



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	スリットのある歯車の特徴 : 振動, 騒音について
Author(s)	落合, 宏; Ochiai, Hiroshi; 菅野, 崇 他
Citation	北海道大学工学部研究報告, 161, 7-14
Issue Date	1992-10-16
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42317
Type	departmental bulletin paper
File Information	161_7-14.pdf



スリットのある歯車の特性
— 振動, 騒音について —

落 合 宏 菅 野 崇*
(平成 4 年 6 月 25 日受理)

Properties of gears with slits
— Regarding the vibration and noise —

Hiroshi OCHIAI and Takashi KANNO
(Received June 25, 1992)

Abstract

The demand to mesh gears without backlash is growing in accompanying the recent development of the mechatronics control.

However, it is dangerous to mesh the gears without backlash because the teeth have profile error interfere with each other.

It is thought that the flexible teeth of the gear would be effective measures to solve this problem.

Thus the authors compared gears with certain slits in the teeth with normal gear without slits by experiments while changing the value of backlash and revolution velocity under no-load conditions.

As a conclusion, it was found, possible to mesh the gears with backlash smaller than the value recommended by JIS.

Also, it is effective to cut the slits in the teeth of the gear when backlash is zero or minus value caused by the eccentricities of the gears and smaller center distance of the gears.

When decreasing the value of the backlash, it is necessary to control the eccentricity and the addendum modification coefficient of the gear as strictly as possible.

1. 緒 言

最近の機械の高精度化によって, 制御機器の精度が向上しつつあるが, それらの位置決め精度に歯車のバックラッシュが悪影響を与えることが多々ある。しかし何の対策も施さずにバックラッシュの無い状態で歯車を噛み合わせると, 歯車の誤差によって歯面同士を強く押し付ける可能性があり, 非常に危険である。その 1 つの克服法として歯車歯をたわみやすくすることが考えられる。すなわち剛性の小さい歯車歯が大きいたわむと荷重分担率が変化するため, 振動, 騒音が軽減さ

れることが予想できる。

本研究では、剛性を小さくする手段として、歯車の歯先から歯たけ方向にスリットを入れる方法を用い、実際にその歯車のねじり振動、騒音の特性を測定した。また、歯打ちなど歯車の振動が生じやすいように無負荷運転とした。

2. 実験方法

(1) 実験装置

図1に装置概略を示す。歯車の支持にはすべり軸受を用い、油ポンプにより強制潤滑を行った。また、駆動にはDCモータを使用し、電源には定回転速度制御電源装置を用いた。

(2) 試験用歯車

試験歯車の緒元は、モジュール5、歯数30、圧力角 20° とし、ホブ切り標準歯車を駆動、被動側双方に使用した。また、駆動側歯車にはスリットの無いものを常に用い、被動側歯車をスリットの無い歯車、スリットのある歯車と組合せを変化させて噛み合い実験を行った。図2にスリッ

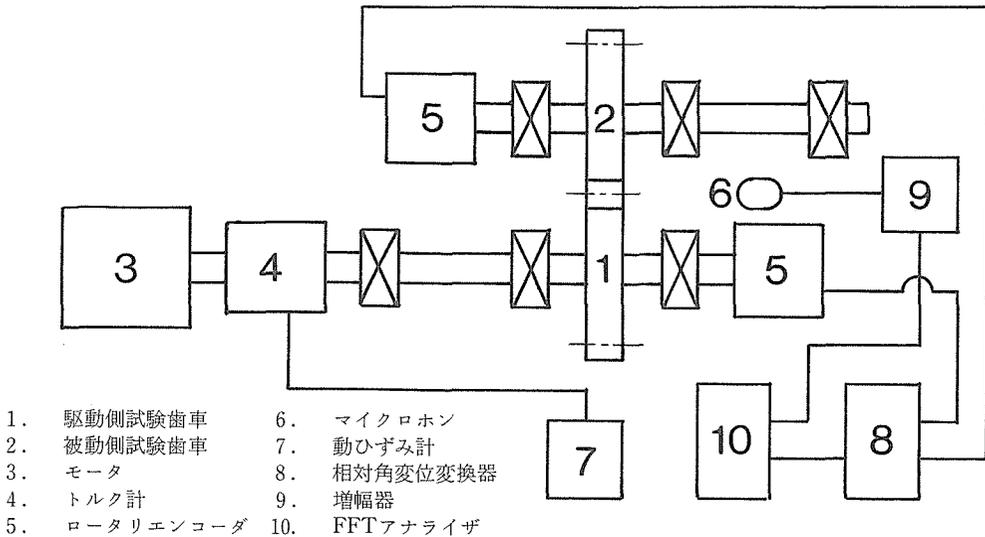
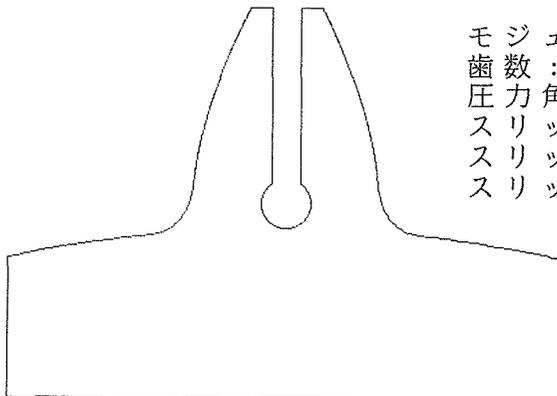


図-1 装置概略



モジュール :	5
歯数 :	30
圧力角 :	20°
スリット幅 :	1. 5 mm
スリット深さ :	11. 25 mm
スリット底部円直径 :	ϕ 2. 5 mm

図-2 実験用スリット入り歯車歯外形

ト入りの歯車歯の外形を示す。

(3) ねじり振動の測定

駆動、被動両軸端にはロータリエンコーダを取り付け、両軸間の相対角変位を測定した。ロータリエンコーダは、1回転あたり600パルスの矩形波を出力する。駆動、被動各側のロータリエンコーダが出力する波形は図3のようになる。変換器は両者の位相差を矩形波の周波数との比 θ/t_i として出力する。これから直流成分を除いたものが、すなわち相対角変位である。また、これをFFTアナライザに入力し、周波数分析も行った。

(4) 騒音の測定

騒音は電気容量型マイクロホンを用いて測定した。マイクロホンは噛み合い点から230 mm離れた位置に設置した。さらに、これをFFTアナライザに入力し、その波形、周波数分析結果を記録した。また、テープレコーダを用い、カセットテープへの記録も同時に行った。

(5) トルクの測定

駆動側の軸には、電気抵抗線ひずみゲージを用いたトルク計が組み込まれており、スリップリングを介してトルクの測定が可能である。

(6) 測定条件について

バックラッシュおよび回転数をパラメータとし測定を行ったが、パラメータの値は以下の通りである。

バックラッシュ：0, 25, 50, 100, 200 μm

回転数：200 から 1200 rpm まで 200 rpm 刻み

(7) グラフのまとめ方について

ねじり振動、騒音の表示方法については、各装置の出力の振幅 $\pm 1\text{V}$ を0 dBとし、相対的な評価を行った。また、ねじり振動については、噛み合いの挙動には影響がないので、回転数に相当する周波数の成分を除いて換算した。

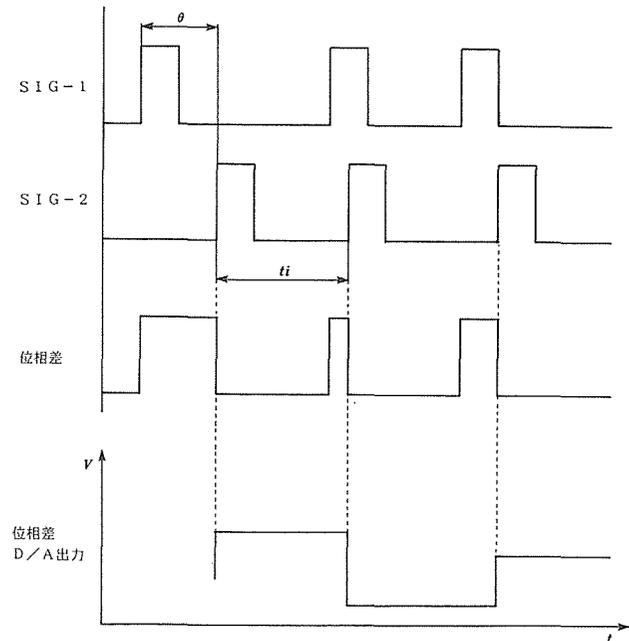


図-3 相対角変位の測定原理

3. 結果と考察

3-1 スリット入り歯車のねじり振動について

実験における代表的な4例のFFT分析結果を図4に示す。相対角変位の周波数成分が明らかに3つに分けられる。それぞれ歯車軸1回転に1周期の周波数、1歯につき1周期の噛み合い周波数、そして回転数およびバックラッシュを変化させても周波数に変化しない系としての固有振動数である。回転数に相当する周波数は主に軸継手などの装置の誤差および歯車の偏心によって発

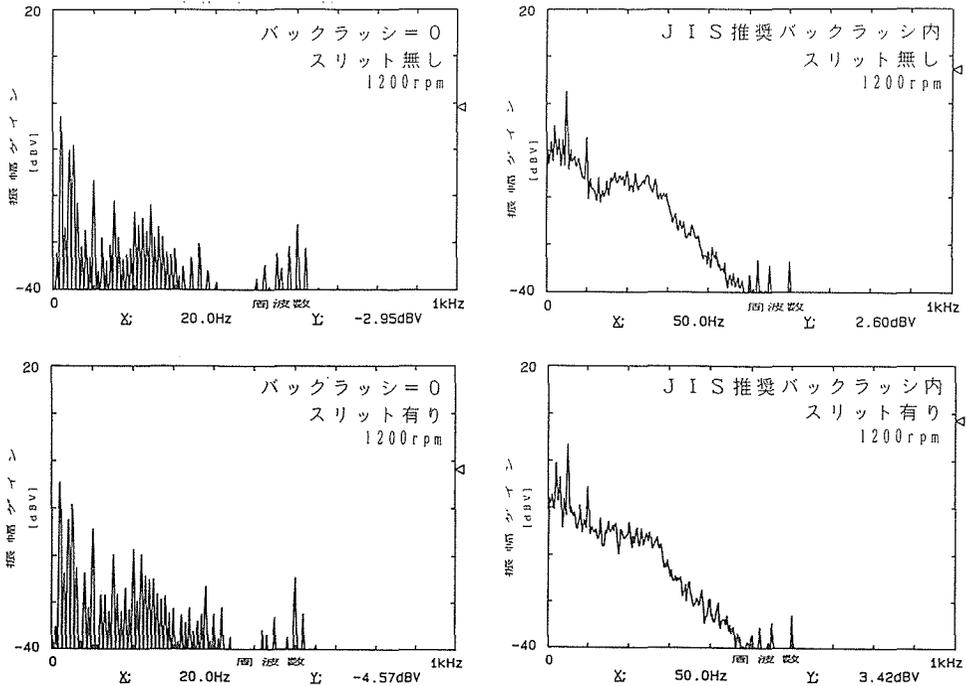


図-4 ねじり振動のFFT分析図

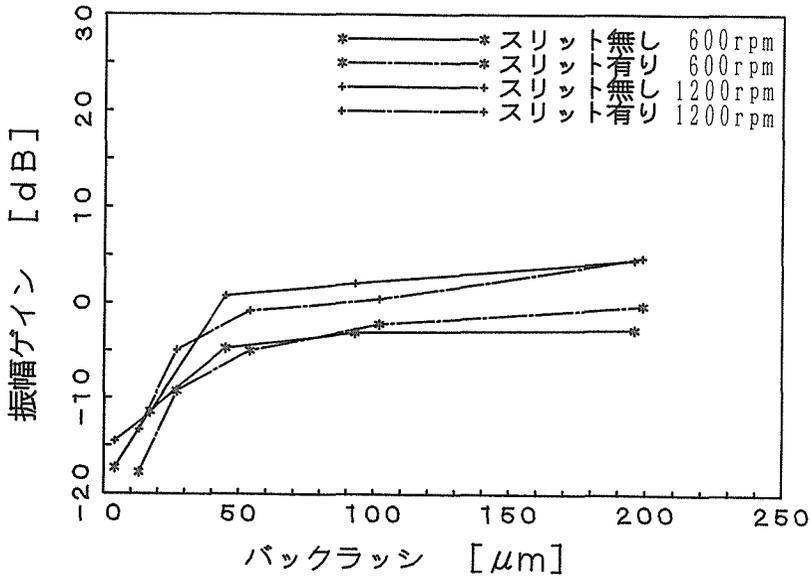


図-5 ねじり振動の測定結果

生ずるものであるから、本実験では特にこれには触れない。噛み合い周波数は、歯打ち現象に深く関わっている成分であり、歯車軸が低速で回転しているとき容易に確認できる。これは、低速回転域では歯打ちが1歯あたり1回行われており、回転数が上昇して行くと、数枚飛びの歯打ちが行われるようになることを表している。最後に挙げた固有振動数であるが、250 Hzを中心とし、その上下50 Hzの範囲になだらかに分布している。歯のたわみに軸、軸継手の剛性を加えた

多質点系とみなした計算によると、歯車軸系の基本固有振動数は 300 Hz であり、本測定結果とほぼ一致している。従ってこの周波数は歯車軸系の基本振動数であると推定できる。この成分は特に回転が高速になるほど、ねじり振動および騒音に顕著に現れる。

実験結果によれば、スリットの有無によるねじり振動の違いは認められなかった。また、ピークとなる周波数にも違いがなく、振動の発生傾向は同一である。この原因としてはスリット入りの歯車のばねこわさがスリットの無い歯車に比べ、約9分の1と非常に小さいにも関わらずその絶対値があまりに大きいため、歯の変形が非常に小さいことが挙げられる。例えばスリット入り歯車でピッチ点において $1\ \mu\text{m}$ 変位させるためには、64 N の荷重が必要であり、これをトルクに換算すれば $4.8\ \text{N}\cdot\text{m}$ となる。無負荷試験であるため、最大でも駆動トルクは $2.5\ \text{N}\cdot\text{m}$ 程度であり、歯車歯を大きくたわませるまでには至っていない。また、バックラッシの小さい範囲で試験を行ったため、歯打ちなどの振動が生じてもその振幅が小さいことももう一つの理由となる。

バックラッシ、回転数に関する一般的結果としては、バックラッシの増加と共に振幅も増大し、回転数の増加と共に振幅も増大する傾向がみられた。

3-2 スリット入り歯車の騒音について

本実験における代表的な4例のFFT分析結果を図6に示す。バックラッシがある程度存在する状態では、スリットの入った歯車歯の方に騒音の軽減が若干みられるが、バックラッシが $30\ \mu\text{m}$ 以下においては双方の騒音レベルに差異は認められない。ここで問題になるのは、実験装置の精度およびバックラッシ測定の精度である。バックラッシの測定は駆動、被動両歯車軸間の距離を測定した後に、歯車の転位係数を考慮して計算によって求めるという間接的な方法をとって

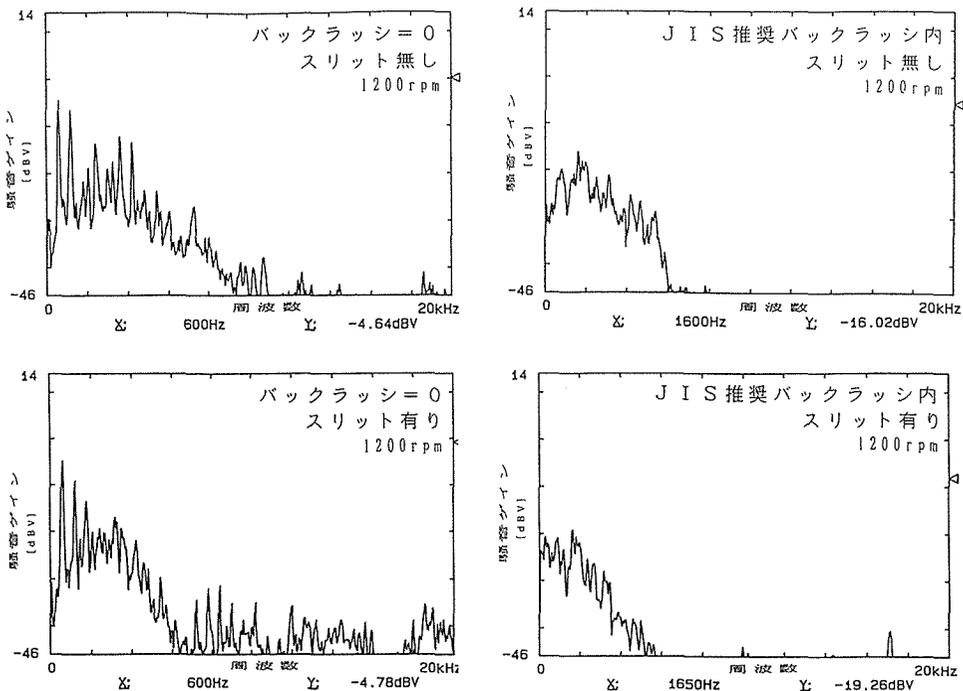


図-6 騒音のFFT分析図

るため、これら全ての誤差の影響を受けてしまう。バックラッシ最小の設定状態ではスリット入り、スリット無し歯車の間には約 $10\ \mu\text{m}$ の差があるが、この測定方法ではその程度の誤差を含むことが十分考えられる。ここでバックラッシ最小の設定状態において、スリット入り、スリット無し歯車ともバックラッシはほぼ等しかったと考えれば、スリット入りの歯車の方に全体的な騒音の軽減がみられる。

また、スリットの有無により音質が異なることも測定できた。FFT 分析結果をみると、スリット入り歯車とスリット無し歯車では、周波数分布に差がみられ、とくに $2000\ \text{Hz}$ から $4000\ \text{Hz}$ の間の高周波成分に大きな相違がみられる。よって、噛み合い周波数など騒音の基本周波数の高調波成分が大きく影響を及ぼしているとみることができる。

総じて言えることとしては、バックラッシがある程度存在する状態においては、軽負荷のために歯面分離現象が生じ、歯打音と呼ばれる騒音を発生していることが挙げられる。この騒音は、回転数を変えても周波数の変化は少なく、主成分として $1600\ \text{Hz}$ 付近の周波数がよく現れた。これは、バックラッシが非常に小さいときにはそれほど大きく現れないことから、歯面衝突時に生ずる歯自身の自由振動かまたは歯打ち振動の基本振動数に基づく騒音であると考えられる。

バックラッシが $50\ \mu\text{m}$ 以上存在する状態では、バックラッシが減少するにつれ騒音が若干ながら減少していく傾向がある。これは、バックラッシが小さいほど歯面の分離量が小さくなるため、その後の歯面衝突時の衝突エネルギーが小さくなることによる。

バックラッシが $30\ \mu\text{m}$ 以下の状態では、急激に騒音が増大し、その性質も全く異なるものになる。この状態で基本となる周波数は噛み合い周波数であり、回転数の増加と共に周波数も連続的に高くなっており、先に述べた $1600\ \text{Hz}$ の固有振動数は支配的ではない。噛み合い周波数が大きく発生する原因として、強い歯当りによる摩擦に起因する騒音であると推定した。

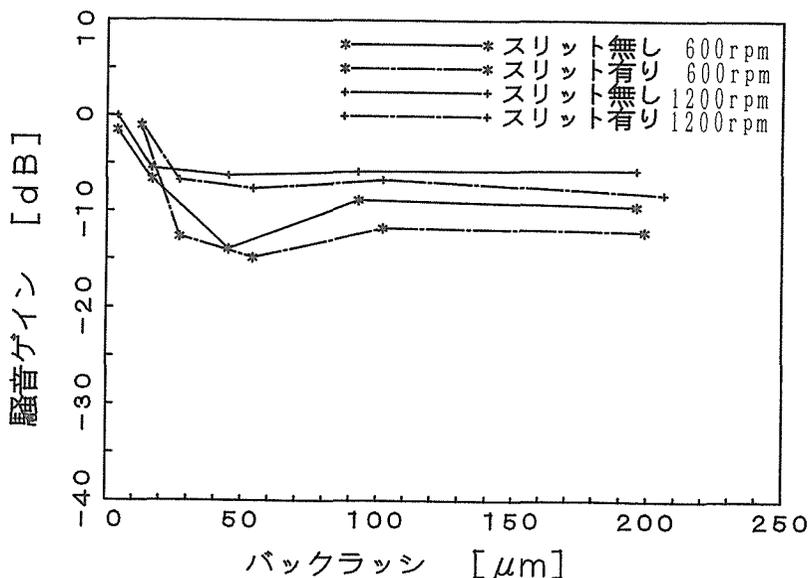


図-7 騒音の測定結果

3-3 トルクについて

スリットのある歯車の方に全体的なトルクの低下がみられる。この原因は、歯面摩擦が軽減さ

れたことによると考えられる。

全体的にみると、バックラッシが $30\mu\text{m}$ 以下においてトルクの急激な上昇がみられる。これは、強い歯当りによる歯面摩擦の急激な上昇によるものである。

また、バックラッシがある程度存在する状態では、バックラッシの減少と共に若干のトルクの低下が認められた。これは、バックラッシの減少によって歯打ちによる振幅が減少することと関わりがあるものとみられる。

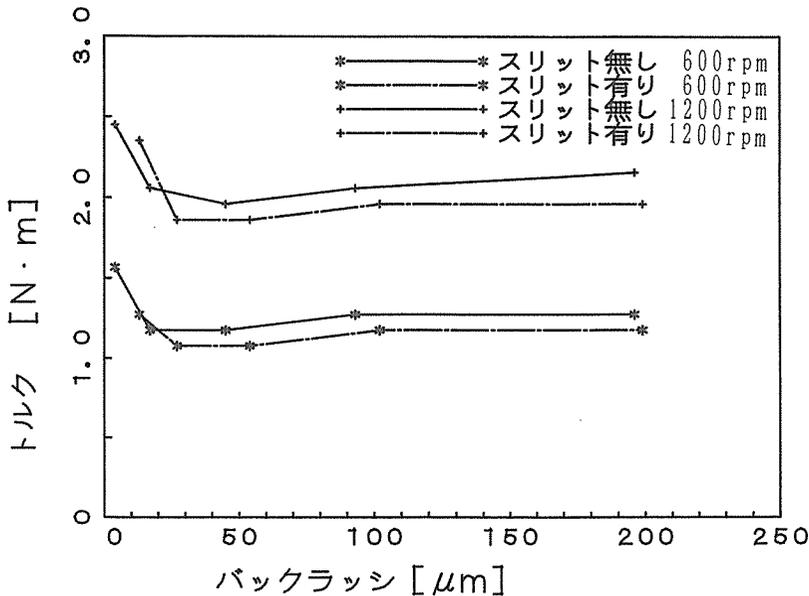


図-8 トルクの測定結果

4. 結 言

本研究の大きな目的は、バックラッシを非常に小さくすること、ひいてはバックラッシを無くすることができるかであった。結論として以下のようにまとめられる。

- 1) JISの推奨バックラッシは今回の実験に用いた歯車では $170\mu\text{m}$ 以上 $700\mu\text{m}$ 以下であるが、 $50\mu\text{m}$ 程度でねじり振動、騒音、トルクの各項目において非常に良好な結果が得られ、JISの推奨値よりさらに小さなバックラッシで駆動できることを確認した。しかし、この場合歯車の偏心、転位係数の管理は十分慎重に行う必要がある。
- 2) バックラッシが0の状態では、騒音、駆動トルクが急激に増大するのでバックラッシなしで実用に供するには問題がある。
- 3) 歯車歯にスリットを入れる方法によれば、バックラッシを小さくとれることになるから、騒音、トルクの面で非常に有効であり、一方なんらかの原因でバックラッシが0以下になったときの対策としても効果がある。

参 考 文 献

- 1) 明山正元・歌川正博：歯車の設計，オーム社
- 2) 仙波正荘：歯車第5巻，日刊工業新聞社
- 3) 近畿歯車懇話会：歯車の精度と性能，大河出版