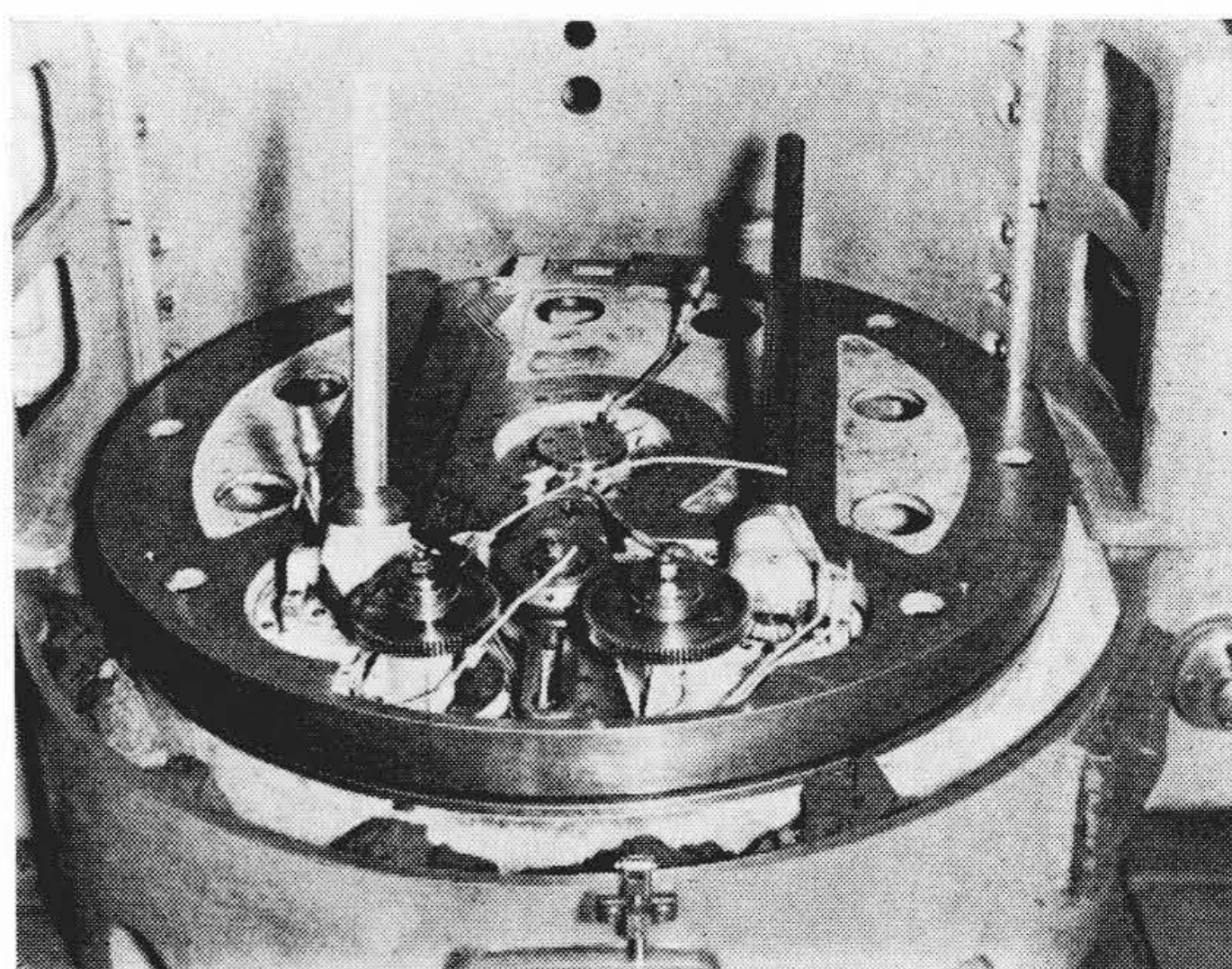
N_P : 被研削歯車の歯数

アウトセット量を調整するため、テーブル上面にはパラレルスライドを有し、テーブル中心から正あるいは負に調整し、これを固定する。

第8図は二段テーブルの下面を表わし、左右の軸はピニオン側およびギヤ側ワークスピンドルを駆動するスプライン軸を示し、手前の歯車群は割出しチェンジギヤを示す。



第7図 歯車系統図



第8図 テーブルおよびワークヘッドへの駆動歯車系

3.2 砥石頭

本機の砥石は精度保持に有利な皿形砥石を用い、研削中の砥石面の摩耗に対処するため、砥石位置自動補正装置を備えている。この装置は砥石研削面に接触せしめたダイヤモンド接点と、これに連動させたマグネットおよびクラッチによって自動的に砥石摩耗量を補正するもので、運転の結果所期の精度をおおむね確保でき、その作動状況も良好である。

3.3 ラム関係

砥石頭後部には左右それぞれのラムを有し、これらはラム台上のクロススライド上に対称位置に取付けられる。ラム台はルート角およびツース角調整のため精密目盛装置を持つ。クロススライドはヘリカルベベル研削セッティングのため左右方向に移動調整ができる。その移動量はマイクロスコープにより 1/1,000 mm 単位で読取ることができる。なおラムをささえるラムベースは油圧によりクランプされる。

3.4 駆動関係

テーブルの早遅回しには差動機構を配し、そのタイミングはマグネットバルブ、多板クラッチおよびブレーキにより作動される。研削時のテーブル回転速度を調整するためピックアップギヤボックスを配置してある（第7図の歯車系統図参照）。

3.5 本体関係

本体側面には機械操作の押ボタンを配し、本体後部には油圧操作バルブ関係および給油タンクを備えている。

歯車の全歯数の研削が終ると機械全体を停止せしめる自動停止装置（積算回転計）をベース前方に配置してある。

3.6 ワークヘッド関係

ワークヘッドはテーブル上にピニオンおよびギヤ用それぞれのサドルを対称位置に配置し、ワークのピッチ角およびコーンディスタンスに応じ副尺を持ったスケールによって所定の位置にセッティングされる。なお研削されたかさ歯車は本機から取りおろさずに相手歯車側のサドルを旋回させて噛合させて、歯当り試験を行うことができる。

4. 本機の仕様および特長

4.1 本機のおもな仕様

研削しうる歯車の種類

直歯およびヘリカルベベルギヤ

研削しうる最大ピッチ径

10:1(歯車比) 610mm

研削しうる最大ピッチ径

1:1(歯車比) 430mm

研削しうる最小ピッチ径

1:10(歯車比) 50mm

外側円錐距離 305mm

最大ヘリカル角

1:1(歯車比) 35度

砥石形状および直径

皿形×400mm

砥石回転数 1,400rpm

テーブル速度(研削時)

(5変速)

0.033-0.05-0.1-0.2-0.3rpm

ラム往復数(4変速)

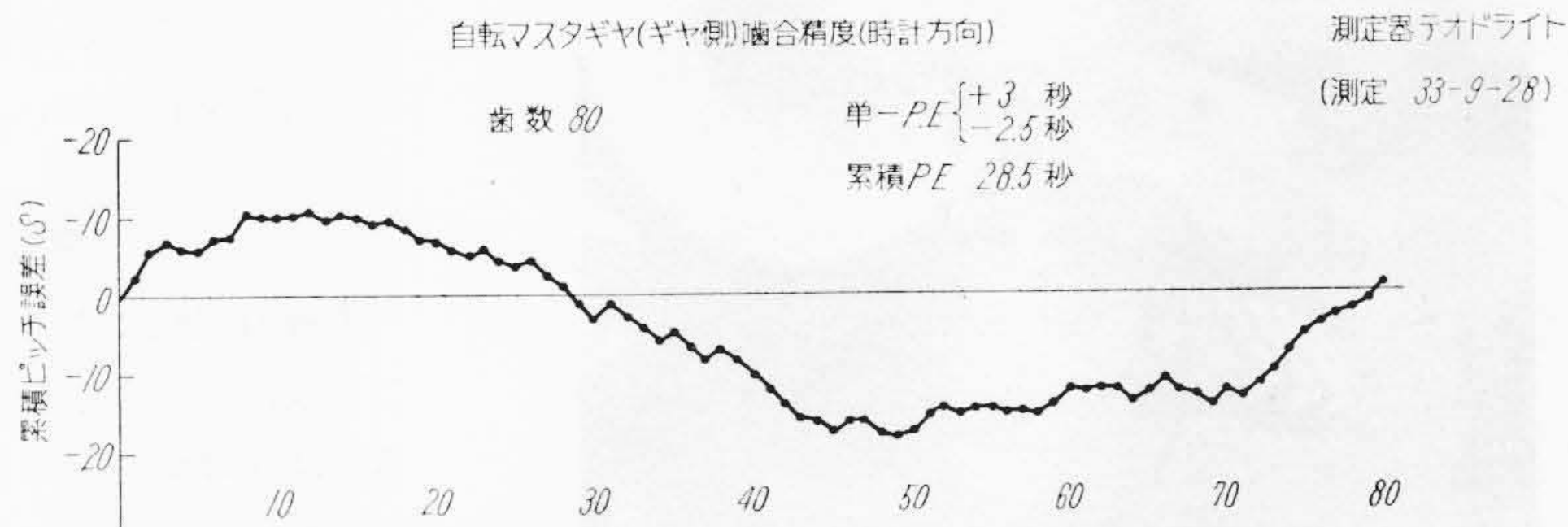
51-68-100-135 r/min

主電動機	3.7kW×6P
砥石用電動機	1.5kW×2P
ラム用電動機	2.2kW×8P
油圧ポンプ用電動機	2.2kW×4P
床面積	2,300mm×2,900mm
機械の高さ	1,850mm
正味重量	11,000kg
標準付属品	

インデックスチェンジギヤ	1式
テーブルスピードチェンジギヤ	1式
ラムスピードチェンジギヤ	1式
吸塵装置	1式
その他	1式

4.2 本機の特長

- a. 複雑な割出装置を必要とせず、連続的に加工が行われ、割出系統の機構が簡単である。



第9図 自転マスタギヤの噛合精度

第1表 研削かさ歯車成績表

1. かさ歯車要目

歯筋	ストレート
歯形	14½度グリーンソ
モジュール D.P	5M
圧力角	14½度
歯数	26
ピッチ円直径	45度~0分0秒
ピッチ円径	130
歯先角	
歯底角	
アデナムアングル	
デデナムアングル	
歯の直線厚さ	7.80
歯厚測定高さ	5.08
軸間の角	90度
ツース角	3度~30分~17秒
クラウニング量	0.02

2. 研削したかさ歯車

ブランク	機種	フライス盤用
材質、硬度、熱処理	SNC2 高周波	R.C 50~55
ブランク精度	単-P.E (左 31μ, 右 20μ)	

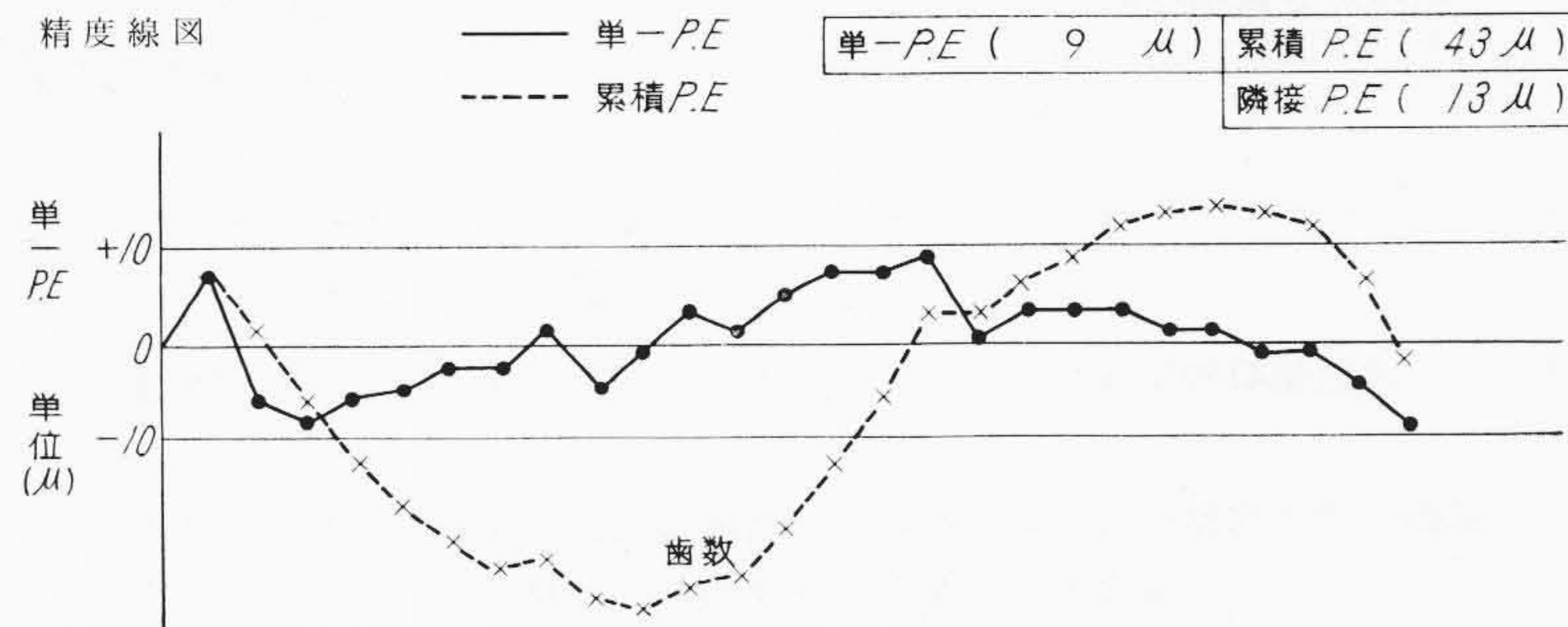
3. 機械セッティング

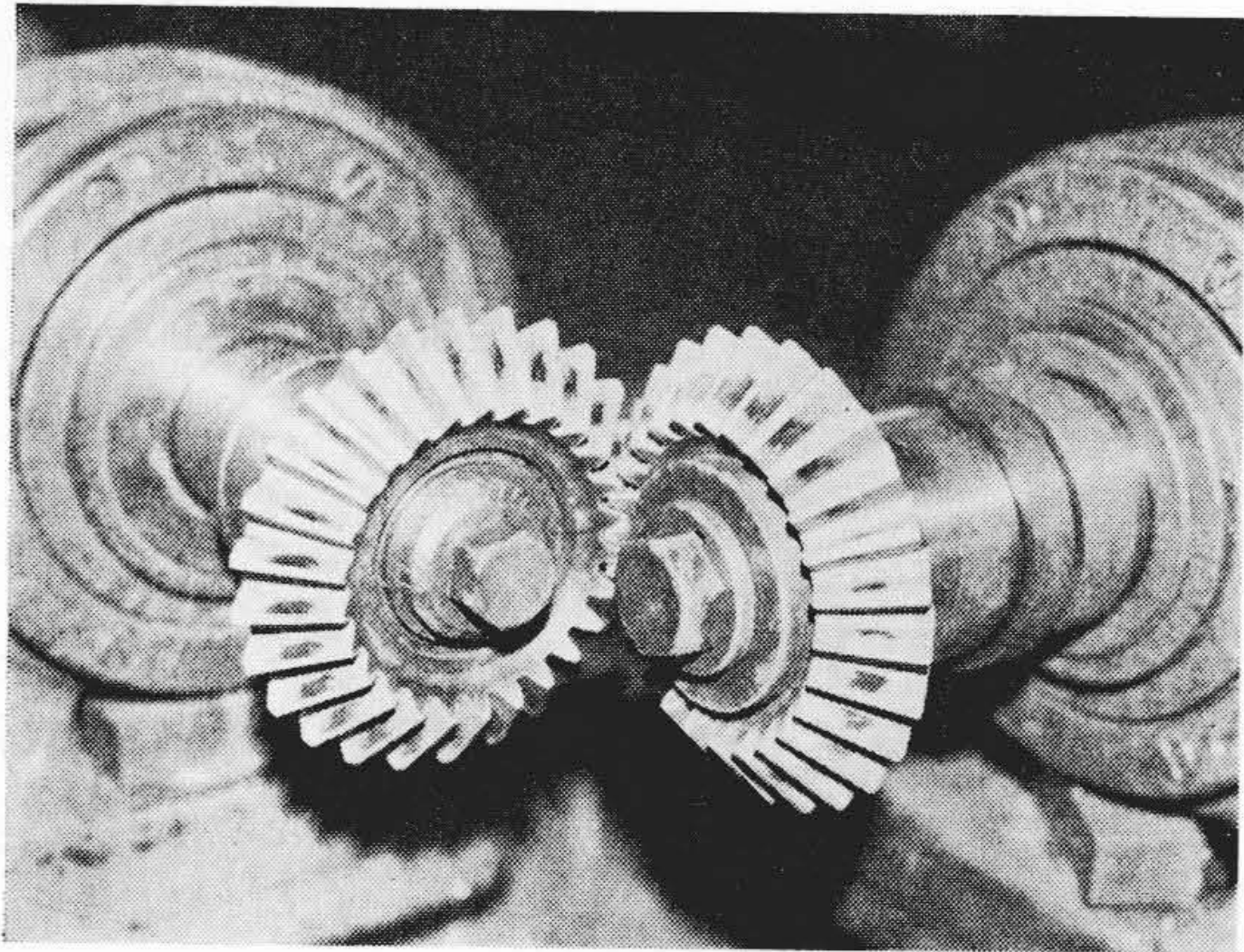
アウトセット量	-3.68	ピッチ角 45度~0分
ラム取付角	6度~47分~0秒	クラウン歯数 35枚
ラム傾斜角	3度~43分~0秒	オフセット量 /
砥石角	14度~56分	
ホイールベットの修正	82.69	摘要
ツーパーック		

4. 研削条件

ラム往復数	68/min
テーブル回転	(荒) 0.2/rpm (仕) 0.1/rpm
切込	(荒) 0.1 (仕) 0.01
砥石	WA60~L5V

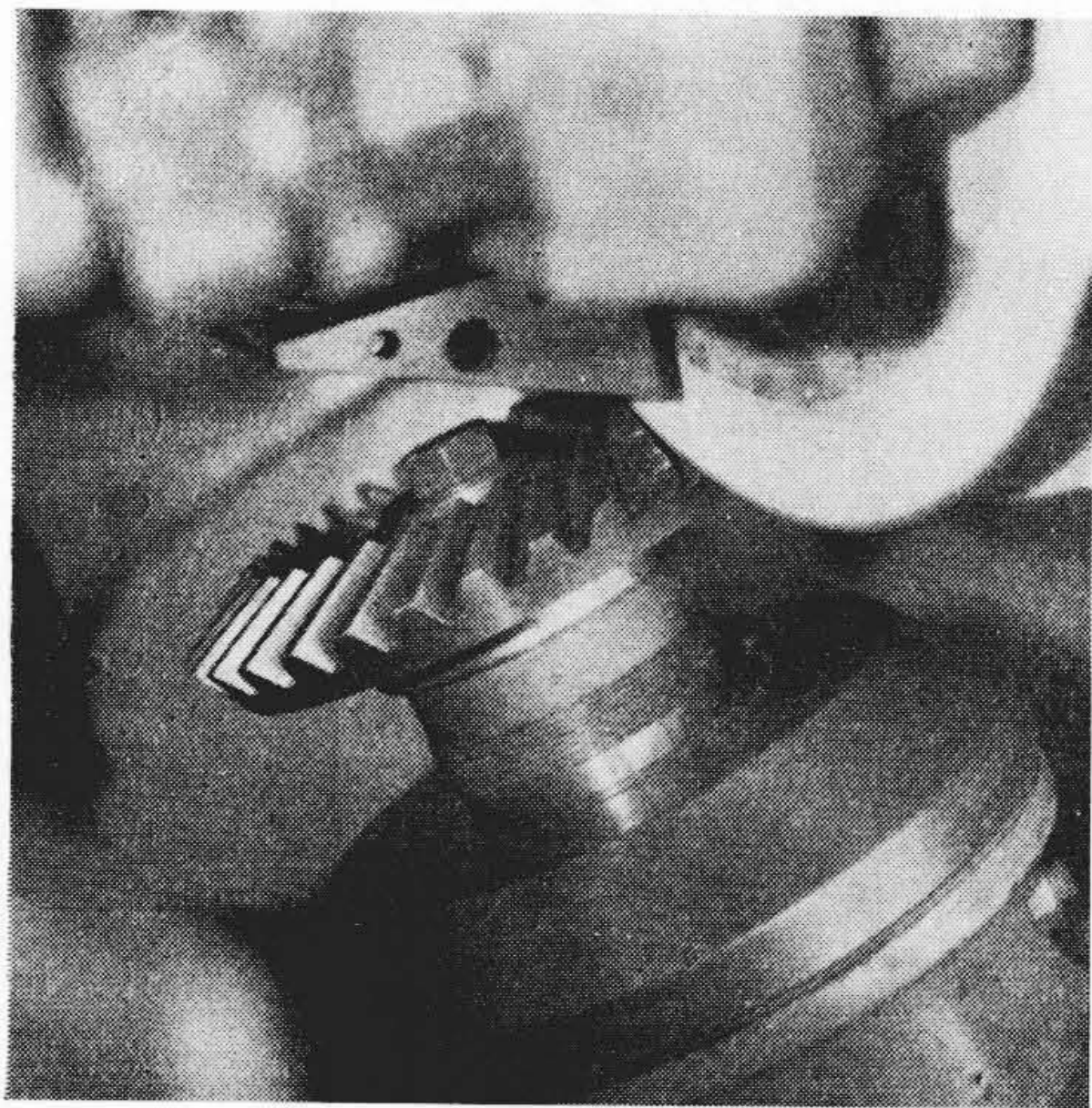
5. 精度線図





5 M 26 T ずばかき歯車 クラウニング量 0.02mm

第10図 研削後の歯当り試験状況



第11図 はすばかき歯車の研削

- b. 加工された歯面の歯筋方向にクラウニングができる。なおクラウニングをつけるために型板などが不要である。
- c. 加工されるかき歯車の大きさ、よじれ角、または圧力角によって砥石を変える必要がないので砥石の保守が容易で、かつ経済的である。
- d. 加工されたかき歯車を取りはずすことなく、機上で一組のかき歯車の歯当り試験ができる。

5. 研削試験の成果

本機は従来の歯車加工機の形式とは異なる新しい切削原理に基づき設計されたものであるため、テーブル構造、砥石装置そのほかについても組立て途上において予想される諸種の誤差を最小限度におさえ、組立ての各段階ごとに精度を確認し、次の組立て精度の確保に備える方法をとった。このため、あらかじめ精度調整表を準備し、これをもとにして組立てを行い、昭和33年1月組立てを完了した（一例として第9図に自転マスターギヤの精度測定結果を示す）。以来研削試験と、この試験結果に基づく構造の改良、主要部の精度向上を実施し、完成を見たものである。

研削試験結果の一例を第1表に示す。第10図はその歯当り状況を示す。この場合のクラウニング量は0.02 mm で計算されたものである。第11図は研削中のはすばかき歯車を示す。なお本機は今後さらに実用試験を行い、被研削かき歯車の精度および仕上面についてさらに向上を計りたい。

6. 結 言

本機の完成により、新しい切削原理が裏づけされたことは、かき歯車加工技術の一進展といえることができる。はすばかき歯車歯切盤としては現在ハイデンライヒ歯切盤、ライネッカ歯切盤が著名であるが、需要によっては本機と同一原理による構造簡易な歯切盤の出現を期待することができる。なお本機と併用する場合、歯切盤としては比較的ラフなものでよいので、さらに構造を簡易化し、高速重切削を主としたベベルギヤラフファの構想も考えられる。また本機の加工容量はカルダン車用かき歯車級の大径のものを研削することを目標としているが、需要によっては最大加工径 300 mm 程度のかき歯車研削盤も期待できる。

将来の問題としてハイポイドギヤの研削があるが本機を基礎として今後の資料を得たい。

終りにのぞみ本機の製作実現に御尽力をいただいた通産省関係担当官諸氏に深く謝意を表するとともに、本機の理論解析について御指導をいただいた新潟大学工学部教授山田金雄氏に深く感謝の意を表する次第である。

訂 正

本誌第41巻第5号目次中に下記のような誤りがありましたので謹んでここに訂正いたします。

記

「誤動作防止回路付新形変圧器差動保護継電方式と東京電力稲荷変電所における試験結果」の執筆者芳名中「岡本正巳」とありますのは「岡村正巳」の誤り。