

H 式 振 動 計 に つ い て

(水昌發振子式靜電容量型變換裝置による振動計とその應用)

松田正彦* 高林乍人** 小堀與一***

H-type Vibrometer

(An apparatus exchanging mechanical vibration into electrostatic capacity variation by use of crystal oscillator)

By Masahiko Matsuda, Hayato Takabayashi & Yoichi Kobori
Hitachi Works & Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

H-type Vibrometer is an apparatus exchanging mechanical Vibration into electric capacity variation and is considered as a displacement-type vibrometer. This vibrometer has a simple circuit containing a cristal oscillator and enable the vibration to record through an electromagnetic oscillograph easily and exactly. It has many merits as follows, easy making, cheap cost, simple handling and accurate recording etc.

In this paper, the following matters about the vibrometer are written; principle, construction, use, detail of trial making, method of amplitude calibration by turning-fork and result of measurement for a series-motor vibration etc.

〔I〕 緒 言

H式振動計は機械振動を電氣容量の變化に變換する一種の變位振動計である。從來振動計には機械的、光學的、電氣的等種々あるが、この振動計は水晶發振を有する簡単な電氣回路により、抵抗振動を容易に且つ正確に電流變化とし、これを電磁オシログラフで記録するための裝置で、製作容易にして、費用安價、使用法簡便、記録の正確を特長とする。又この裝置に出力變壓器、整流器及

び直流電流計を用いれば機械振動の微小振幅を、振動體に振れずして、メータに指示せしめることも出来る極めて應用の廣い振動計となる。

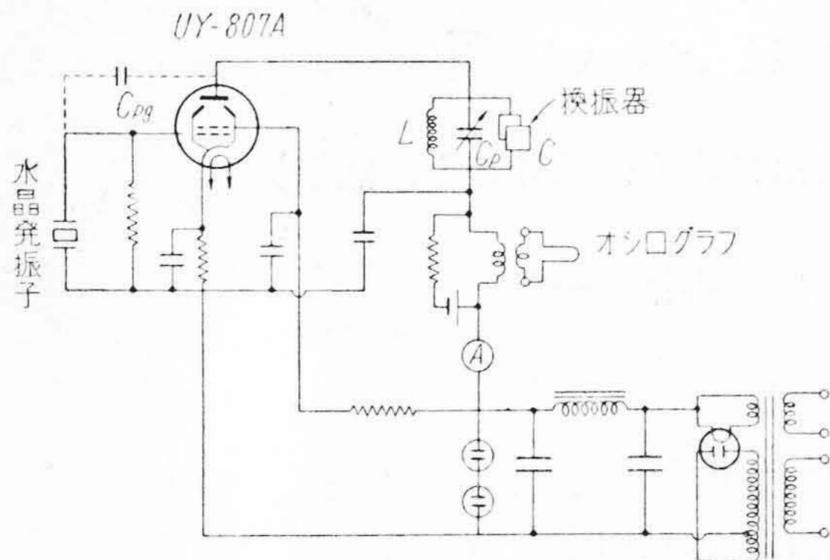
この H 式振動計は既に日立火力發電所における發電機危險速度通過時の振動、⁽¹⁾ 猪苗代發電所における水車ケーシングの振動⁽²⁾、或は寢覺發電所の水車能率測定のためギブソン法として水壓變動⁽³⁾等幾多の測定に應用して成果があげられている。

〔II〕 H 式振動計の構造

この振動計の電氣回路を第 1 圖に示す。これは水晶發

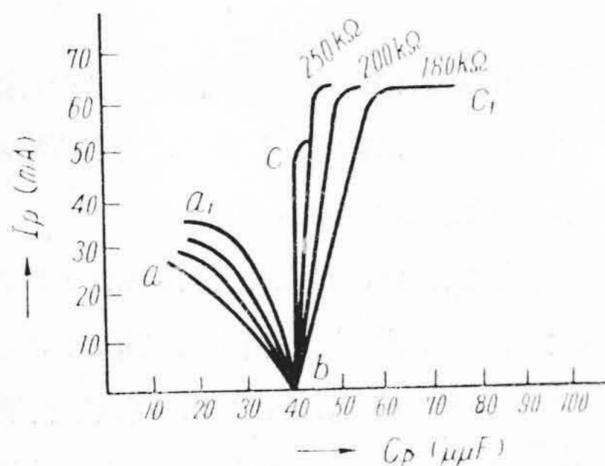
* ** 日立製作所日立工場

*** 日立製作所日立研究所



第1圖 H 式 振 動 計 1 號
(水晶發振子靜電容量變換裝置)
Fig. 1 H-Type Vibrometer Number 1.
(Apparatus of Exchanging Electrostatic Capacity by Crystal Oscillator).

振子を用いた所謂ピアス回路であつて、振動計として高度の特性を得るため、増幅率の高い電力管を發振管とする。この回路で LC 回路に電氣振動が発生すると振動電壓は真空管の陽極と格子の間の靜電容量 C_{pg} を通じて、格子回路に供給されて水晶が振動し、これは更に格子に振動電壓を加へ振動勢力の循環を生じ發振が持續する。この場合 LC 回路の容量 C_p を加減すると、發振の強度が變り C_p の變化に比例した陽極電流 I_p の變化を生ずる。即ち容量型換振器は C_p に並列に挿入されて機械振動を LC 回路の容量變化とし陽極電流の變化に變

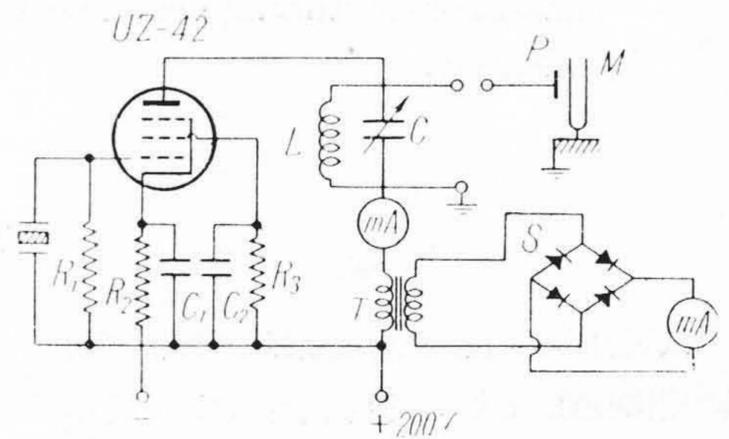


第2圖 陽極同調回路の C_p と I_p との關係
(グリッド抵抗を變えて測定した)
Fig. 2 Relation between C_p and I_p in Plate Turning Circuit. (Measured at Different Grid-resistances).

換する装置である。LC 回路の容量 C_p を變化した場合の UY-807A に流れる陽極直流電流 I_p を電流計 A で読み、グリッド抵抗を變えて I_p-C_p 曲線を求めると第2圖のようになる。此の回路で水晶發振子の發振周波數と發振コイル L、容量 C_p を適當に撰ぶことによつて a-b, b-c の曲線は變化し電流感度 $\Delta I / \Delta C_p$ を變へることが出来る。このため水晶發振子とコイルは差込式にしている。普通 a' 曲線を用いるが特に高感度を望むときは bc 曲線を用いる。振動を測定する場合、被測定體に應じた適當なる換振器 (c) を取付け、換振器の不動點となる振子と本體とに各々電極を設け振動によつて生ずる相對變位を靜電容量の變化にかえて測定する。又換振器の特性を良くするため油等を用いた流體摩擦による減衰器を併用する。

〔II〕 H 式振動計の實驗及び其の應用

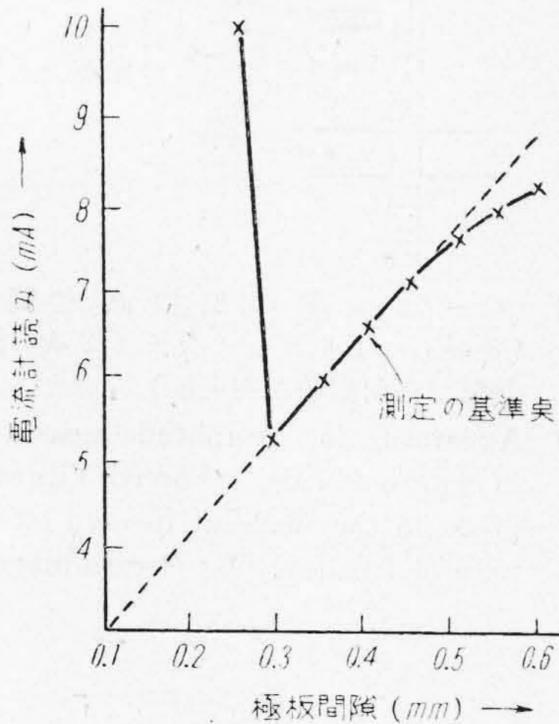
上記の如く H 式振動計は振動變位を靜電容量の變化に換えて測定する装置であつて一般の振動計の如く直接測定器を被測定體に接觸せしめる必要なく、小型モーター或はタービン翼の振動測定の場合等は測定器を接觸せしめると被測定體の振動狀況が變化し測定が不可能となるがこの装置によれば容易に測定することが出来る。この装置はオシログラフにより振動波形を撮影する外第3



第3圖 H 式 振 動 計 (2 號) 實 驗 裝 置
K: 水晶片 (1000kc) C_1 : 100 μF
M: 音叉又は被測定體 R_1 : 1M Ω
 C_2 : 0.01 μF mA: DC-50 mA.
 R_2 : 400 Ω S: 亞酸化銅整流器
mA: DC-1.0 mA R_3 : 10 k Ω
T: 出力變壓器 P: 極板(マイクロメータ)
Fig. 3 Experimental Arrangement of H-Type Vibrometer. (Number 2)

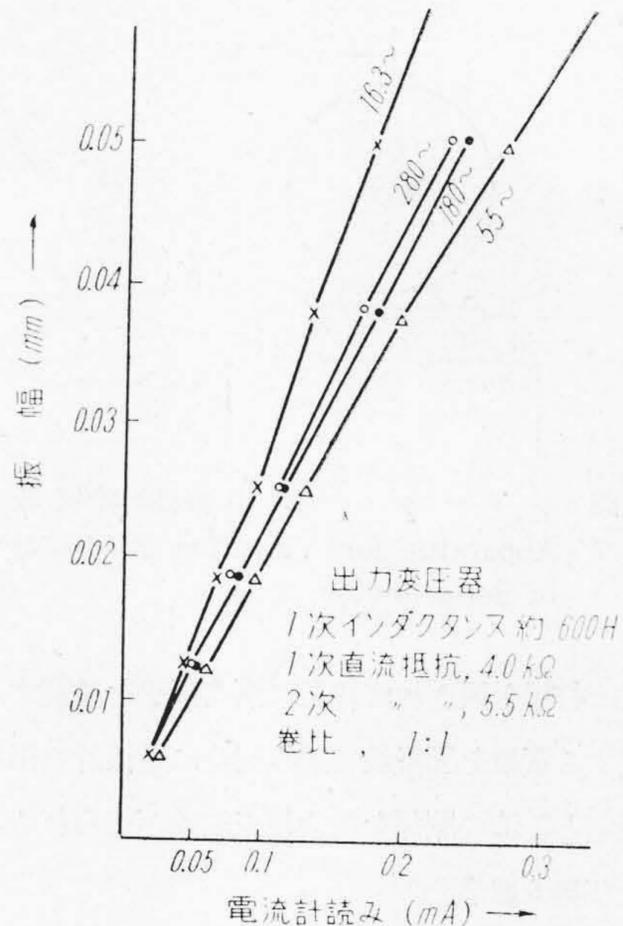
圖の例に示す如く振幅を直讀するには陽極電源と LC 回路の間に特種設計による出力變壓器 T の 2 次側に整流器 S 及び電流計 μA を挿入し、1 次側の電流に含まれる機械振動に比例した低周波の交流分を 2 次側に取出して、メーターに指示せしめて、且つメーターの讀みと振動振幅を豫め較正しておけば、振幅を直讀出来る。次にこの振動計による實驗例について述べる。

(1) 装置及び實驗方法 第 3 圖に示す發振器回路の發振部の可變容量より並列に極板 P 及び接地を作り極板を振動體の平面部分に平行に接近せしめる。極板と振動體を或間隙におき、同時に發振器を發振状態におき感度即ち陽極電流の變化と間隙變化との關係曲線を求め、この場合極板は 30ϕ 、間隙 0.4 mm で感度 12 mA/mm であつた。(第 4 圖参照)



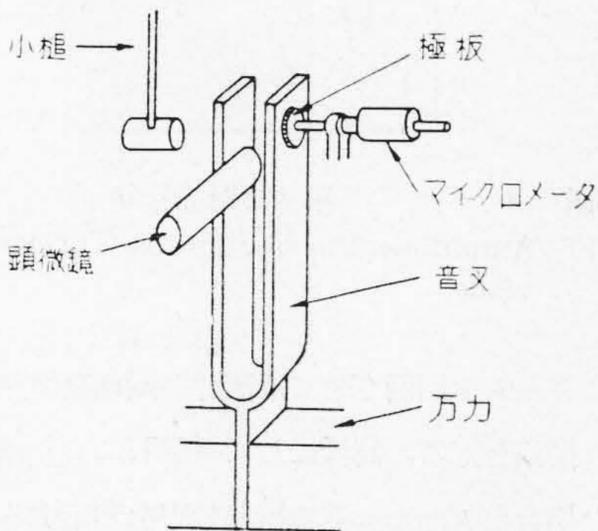
第 4 圖 電流と間隙の關係
(測定の基準點として極板間隙を 0.4 mm にとると電流は 6.5 mA 、感度は 12 mA/mm となる)。

Fig. 4 Relation between Current and Distance.
(Taking the Plate Distance 0.4 mm as the Standard Point of Measurement, the Current will be 6.5 mA and the Sensitivity 12 mA/mm .)



第 6 圖 振 幅 と 電 流 計 の 讀 み
(標準感度 12 mA/mm において測定)

Fig. 6 Amplitude and Reading of Ammeter.
(Measured at Standard Sensitivity; 12 mA/mm .)



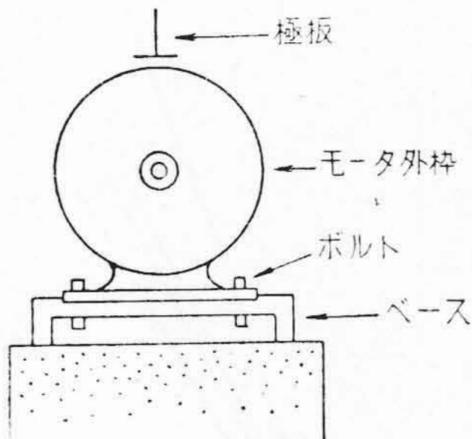
第 5 圖 音叉による振幅較正
Fig. 5 Amplitude Calibration by Turning-fork.

第 1 表 音叉の振幅と電流計の讀み

Table 1 Amplitude of Turning-fork and Reading of Ammeter.

振 幅 (mm)	電 流 計 の 讀 み (mA)			
	280	180	55	16.3
0.0625			0.357	0.221
0.0500	0.235	0.245	0.278	0.180
0.0375	0.172	0.182	0.200	0.133
0.0250	0.120	0.120	0.133	0.098
0.0188	0.080	0.079	0.099	0.067
0.0125	0.050	0.049	0.063	0.048
0.0062	0.026	0.024	0.036	0.026

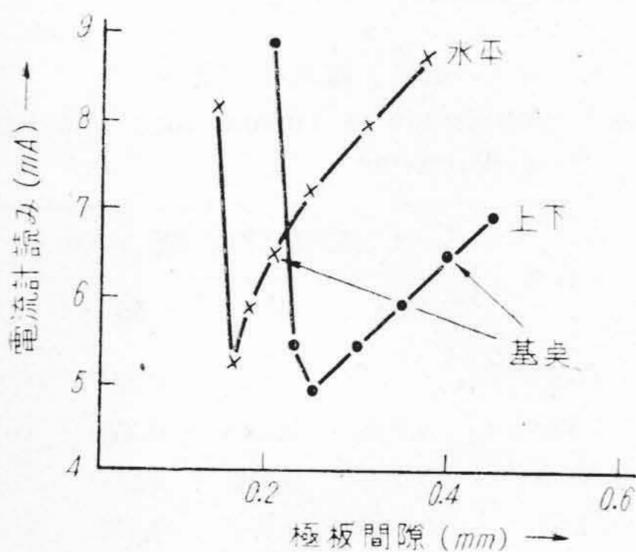
次にこの測定器の特性を調べるため振動臺を使用すれば容易であるが、装置が膨大なためこれを用いず、音叉により簡単に調べる方法について述べた。即ち振動體として各種の固有振動數を有する音叉を振動せしめ、極板を音叉の先端附近の側面に接近せしめ容量變化を取り出す。そのすぐ上方に倍率の既知な目盛入の顯微鏡を置き音叉上の一を標點し視視する。(第 5 圖参照)



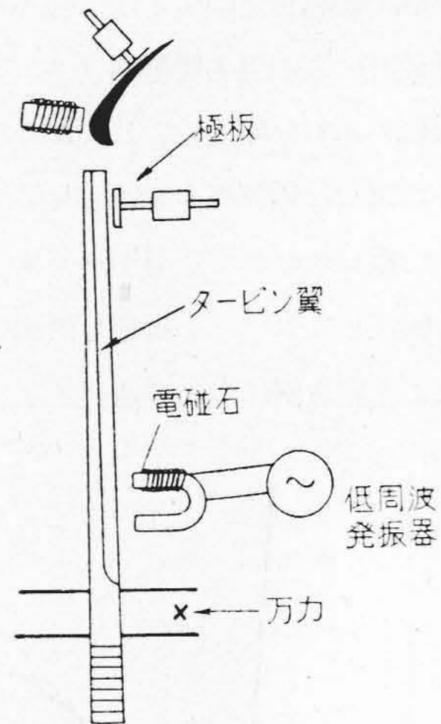
第 7 圖 シ リ ー ス モ ー タ の 振 動 測 定 装 置
Fig. 7 Apparatus for Vibration Measurement of Series-motor.

音叉は打撃を與えれば音叉は漸次振動を減衰する。その減衰する振幅を顯微鏡で讀み同時に電流計の指示を讀めば振幅と電流の關係を示す較正曲線が得られる。(第 1 表及び第 6 圖参照)

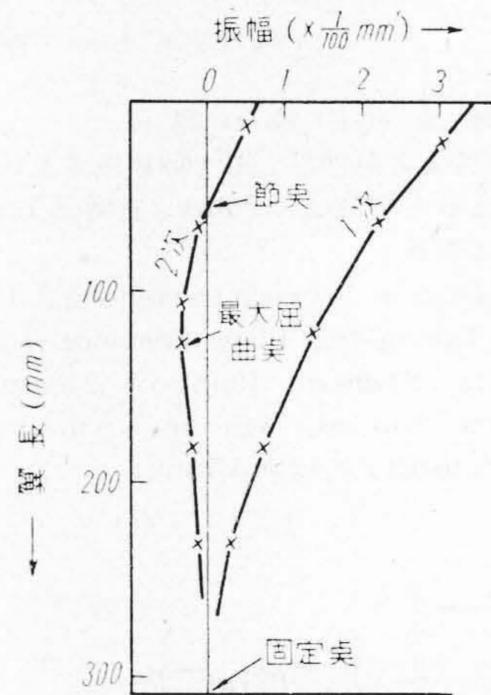
この振幅測定装置の應用側として $1/16$ HP シリ ー ス モ ー タ の 回 轉 中 に お け る 上 下 動 及 び 水 平 動 の 振 幅 を 測 定 す る。(第 7 圖参照) 先づ電流と間隙變化の關係曲線を作



第 8 圖 シリ ー ス モ ー タ の 振 動 測 定 時 の 感 度
Fig. 8 Sensitivity in which Series-motor Vibration was Measured.



第 9 圖 タ ー ビ ン 翼 の 振 幅 測 定 装 置
(電磁石により翼の 1 次又は 2 次の固有振動數で強制振動を與える)
Fig. 9 Apparatus for Amplitude-measurement of Turbine-blade. (Forced Vibration is given in the blade at its own 1st or 2nd natural frequency by electro-magnet.)



第 10 圖 タ ー ビ ン 翼 の 振 幅 分 布
Fig. 10 Amplitude Distribution on Turbine-blade.

り、次にモータを回轉させて電流計の振れを讀み、較正曲線より振幅を知る。同様にして電磁石により強制振動を與えた場合のタービン翼の振幅分布を測定する。(第 8~10 圖参照)

(2) 實驗結果 第 1 表に各種の固有振動數を有する

第 2 表 シ リ ー ス モ ー タ 振 幅 測 定 結 果

Table 2 Amplitude-measurement of Series-motor.

測定場所	測定値校正 極板感度 mA/mm	$k = \frac{\text{極板感度}}{\text{標準感度}}$	電流計読み	$b = \text{振幅 (mm)}$	振幅較正值 $b \times 1/k \text{ mm}$
外 枠 上 下	25.5	2.12	0.05~0.07	0.011~0.015	0.005~0.007
外 枠 水 平	10.0	0.833	0.04~0.05	0.0085~0.011	0.010~0.012

音叉を振動させた場合標準の感度(陽極電流 6.5 mA, 極板間隙 0.4 mm, 感度 12 mA/mm)における指示電流計の平均の読みを示す。これを圖示すれば第 6 圖の通りで大體振幅と電流計の読みが直線的に比例することがわかる。第 7 圖のようにコンクリート基礎の上に $1/13$ HP シリーズモータを載せ四カ所をボルトで固定し回轉による振動の振幅を測定すると、上下方向が $5/1000 \sim 7/1000$ mm, 水平方向が $10/1000 \sim 13/1000$ mm である。回轉數は何れも約 5000 r. p. m. である。(第 2 表参照) 又前述の測定方法により第 10 圖にタービン翼の 1 次及び 2 次の固有振動數における振幅分布を示す。この結果より翼の節點及び最大屈曲點がわかる。

(3) 検討 a. 振幅較正にあたり音叉を使用する場合、叩いて自然に減衰するときの振幅を読むので減衰の速い(振動數の高い)音叉では讀みの誤差が大になるから注意を要する。

b. 出力變壓器の差比を如何にすべきかは勿論インピーダンスマッチングするよう設計すべきで、メーター直讀の場合は 1:1 としたが、この場合の電流計の感度は第 6 圖に示す如くである。變壓器の構造で感度が變つて來るから、振動測定の目的に應じて、變壓器は充分吟味されたものを使用せらねならぬ。

c. 陽極電源は蓄電池からとつたが、交流電源を整流して用いるときは、脈流分をよくとり、電壓の變動に注意し較正時の電壓と等しくすべきである。

d. 極板の大きさは 30 mm の直徑であるが、勿論この大小により感度が變るため適當な大いさを選定しなければならぬ。

e. 極板の間隙を大にとるか小にとるかによつて、感度が變るから、測定すべき振幅の大小を、豫め判斷して適宜な間隙を選定する。直讀式の場合は較正と同一間隙にするか、それが出来ないときは測定後感度の較正をする。

f. 指示電流計のふれと振幅との關係は音叉の固有振動を基礎にしたもので波形は大體正弦波であるから、同一振幅でも波形が正弦波でないと電流計の振れは多少異なる。H 型振動計を使用するに當りグリッド抵抗により $I_p - C_p$ 曲線が異なるから適當な抵抗を選ばねばならぬ。

H 型振動計を應用して直讀式にした場合振幅を指示する電流計の感度は本實驗に用いたものは振幅 $1/100$ mm に對し $45 \sim 55 \mu\text{A}$ で測定振幅の範圍は $5/1000 \sim 50/1000$ mm, 周波數の範圍は $50 \sim 280$ で高周波數の場合であるが大體電流は振幅に直線的に比例する。

(4) 其の他の用途 以上は振動計として使用した場合について述べたがこの外次の測定に應用される。

a. 壓力變動の測定 壓力を薄鋼板で受ける機構の受壓器を取付け、その鋼板と他の電極板との間に靜電容量を形成せしめ壓力の變化に比例した鋼板の變位を容量の變化にかえて陽極電流の變化を直接測定する⁽²⁾。

b. 流量の測定 壓力測定用受壓器を使用しギブソン法により水車の流量を測定する⁽²⁾。

c. 伸びの測定 部材の單位長さの伸びを測定するには部材に電極板を取付け靜電容量を形成せしめ、伸びの變化を容量變化にかえ直接陽極電流の變化を測定するものである。

〔IV〕 結 論

以上述べた如く H 式振動計は容量變化による振動、變位の測定装置として小型に作られ且つ取扱い容易であつて振動の波形を電磁オシログラフにより撮影することが出来る。これにより振動の波形を調査し振動現象の解析を行い得る外、回轉中の回轉體の振動振幅の測定及びタービン翼の 1 次、2 次の固有振動に於ける振幅分布の測定等、従來の一般の振動計では測定困難なる此の種の機械振動の測定が容易に實施出来る様になつた。

なおこの H 型振動計は既に 4 年前に試作され其の後改良されたもので前記の如く各方面に利用し好成績をおさめている。

終りに臨み本研究にあつて日立工場林田検査部長及び日立研究所今尾課長より多大の便宜を與えられたことを厚く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 高林乍人：回轉機の危險速度通過時の振動波形
日立評論、論文集 No. 7, 19頁 (1949)
- (2) 松田正彦：猪苗代發電所における水車の振動に就いて
日研報 第 363 號 (昭和 23)
- (3) 山崎卓爾：寢覺發電所における水車の性能試験
日本機械學會誌 53 卷、第 375 號
25~34 頁 (1950)

UDC 620.2 : 534 (048.1)

製品の振動に関する日立評論既刊の論文集

UDC 621.242.4 : 534

フランスス水車の振動

今尾 隆、小森谷 亨： 25, 4; p. 218 (昭 17-4)

UDC 621.313.333 [677.46.052] : 534

レーヨンモータの振動

今尾 隆： 17, 8; p. 369 (昭 9-8)

UDC 621.313.333 [677.46.052] : 534

レーヨンモータの振動

佐野健次： 19, 7; p. 429 (昭 11-8)

UDC 621.335 : 534

側桿傳動電氣機關車に於ける振動現象

馬場糸夫： 8, 11; p. 683 (大 14-11): 8, 12; p. 763

(大 14-12): 9, 1; p. 9 (大 15-1): 9, 2; p. 65

(大 15-2)

UDC 621.635 : 534.115-13

ターボプロワのサージング現象

菰田廣利： 機評 8, p. 13 (昭 7-4)

UDC 621.874 : 534

ガントリ起重機の振動

荒井 勉： 22, 4; p. 255 (昭 14-4)

UDC 621.874 : 534+539.38.08

光電管式微小變位形と天井走行起重機の振動

福井 清： 27, 5; p. 256 (昭 19-5)