

# 電動巻上機の歯車騒音に及ぼす歯面仕上げの影響

小田 哲\*・永村 和照\*・難波 千秋\*

(1976年5月31日受理)

## On Effect of Finishing Methods of Teeth on Gear Noise in Electric Hoist

by

Satoshi ODA\*, Kazuteru NAGAMURA\*, and Chiaki NANBA\*

(Received May 31, 1976)

### Summary

In general the gearing is considered to be the predominant source of noise in electric hoists. This paper presents a study into the effect of finishing methods of gear teeth on the gear noise in the electric hoist, which has planetary gear trains.

Analysis is made regarding the noise level and the mesh frequency of gear trains. It is found that gear noise is affected significantly with methods of finishing teeth and that a considerable reduction of noise is attainable by grinding only the gear teeth of the motor pinion, which shows the highest mesh frequency.

Furthermore, the effect of load on the gear noise of the electric hoist is also discussed.

### 1. ま え が き

電動巻上機における振動、騒音の支配的発生源の一つとして、歯車装置をあげることができよう。歯車騒音は歯車および歯車装置の振動が空气中に伝わったものと考えることができる。

歯車の振動、騒音に関する比較的最近の研究としては、ドイツにおける Niemann<sup>1),2)</sup> および Opitz<sup>3)</sup> の研究、わが国における歌川<sup>4)</sup>、中村<sup>5),6)</sup>、会田ら<sup>7),8),9)</sup> の研究がある。とくに会田らの研究では、歯車振動と騒音との関係を説明し騒音の発生機構を明らかにするとともに、歯車騒音の大きさをその発生機構に関連づけて定量的に解明している。

歯車騒音と密接な関係がある歯車の振動には、モジュール、歯数、歯幅、歯車本体の形状と大きさ、材質、噛みあい率、歯車誤差、歯面あらさ、潤滑油、回転速度、トルクなどきわめて数多くの要因が相互に関連して影響する。そしてこれらの要因のうちどれか一つがわずかに変化しても歯車の振動および騒音に大きな影響を与える場合がある。

本報では、これらの要因のうちとくに歯車誤差、歯面あらさに着目し、電動巻上機の歯車装置の歯面仕上げ方法と歯車騒音の関係および荷重の歯車騒音に及ぼす影響について検討を加え、興味ある結果を得たのでこれらについて報告する。

\* 機械工学科 Department of Mechanical Engineering

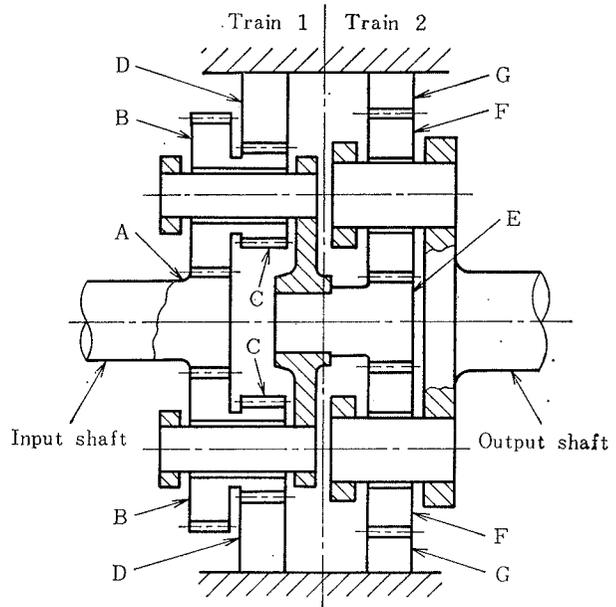
## 2. 歯車装置の振動・騒音の発生および伝達機構

歯車装置の振動，騒音の発生および伝達機構はつぎのように説明される。まず，歯車は歯をばねとし歯車本体を質量とする振動系において，歯のばねこわさの周期的変化と歯車誤差あるいはトルク変動などの 外部的要因で生じる起振力によって，円周方向（ねじり）振動を生じる。

この円周方向振動は軸，軸受および軸受台のたわみあるいは歯すじ方向誤差などにより，半径方向および軸方向振動を発生させる。これらの振動は同時に軸を経て軸受台振動を誘起し，これが歯車箱側壁に伝えられ歯車箱振動を生じさせる。歯車箱がないときは上記の歯車の 3 方向振動による放射音が歯車箱のふたおよび側壁を透過したものの（空気音）のほかに，固体音として伝達されるために生じた歯車箱振動が空气中に放射されて騒音となる。

### 3. 実験装置および実験方法

**3.1 電動巻上機** 実験に使用した電動巻上機は，実験用にとくに試作したもので，最大巻上荷重 10t，揚程 8m である。この巻上機の歯車装置部を図 1 に示す。図からわかるように歯車装置部は 2 段の遊星歯車機構からなっており，モータによって駆動される入力軸の回転数は歯車の 4 個



Train 1                      Train 2  
 A : Motor pinion            E : Main pinion  
 B : Compound planet gear   F : Main planet gear  
 C : Compound planet gear   G : Main internal gear  
 D : Compound internal gear

**Fig. 1 Schematic representation of gear train in electric hoist**

**Table 1 Dimensions of gears in electric hoist**

Gear sign	Gear train 1				Gear train 2		
	A	B	C	D	E	F	G
Module    m	3		3.629		4.233		
Pressure angle $\alpha$	20°				20°		
Number of teeth    z	13	57	12	72	12	34	84
Addendum modification coefficient    x	0.75	- 1.0	0.8	-0.05	0.8	0.084	-0.67
Face width    mm    b	50	40	50		70	60	
Material	S 45 C				S 45 C		
Heat treatment	Induction-hardened	Normalized			Induction-hardened		Normalized
Method of finishing teeth	a. Hobbed b. Ground	a. Hobbed b. Ground	Hobbed	Cut with pinion cutter	Hobbed		Cut with pinion cutter

所のかみあい (A—B, C—D, E—F, F—G) によって約 1/218に減速され、巻胴に伝えられる。表 1 は歯車装置の歯車の各諸元を示す。なお、モータの回転数は 1720rpm である。

**3.2 歯車装置のかみあい周波数** 一般に歯車装置から生ずる騒音の周波数分析結果には、かみあい周波数のほかにその整数倍や分数倍の周波数成分が現われる。この中でもとくに整数倍のものが支配的である場合が多い。このため、まず歯車装置のかみあい周波数をもとめてみよう。図 1 の 2 段遊星歯車機構の 4 箇所のかみあいに対するかみあい周波数はそれぞれ次式によってとめられる。

$$f_{AB} = \frac{(n_A - n_E) z_A}{60} \quad [\text{Hz}] \quad \dots \quad (1)$$

$$f_{CD} = \frac{n_E z_D}{60} \quad [\text{Hz}] \quad \dots \quad (2)$$

$$f_{EF} = f_{FG} = \frac{n_H z_G}{60} \quad [\text{Hz}] \quad \dots \quad (3)$$

ここで、 $n_A$ 、 $n_E$ 、 $n_H$  は、それぞれ入力軸、歯車 E、出力軸の回転数 [rpm]、 $z_A$ 、 $z_D$ 、 $z_G$  は、歯車 A、D、G の歯数を示す。表 2 は式(1)、(2)、(3)によって

Table 2 Mesh frequencies of mating gears

Mesh frequency Hz	1f	2f	3f	4f	5f	6f	
Train 1	$f_{AB}$	359	718	1077	1436	1795	2154
	$f_{CD}$	76	151	227	302	378	454
Train 2	$f_{EF}$	11	22	33	44	55	66
	$f_{FG}$	11	22	33	44	55	66

計算された歯車装置のかみあい周波数をその 6 倍のものまで示したものである。かみあい周波数が最も高い  $f_{AB}$  の 6 倍までの周波数は、ISO の聴感曲線<sup>10)</sup> において人間の聴覚が敏感であるとされる 200~6000Hz の範囲内にある。

**3.3 実験方法** 騒音の測定には Brüel&Kjær 社製のコンデンサマイクロホン (B & K4131)、周波数分析器 (B & K2107) およびレベル記録器 (B & K2305) を用いて、騒音の大きさの測定を行なうとともに、それらの周波数分析を行なって、電動巻上機における歯車の歯面仕

上方法と歯車騒音の関係を調査した。マイクロホンは図 2 に示すように電動巻上機の歯車装置の斜め下方 2200mm m の位置に固定し、この位置を騒音測定位置と定め、い

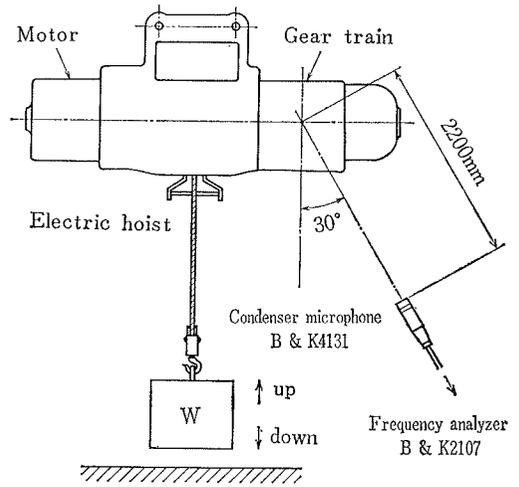


Fig. 2 Measuring position for gear noise in electric hoist

ずれの実験条件に対しても騒音はこの位置で測定した。図 3 は本実験で使用した測定機器および騒音測定システム

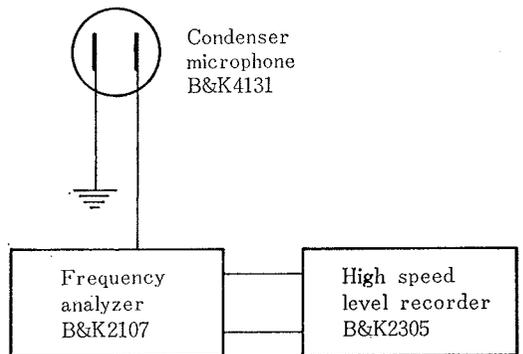


Fig. 3 Measuring system for gear noise in electric hoist

ムのブロック線図を示す。

一般に騒音測定においては対象の音のあるときと、ないときの差が 10dB 以上であれば測定値は暗騒音に影響されていないとみなされている。本実験では、暗騒音は 63~65dB であり、このため 73dB 以上の騒音に着目す

れば暗騒音の影響は無視できるものと考えられる。また、騒音の測定は無響室で行ってはいないが、電動巻上機は広い室内に取付けられているため周囲の壁などによる反射音の影響はないものと考えてよからう。

電動巻上機の騒音測定および周波数分析は各歯面仕上げの歯車に対して、巻上荷重  $W=0\text{kg}$  および  $6250\text{kg}$  で巻上げ時 (up) と巻下げ時 (down) の場合について行なった。なお、巻上速度は  $10\text{mm/s}$  である。

#### 4. 実験結果および考察

4.1 運転条件と騒音の関係 図4は電動巻上機の歯車騒音の全音圧レベル (Aスケールでの値) を各歯面

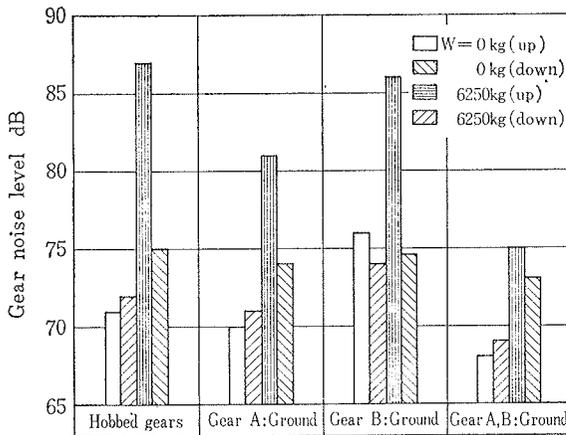


Fig. 4 Relation between gear noise level and methods of finishing teeth

仕上方法に対して示したものである。図中の左端の棒グラフ群はホブ切り歯車に対する全音圧レベルを示したもので、無負荷時においては巻上げ、巻下げの場合で音圧レベルにわずかの差があるが、いずれの場合も負荷時の騒音に比べて極めて小さく無負荷時における電動巻上機の騒音は問題にならないと考えられる。負荷時においては騒音レベルは高く、しかも巻上げ、巻下げの場合でかなりの差があるが、巻下げの場合は無負荷時の騒音レベ

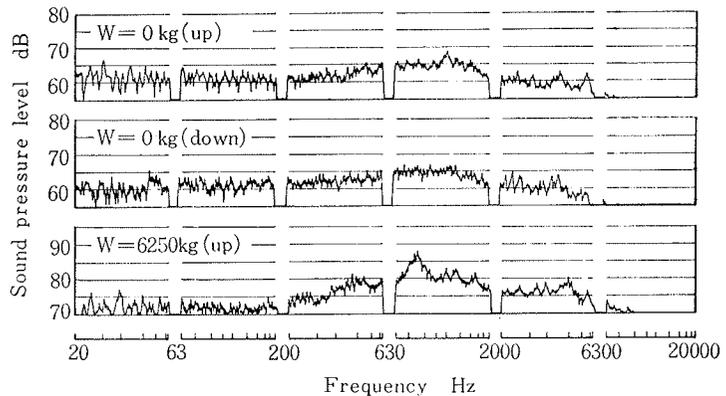


Fig. 5 Spectra of noise for hobbed gears

ルと比べて大きい差がないため、電動巻上機の騒音を考える場合負荷巻上げ時の騒音を問題とすればよいことがわかる。

図5はホブ切りされた歯車の各運転条件に対する騒音スペクトルを示す。無負荷時においては周波数全域にわたって顕著なピークは現われておらずほぼ一定の音圧レベルを示している。これに対して、負荷時における騒音のスペクトルは周波数  $200\sim 6000\text{Hz}$  の間でとくに高い音圧レベルのピークを示しており、この周波数域は ISO の聴感曲線において人間の聴覚が敏感とされている周波数域に相当するため、電動巻上機の騒音低減をはかるためにはこれらのピークの発生する原因を究明し、それらの騒音レベルを下げる必要がある。

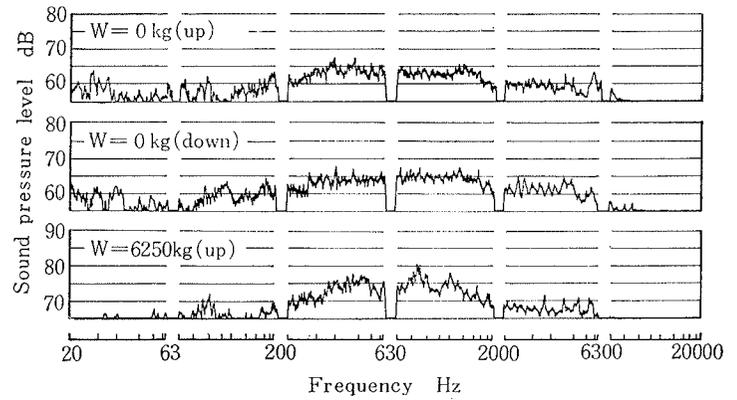
4.2 かみあい周波数と騒音の関係 電動巻上機の歯車騒音に対しては、図5の負荷時の騒音スペクトルに示されるように歯車のかみあい周波数成分とその整数倍の成分が支配的である。とくに周波数  $200\sim 6000\text{Hz}$  の間で高い音圧レベルを示すピークの周波数はそれぞれ、表2に示した最も高いかみあい周波数  $f_{AB}$  と、その整数倍にほ

ぼ一致するため、これらのピークは歯車 A, B のかみあいによって生じるものと考えられる。このことから電動巻上機の歯車騒音の低減対策の一つとして、最も高いかみあい周波数を示す歯車対の各歯面に対して研削などの歯面仕上げを施すことが有効であると考えられる。

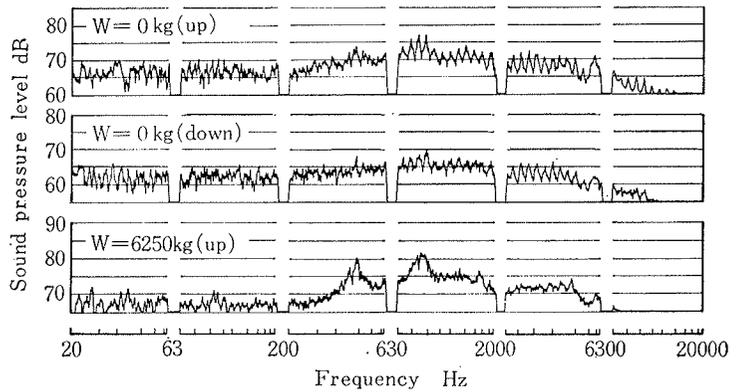
4.3 歯面の仕上方法と騒音の関係 図6(a), (b), (c)はそれぞれ歯車装置内で最も高いかみあい周波数を示す歯車 A, B の歯面のうちAのみを研削 (Bはホブ切り

のまま), B のみを研削 (A はホブ切りのまま), A, B ともに研削した場合の騒音スペクトルを各運転条件に対して示したものである。これらの各場合に対する全音圧レベル値は図4にまとめて示した。図4より歯面を研削することによって騒音をかなり低減させることがわかる。B のみを研削した場合, 他の場合と逆に, 無負荷時における巻上げの際の騒音レベルのほうが巻下げの場合よりも大きくなっており, またいずれの場合もホブ切りの場合よりも騒音レベルは大きくなっているが, これは歯車の組立誤差などの影響によるものと考えている。歯車 A, B ともに研削することによって騒音レベルは著しく減少するが, 歯車 A (モータピニオン) のみを研削することによっても騒音はかなり減少することがわかる。これに対し歯車 B のみ研削した場合には騒音はほとんど減少していない。図7は負荷巻上げ時における, 研削歯車を用いた場合の騒音レベルの, ホブ切り歯車の騒音レベルからの減少量を示す。

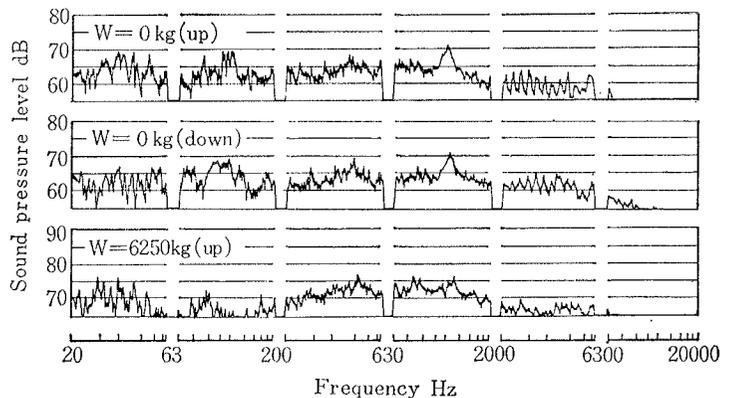
図8は負荷巻上げ時の騒音スペクトルを各歯面仕上条件に対して示したものである。また, 図9は図8の騒音スペクトルにおいて大きい値を示す  $f_{AB}$  およびその整数倍の周波数成分に対する音圧レベルを示している。図より電動巻上機の騒音は, 歯面仕上条件に無関係にいずれの場合も  $2f_{AB}$  の周波数成分が最も高い音圧レベルを示し, この成分の音圧レベルは図4で示された全音圧レベルの値とほぼ等しくなっている。ホブ切り歯車の場合と比べて研削歯車を用いた場合は,  $f_{AB}$  およびその整数倍の各成分においてともに音圧レベルは減少している。図10は各歯面仕



(a) Gear A: Ground



(b) Gear B: Ground



(c) Gears A and B: Ground

Fig. 6 Spectra of noise for ground gears

上条件に対する音圧レベルの、ホブ切り歯車の音圧レベルからの減少量を各周波数成分に対して示したものである。各歯面仕上げ条件に対してともに  $2f_{AB}$  成分の音圧レベルの減少量は他の成分と比較して大きいことがわかる。

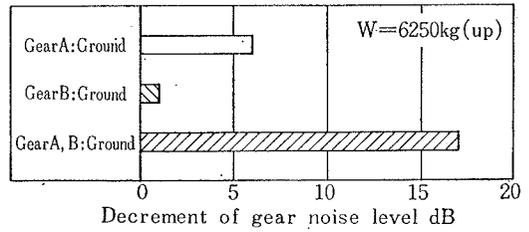


Fig. 7 Decrement of gear noise level by grinding teeth

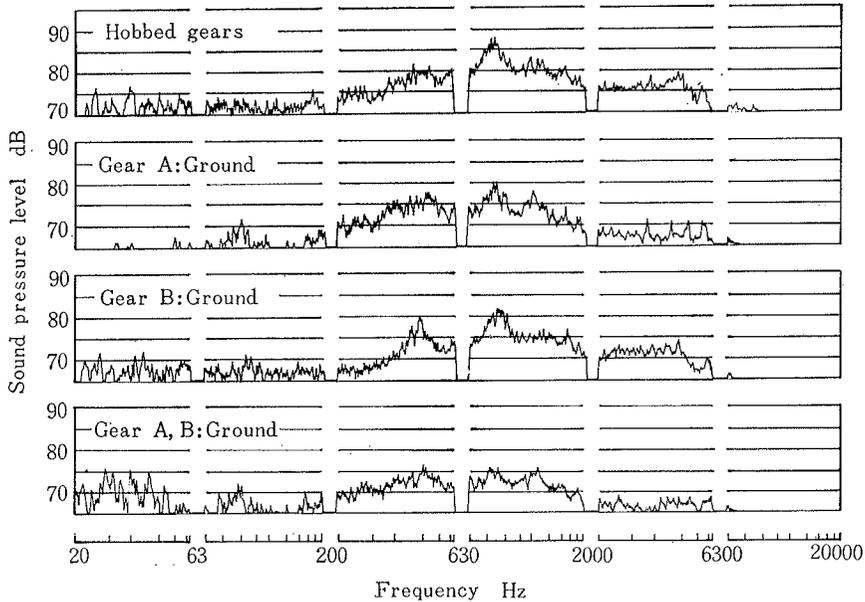


Fig. 8 Spectra of noise for various methods of finishing teeth (W=6250kg, up)

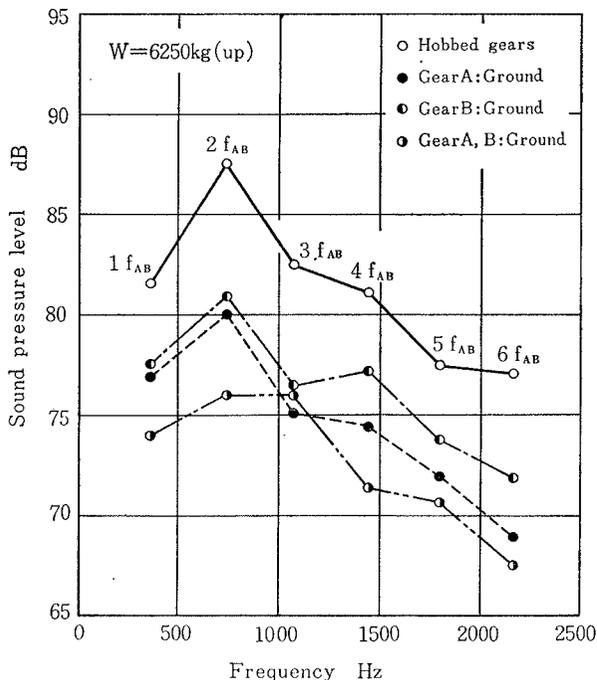


Fig. 9 Relation between sound pressure level and mesh frequency

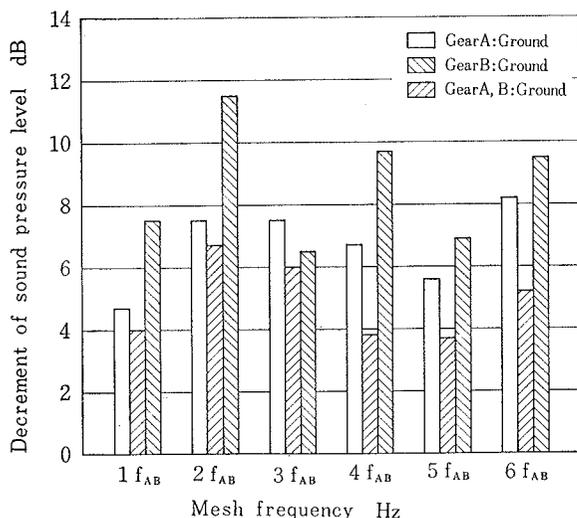


Fig. 10 Decrement of sound pressure level for various mesh frequencies by grinding teeth (W=6250kg, up)

### 5. むすび

電動巻上機の歯車騒音に及ぼす歯面仕上法の影響について検討した結果、明らかになった諸点を要約すればつぎのようになる。

(1) 電動巻上機の歯車騒音を考える場合、荷重を巻上げる際に発生する騒音を問題とすればよい。

(2) 電動巻上機の歯車騒音に対しては、かみあい周波数成分とこれらの整数倍の成分が支配的であるが、この中でもとくに最も高いかみあい周波数成分およびその整数倍のものが大きい影響を及ぼす。

(3) 歯車の歯面の仕上方法と歯車騒音には密接な関係があり、歯面を研削することによって騒音をかなり低減させることができる。とくに最も高いかみあい周波数を示す一對の歯車の歯面を研削すれば最も効果的であるが、駆動歯車（モータピニオン）の歯面だけを研削することによっても騒

音をかなり低減させることが可能である。

おわりに、本研究を行なうにあたってとくにご協力いただいた神内電機製作所ならびに本学部機械工学科若良二氏に対して深く感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- (1) Niemann, G., *Maschinenelemente*, Bd. II (1965), S. 43, Springer-Verlag.
- (2) Niemann, G. und Unterberger, M., *VDI-Z*, Bd. 101, Nr. 6 (1959), 201.
- (3) Opitz, H. und De Jong, H., *Industrie-Anzeiger*, Nr. 46 (1962), 116.
- (4) 歌川, 機械学会誌, 61-470 (昭 33), 296.
- (5) 中村, 機械学会論文集, 32-238 (昭 41), 1001.
- (6) 中村, 機械学会論文集, 32-238 (昭 41), 1007.
- (7) 会田, 佐藤ほか 2 名, 機械学会論文集, 34-268 (昭 43), 2226.
- (8) 福間, 歯車の振動・騒音に関する基礎的研究—京都大学学位論文, (昭 47).
- (9) 会田, 精機学会中国支部岡山講演会テキスト, (昭 44), 57.
- (10) 守田, 騒音と騒音防止法, (昭 45), 36, オーム社.