

マイクロモジュール用水晶振動子およびインダクタ

Micromodule Quartz Vibrators and Inductors

橋 篤 志* 黒 川 進**
Atsushi Tachibana Susumu Kurokawa

内 容 梗 概

超小形、高信頼性を特長とするマイクロモジュール用部品として十分に実用できる短波帯の水晶振動子および主として無線機用のインダクタを開発した。

1. 緒 言

電子機器の超小形化方式の一つであるマイクロモジュールでは、部品は一つ一つ外形寸法が約8mm角の絶縁性基板の上に平面的に形式されねばならない。したがって部品の外形寸法も基板寸法以下に制限され、部品として実現可能な性能範囲が制限をうけることになる。

特に水晶振動子とインダクタンス素子はその制限を強くうけるものである。水晶振動子は周知のようにその弾性振動の固有振動を利用するものであるから、寸法の制限は実現可能な周波数に対する制限となってくる。またインダクタンス素子においても使用レベルとインダクタンスの値が制限される。

以下本文においては、とくに超小形化の要求されている小形無線機用として開発された水晶振動子とインダクタンス素子について、超小形化にあたっての問題と、また使用にあたっての注意などについて述べる。

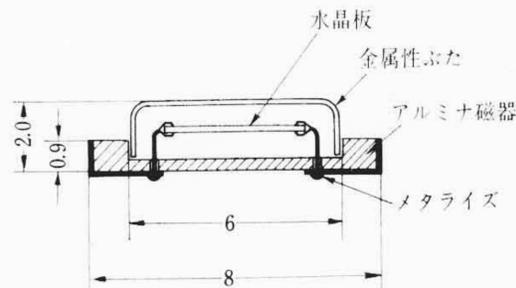
2. 水 晶 振 動 子

2.1 超小形化にあたって

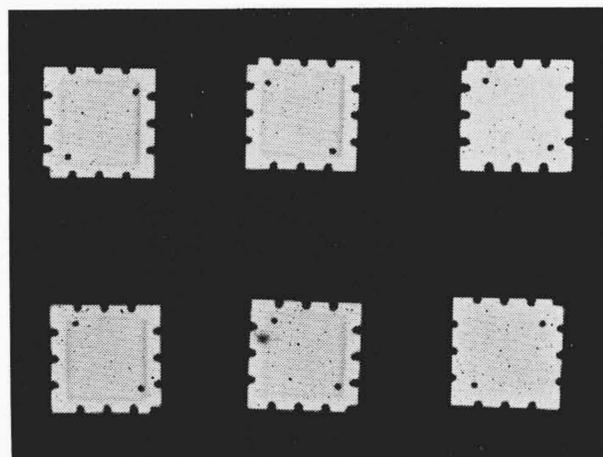
通信機においては周波数標準として水晶振動子は欠くことができないものである。マイクロモジュール化通信機においてもその例に漏れない。マイクロモジュール化通信機に水晶振動子を使用する場合、回路のモジュール化の方法に2通りある。一つは回路と一緒に水晶振動子とモジュール化してしまう方法、他の一つは回路とは別に小形化された水晶振動子に取り付ける方法である。小形化の点からみると、前者のほうがむだな空間が少なくなりよいのであるが、外形寸法が制限をうけ、適用できる水晶の共振周波数は限られてしまう。したがって周波数によってはどうしても後者の方法をとらざるを得ない場合がある。またそうでなくても、たとえば通信機の水晶発振器の発振周波数を時々変更する必要がある場合には、水晶振動子の組み込まれた発振回路のモジュールブロックを取り換えるよりも、振動子単位で取り換えるほうが寸法も小さく、便利な場合がある。後者の場合には水晶振動子としては従来の方式もので小形化されたものを使用すればよいので、ここでは前者の場合に使用することを目的としたマイクロモジュール用水晶振動子について述べる。

2.2 構造および性能

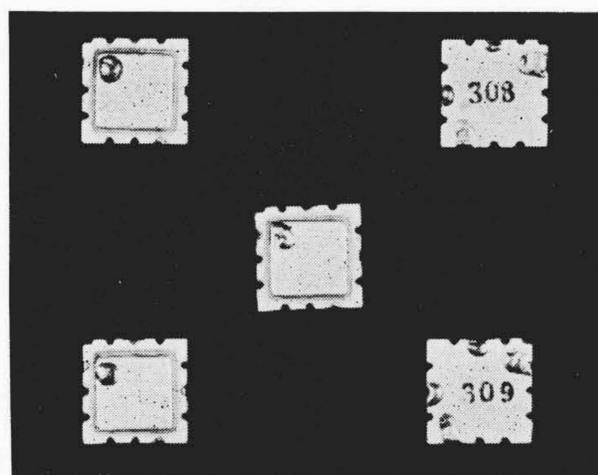
マイクロモジュール化無線機において要求される水晶振動子は多くの場合数Mc以上である。このような周波数に対しては厚み振動が利用されるが、これはマイクロモジュール化するのに適している。このような水晶板としては共振周波数の温度特性の良いATカット、またはBTカットがあるが、共振抵抗に関してはATカットのほうが低く、超小形化に適している。輪廓寸法はマイクロモジュール基板の寸法に組み込まれねばならぬことから制限をうけ、ここで



第1図 マイクロモジュール用水晶振動子の構造 (単位: mm)



第2図(a) 水晶振動子用マイクロモジュール基板



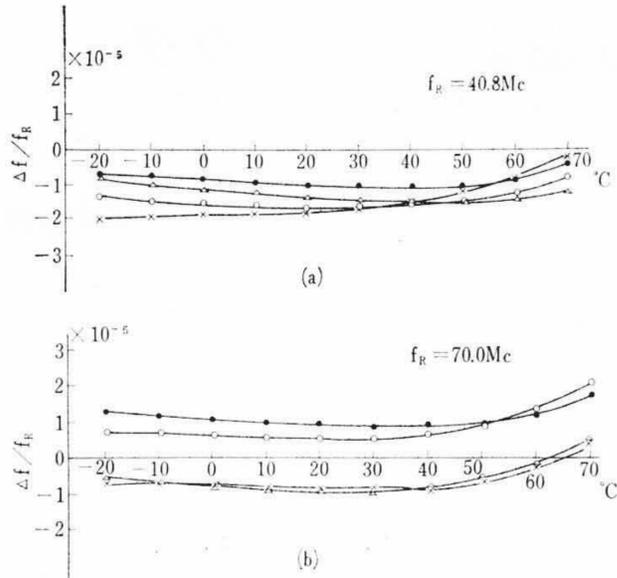
第2図(b) マイクロモジュール用水晶振動子

は4x4mmの角板を用いた。問題は水晶振動子と特性を劣化させることなくマイクロモジュール基板内に組み込むことと、この4x4mmなる寸法の水晶板について最も温度特性の良い切断角を見いだすことである。組み込む方法としてはいろいろと考えられているが^{(1)~(5)}、その一例を第1図に示す。水晶板には上下両面に銀の蒸着電極が着けられてあり、対角線上の角の二点で細い金属線で支持されて基板内に組み込まれている。使用したマイクロモジュール基板および組み立てられた振動子を第2図に示す。

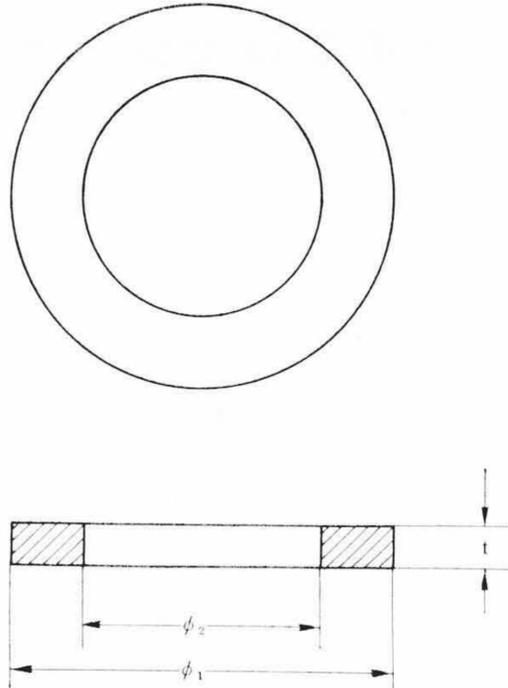
得られた共振周波数温度特性の一例を示すと第3図のようである。共振抵抗は周波数が高くなると大きくなり、周波数7~70Mcで抵抗は35~100Ωくらいになる。その温度依存性は非常に小さい。その他の特性はMIL-C-3098Bに準ずる規格を満たしている。

* 日立製作所戸塚工場 理博

** 日立製作所中央研究所



(a) 3rd Overtone (b) 5th Overtone
第3図 共振周波数の温度特性



第4図 環状磁心

3. インダクタ

3.1 超小形化にあたって

一般の超小形化部品のうちインダクタンス素子は超小形化の困難な部品の一つである。抵抗やコンデンサのように薄膜化することは高周波で低インダクタンスの場合を除きあまり開発も進んでいない。一般には磁心の導電率を上げることによりある程度の小形化はできるが、このことは通常磁心損失を増大させ安定度を劣化させる原因となる。インダクタンスの使用レベルが高いとき、大インダクタンスを必要とする場合には特に小形化は困難になる。したがって回路設計に当たってはできるだけ低レベル動作、小インダクタンスになるように設計すべきである。

超小形回路においてはインダクタンス素子はできるだけ使用しないようにするかまたは他の部品で代用することが得策である。たとえば同調回路に使用するところでは、圧電効果あるいは磁気ひずみ効果を利用した共振子、たとえば中間周波トランスなどにはセラミックフィルタを使用したほうが小形になり性能も向上する場合がある。また能動素子によるインダクタンス素子の利用などが考えられる。なお低周波トランスとかアンテナなどは性能上超小形化することは現在ではあまり期待できない。

セラミックフィルタとか能動素子を用いたインダクタンス素子に関しては別の機会に述べることにして、ここでは磁心に巻線をほどこしたインダクタンスの超小形化について述べる。

3.2 形状および寸法

寸法が小さくて、なるべく大きなインダクタンスを得るには磁路が閉じていることが望ましい。したがってまず環状磁心に巻線をほどこしたコイルについて考察してみる。

コイルの外径はマイクロモジュールの基板から制限をうけるので、磁心の外径が決まったとき内径をいくらしらいいか検討してみる。第4図に示すような記号を用い、磁心の導磁率を μ 、巻線数を N 、得られるインダクタンスの値を L 、巻線の直径を d 、層数を n とすると、 N は次式で与えられる。

$$N = \frac{\pi(\phi_2 - d)}{d} + \frac{\pi(\phi_2 - 3d)}{d} + \dots + \frac{\pi[\phi_2 - (2n+1)d]}{d}$$

$$= \frac{\pi\phi_2}{d}(n+1)\left(1 - \frac{nd}{\phi_2}\right) \dots \dots \dots (1)$$

ただし $(2n+1)d \ll \phi_2$ とする。ここでコイルの外径寸法に対する制限から層数も制限をうける。いまこれを一定と考えると

$$N \propto \pi\phi_2$$

したがって

$$L = k\pi t \left(1 - \frac{2\phi_2}{\phi_1 + \phi_2}\right) \phi_2^2 \mu \dots \dots \dots (2)$$

となる。ただし k は定数である。ここで μ, t, ϕ_1 を一定として L を max ならしめる ϕ_2 の値を求めると

$$\frac{\partial L}{\partial \phi_2} = \frac{2\phi_2}{(\phi_1 + \phi_2)^2} (\phi_1^2 - \phi_1\phi_2 - \phi_2^2) = 0$$

$$\therefore \frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \doteq 1.62 \dots \dots \dots (3)$$

となる。したがって $\phi_1 = 5 \text{ mm}$ とすると $\phi_2 = 3.09 \text{ mm}$ となる。

このような簡単な考察から、われわれはまず環状磁心の寸法を外径 5.0 mm 、内径 3.0 mm に選んだ。

3.3 部品配置の問題

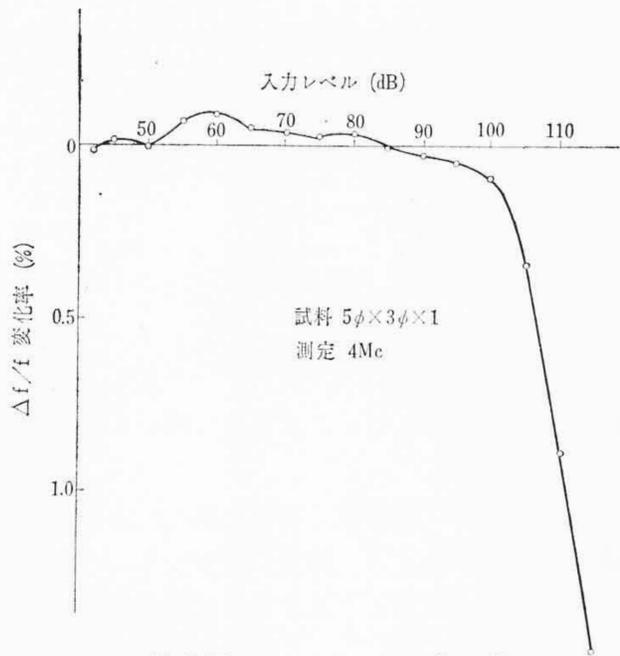
電子回路の超小形化に当たりなるべくむだな空間を少なくするように部品配置を考慮すべきであるが、この場合、部品相互間の配置をよく検討しないと、他部品との相互干渉により回路に組み込んだ場合、特性が劣化してしまうことがある。やむをえず漏れ磁束のあるような磁路のインダクタンス素子を使用するときには特に重要である。たとえば漏れ磁束のところはリード線とかコンデンサの電極、あるいは磁性体などが来ると、コイルとしての Q が低下し、あるいは L の変化をもたらす。したがって漏れ磁束ある構造のコイルを使用して相互干渉のないように組み込むと予想外に寸法が大きくなってしまふ。このようなことから超小形化回路においては閉磁路形のコイルを使用すべきである。

3.4 モールドの影響

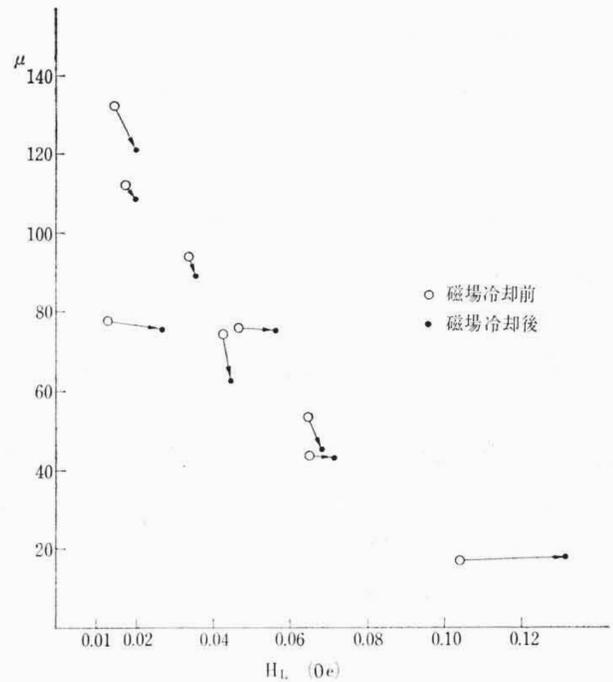
マイクロモジュールではモジュールに組み立てた後、各部品は樹脂でモールドされる。モールドに関しては別論文で述べられているように、まず各部品はバッファコートされた後、樹脂でモールドされる。このときに注意すべきことはコイルに悪影響を与えないようなモールド樹脂と作業条件を求めておかねばならないことである。バッファコート材およびモールド材はなるべく誘電率の小さい、損失の少ない、さらに硬化にあたり収縮率の少ないものを使用せねばならない。これを誤るとコイルの Q は低下し、漂遊容量は増加し、安定性を劣化させる。またコイルの含浸処理もバッファコート材、モールド材と関連づけて適当な材料と作業条件のもとで行なわれねばならない。

3.5 磁心⁽⁶⁾

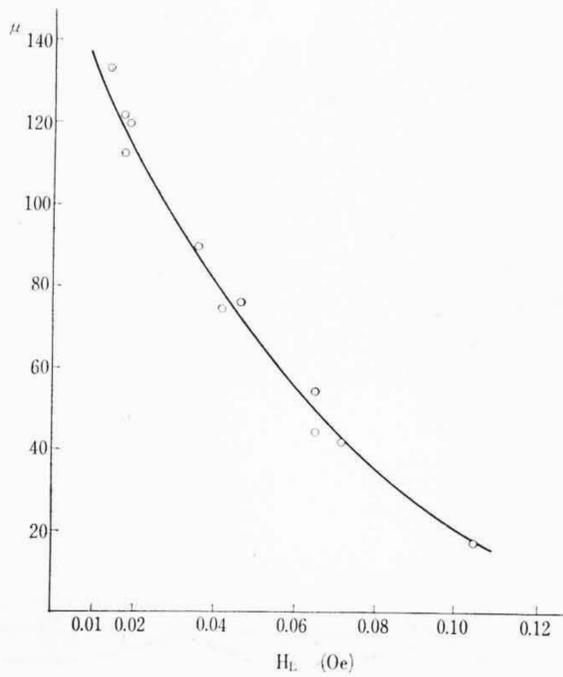
コイルの特性を支配するものは磁心である。ここでは特に超小形化に当たり問題となるコイルの安定性、特にレベル特性について考察する。



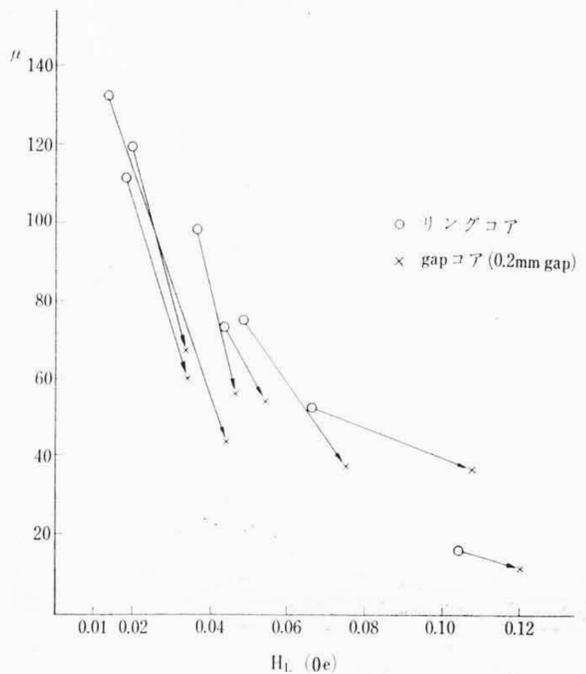
第5図 レベル特性



第7図 磁場処理前後の μ, H_L



第6図 直線性と導磁率の関係



第8図 環状磁心と空けき磁心の $\mu-H_L$ 特性

マイクロモジュール用磁心としては高導磁率で低損失な特性が要求されるが、従来のフェライト磁心に高導磁率を要求すると、一般に磁化曲線における磁場 H と磁束密度 B の直線性が乏しいので、小形で大きなインダクタンスを得るために巻数を増加することとなり、その結果磁束密度が増加してインダクタンスのレベル変動が現われる。たとえばその一例を第5図に示す。ここで横軸はコイルに加わる印加電圧、縦軸はインダクタンスの変化を共振周波数の変化として表わしたものである。これによると約 100dB 付近で周波数の変化率が急激に増大しており、そのレベルに相当する磁場の大きさでインダクタンスの変化、つまり導磁率の変化が急増していることを表わしている。

このような状態でコイルを使用すると波形ひずみをもたらすし、また同調回路においては非対称な同調曲線が現われてくる。

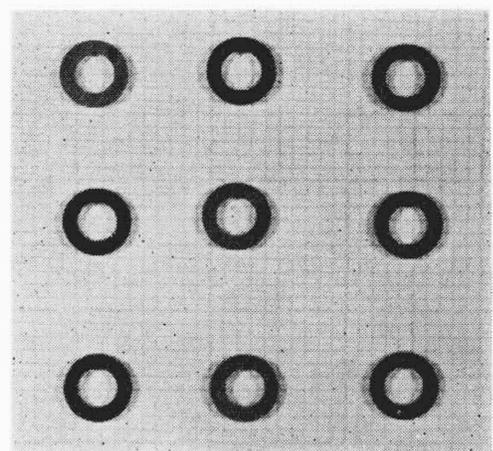
いま、磁心の導磁率の直線部分の保たれる範囲の磁場の大きさを H_L とすると、コイルの端子電圧 V は

$$V = \omega L i$$

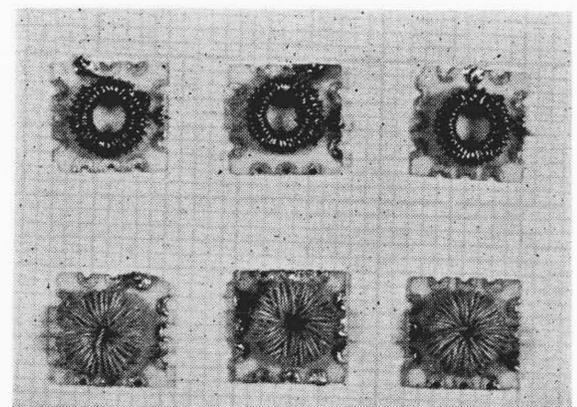
$$= \omega a n^2 \mu \frac{H_L}{n} = b \cdot n \cdot \mu \cdot H_L \dots\dots\dots (4)$$

となる。 n : 単位長当たりの巻数, i : 電流, a, b : 常数

すなわちレベル特性はコイルの巻数と導磁率とその直線性の大きさに比例する。またマイクロモジュールの場合にはインダクタンスの値は、ほとんどある決められた値にされていることが多いので、この条件を入れると



第9図(a) マイクロモジュール用環状磁心



第9図(b) マイクロモジュール用インダクタンス素子

$$V = c \sqrt{\mu} H_L \dots\dots\dots (5)$$

c: 定数である。

当然のことながらL一定の条件ではレベル特性の向上には導磁率の直線性をよくすることが必要であり、またμの大きいことも有利である。一方、この直線性と材質とを結びつける目安としてH_Lとμの関係を各種の材料について求めると第6図のようになる(H_Lの値としてはΔμ/μ ≤ ±0.2%となる場合をとった)。すなわちμとH_Lとはほぼ逆比例の関係になっており、これからレベル特性を改善するにはμの直線性を改善することが有効な手段であることがわかる。

次に導磁率直線性範囲を拡張する方法として磁心を焼成後、冷却過程において磁場をかけることによって磁化方向をそろえる方法⁽⁷⁾⁽⁸⁾と磁心に空けきを入れることによりμの直線性を改善する方法とがある。それらの例を第7, 8図に示す。

なおコイルには、要求される仕様によってはフェライトのみならず圧粉磁心などを用いることが必要である。

第9図にでき上がったマイクロモジュール用コイルを、第1表に得られた特性の概略を示す。中間周波数用としてのレベル特性は130 dB くらいまでのものが得られている。

4. 結 言

以上においてマイクロモジュール用水晶振動子およびインダクタの開発経過を報告したが、これらの部品の超小形化および高性能化を進めることは今後ともに重要であり、その進展によってマイクロモジュールの応用も強く影響されると考えられる。ことにインダク

第1表 マイクロモジュール用磁心

種 類	周波数	寸 法	インダクタンス (μH)	Q
中間周波用	455 kc	5φ×3φ×2	800	>85
高周波IF用	4~5 Mc	5φ×3φ×1	10~30	>100
高周波RF用	20~30 Mc	5φ×3φ×1	>0.8	>100
高周波RF用	30~50 Mc	5φ×3φ×1	>0.3	>100
高周波RF用	50~70 Mc	5φ×3φ×1	>0.3	>100
チョークコイル	20~75 Mc	5φ×3φ×1	>1.0	>80

タの超小形化および高性能化はマイクロエレクトロニクス発展にとって共通の問題であり、われわれも大きな関心を持って研究を進めている。

終わりに水晶振動子の製作にご協力を願った金石舎研究所のかたがた、基板およびメタライズの開発に関しいろいろご協力いただいた日立化成工業株式会社および日立製作所関係各位に厚く感謝する。

参 考 文 献

- (1) Electronics: p.51 (May 22, 1959)
- (2) 橋, 品田, 生沼: 昭36年電気通信学会全国大会 No. 134
- (3) 橋, 生沼: 電子工業 p.10 (昭36-12)
- (4) 橋, 品田: 特許公告 昭38-11053
- (5) 橋, 品田: 特許公告 昭38-11054
- (6) 黒川: 昭和38年4月 日本化学年会年
- (7) G. A. kelsall: Physics, 5, 169 (1534)
- (8) J. F. Dillinger & R. M. Bozorth: Physics, 6, 279 (1935), 6, 285 (1935)
- (9) 橋, 武井: 実用新案公告 昭37-29361



登録新案第714459号

新 案 の 紹 介



磯部 弘吉・島村 光昭

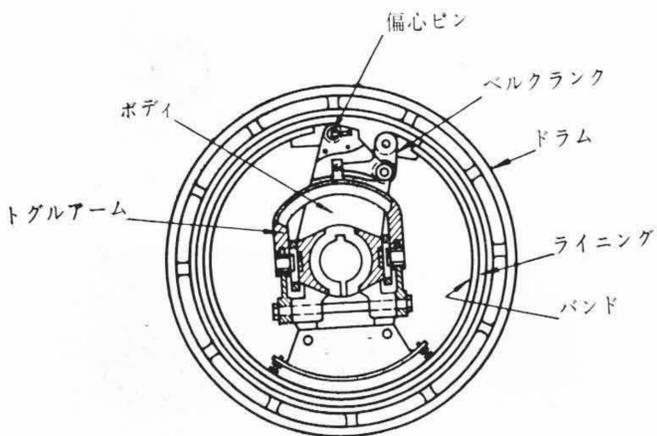
エ キ ス パ ン シ ョ ン ク ラ ッ チ

目 的

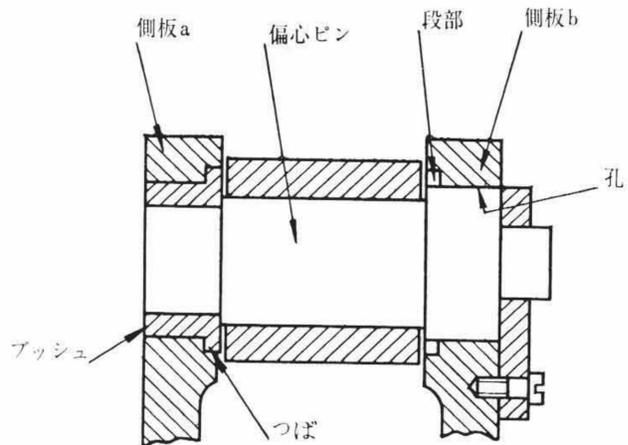
エキスパンションクラッチは機械に取りつける場合、動力伝達の回転方向、またはドラムとボディとの関係位置の必要上から第1図に示したものと勝手違いにして使用する場合がある。この考案はその場合に偏心ピンを簡単に勝手違いに組み立てられるようにしたものである。

構 造, 効 果

ボディの側板a, bに同一直径の孔をあけ、側板の内側にブッシュのつばを受ける段部を設ける。第2図においてブッシュを側板bの側にはめれば、偏心ピンを勝手違いに組み立てることができる。この考案によれば、同一のボディを勝手違いの組み立てに共用でき、部品および予備品を節約することができる。(富田)



第1図



第2図